

Volume B Préface

L'EIE du projet Ambatovy a été conçue pour rencontrer les exigences d'information stipulées dans les Termes de référence (TdR) imposés au projet par l'ONE (Office National de l'Environnement, Agence malgache régulatrice) et ce, sous la forme d'un ensemble complet et facile d'accès. L'information est présentée dans 11 volumes traitant de sujets spécifiques. La liste des volumes est présentée ci-dessous: un organigramme illustre la structure de chacun de ces volumes (Figure 1):

- Volume A: Introduction
- Volume B: Etude d'impact environnemental - Mine
- Volume C: Etude d'impact environnemental - Pipeline de pulpe
- Volume D: Etude d'impact environnemental - Usine de traitement
- Volume E: Etude d'impact environnemental - Parc à résidus
- Volume F: Etude d'impact environnemental - Extension portuaire
- Volume G: Etude d'impact environnemental - Effets cumulatifs
- Volume H: Annexes générales
- Volume I: Annexes sur les aspects physiques
- Volume J: Annexes sur les aspects biologiques
- Volume K: Annexes sur les aspects sociaux

Le volume A présente le projet et le processus de l'EIE; il contient les informations sur les secteurs d'étude et la méthodologie utilisée pour toutes les disciplines et toutes les composantes du projet.

Pour la commodité des lecteurs qui ne voudraient lire que des parties spécifiques de l'EIE, les volumes B à F contiennent chacun la description du projet et l'évaluation environnementale pour un secteur spécifique du projet. Donc, un lecteur qui ne s'intéresse qu'à un site particulier du projet peut lire le volume correspondant.

Le volume G contient l'évaluation des effets cumulatifs; il traite des effets combinés de toutes les composantes du projet et les effets cumulatifs de l'ensemble du projet avec les autres projets et activités prévisibles à Madagascar.

Lorsque approprié, l'EIE renvoie à des documents séparés, les annexes, dans les volumes H à K; ces annexes contiennent des informations techniques et de référence additionnelles. Ces volumes contiennent également les annexes des rapports de l'EIE pour quelques disciplines ainsi que des informations pertinentes à l'EIE pour plusieurs composantes du projet. Les annexes H-12 et H-13 contiennent le glossaire, les acronymes et les références pour tous les volumes.

Figure 1 Structure de l'étude d'impact environnemental du projet Ambatovy

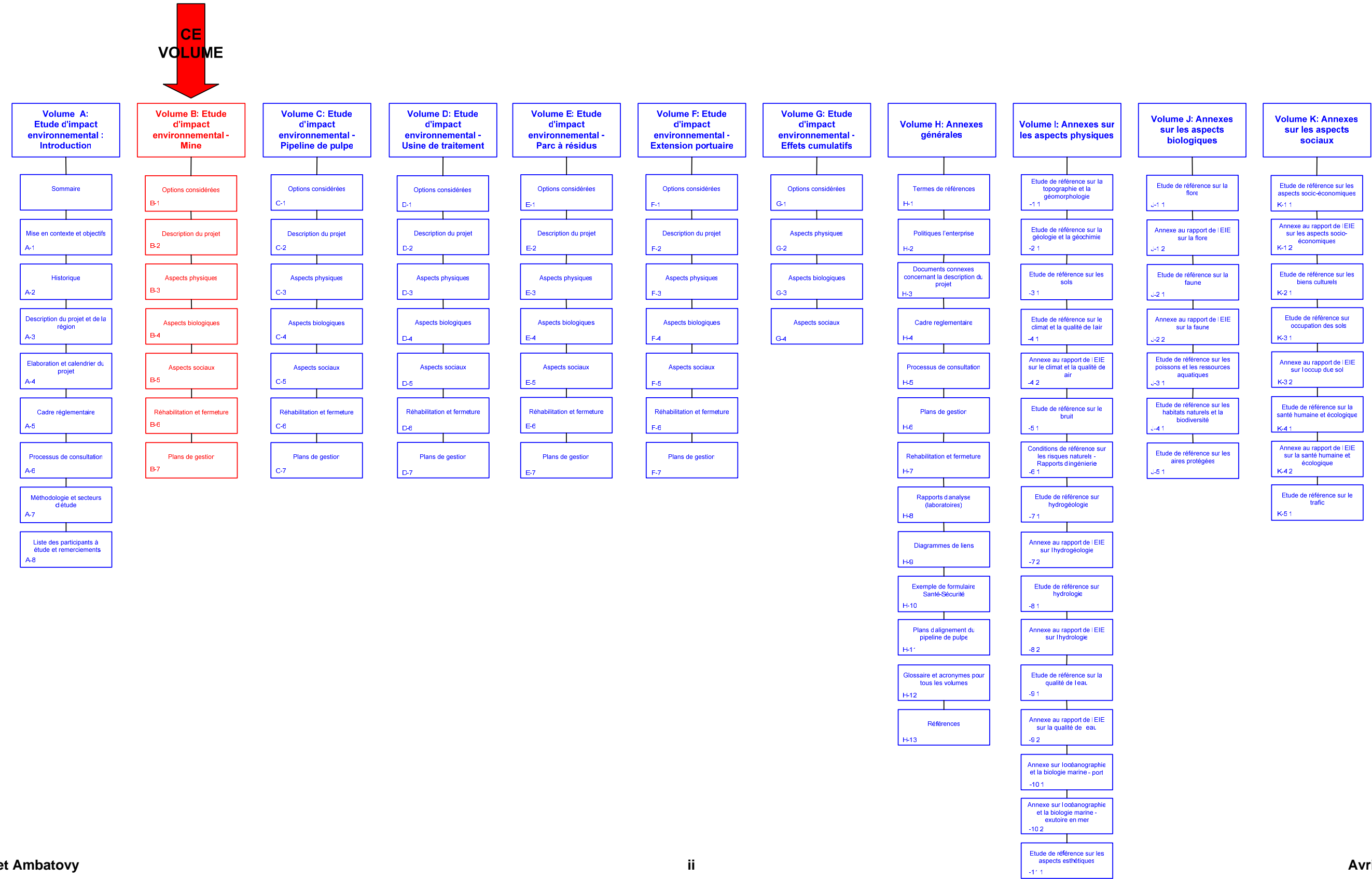


TABLE DES MATIERES

<u>SECTION</u>	<u>PAGE</u>
1 OPTIONS CONSIDEREES	1
1.1 ABANDON DU PROJET NON REALISE	1
1.2 OPTIONS CONSIDEREES DANS LE CADRE DU PROJET.....	2
1.2.1 Aires protégées sur le site et hors site.....	2
1.2.2 Alternatives pour la prise d'eau.....	3
1.2.3 Systèmes électriques.....	3
1.2.4 Alternatives pour la flotte de véhicules de la mine.....	3
2 DESCRIPTION DU PROJET	5
2.1 INTRODUCTION	5
2.2 PLAN D'ACHAT DES TERRES.....	5
2.3 INFRASTRUCTURE.....	6
2.4 CONSTRUCTION.....	11
2.5 METHODE D'EXPLOITATION	12
2.6 MISE EN EXPLOITATION DE LA FOSSE	12
2.7 EXPLOITATION DE LA MINE	13
2.8 EQUIPEMENT D'EXPLOITATION DE LA MINE.....	14
2.9 USINE DE PREPARATION DU MINERAL.....	14
2.10 CARRIERES.....	14
2.11 GESTION DES DECHETS.....	14
3 PHYSIQUES	17
3.1 TOPOGRAPHIE ET GEOMORPHOLOGIE	17
3.1.1 Introduction	17
3.1.2 Secteur d'étude	17
3.1.3 Résumé de l'étude de référence.....	17
3.1.4 Portée des enjeux	18
3.1.5 Evaluation des impacts	19
3.2 GEOLOGIE ET GEOCHIMIE	24
3.2.1 Introduction	24
3.2.2 Résumé de l'étude de référence.....	24
3.2.3 Evaluation des impacts	28
3.3 SOLS	33
3.3.1 Introduction et secteur d'étude.....	33
3.3.2 Résumé de l'étude de référence.....	33
3.3.3 Evaluation des impacts	34
3.3.4 Conclusions.....	44
3.4 CLIMAT ET QUALITE DE L'AIR.....	46
3.4.1 Introduction	46
3.4.2 Limites d'évaluation	47
3.4.3 Méthodes d'évaluation	47
3.4.4 Résumé de l'étude de référence.....	52
3.4.5 Evaluation des impacts	54
3.4.6 Conclusions.....	64
3.5 BRUIT	66
3.5.1 Introduction	66
3.5.2 Secteurs d'étude	67
3.5.3 Résumé de l'étude de référence.....	67

3.5.4	Evaluation des impacts	69
3.5.5	Conclusions.....	78
3.6	RISQUES NATURELS	79
3.6.1	Introduction	79
3.6.2	Secteur d'étude	79
3.6.3	Résumé de l'étude de référence.....	79
3.6.4	Portée des enjeux	79
3.6.5	Evaluation des impacts	81
3.7	HYDROGEOLOGIE.....	86
3.7.1	Introduction	86
3.7.2	Secteur d'étude	86
3.7.3	Résumé de l'étude de référence.....	86
3.7.4	Portée des enjeux	91
3.7.5	Evaluation des impacts	91
3.7.6	Analyse des impacts	96
3.7.7	Conclusions.....	99
3.8	HYDROLOGIE	100
3.8.1	Introduction	100
3.8.2	Secteur d'étude	100
3.8.3	Résumé de l'étude de référence.....	100
3.8.4	Portée des enjeux	102
3.8.5	Evaluation des impacts	103
3.8.6	Analyse des impacts	119
3.8.7	Conclusions.....	124
3.9	QUALITE DE L'EAU	125
3.9.1	Introduction	125
3.9.2	Secteur d'étude	126
3.9.3	Résumé de l'étude de référence.....	126
3.9.4	Portée des enjeux	129
3.9.5	Evaluation des impacts	130
3.9.6	Analyse des impacts	148
3.10	ASPECTS ESTHETIQUES	152
3.10.1	Introduction	152
3.10.2	Secteur d'étude	152
3.10.3	Résumé de l'étude de référence.....	152
3.10.4	Portée des enjeux	153
3.10.5	Evaluation des impacts	154
3.10.6	Conclusions.....	164
4	BIOLOGIQUES	166
4.1	FLORE.....	166
4.1.1	Introduction	166
4.1.2	Secteur d'étude.....	167
4.1.3	Résumé de l'étude de référence.....	167
4.1.4	Portée des enjeux	173
4.1.5	Question clé FL-1: Quel effet la mine aura-t-elle sur la perte ou l'altération des communautés végétales, de leur structure et de leur diversité?	175
4.1.6	Question clé FL-2: Quel effet la mine aura-t-elle sur la perte d'espèces végétales (extirpation ou extinction)?	206
4.1.7	Question clé FL-3: Quel effet la mine aura-t-elle sur l'introduction d'espèces exotiques ou indésirables?	212
4.2	FAUNE.....	217
4.2.1	Introduction	217

4.2.2	Secteur d'étude	217
4.2.3	Résumé de l'étude de référence	218
4.2.4	Evaluation des impacts	225
4.3	POISSONS ET RESSOURCES AQUATIQUES	267
4.3.1	Introduction	267
4.3.2	Secteur d'étude	267
4.3.3	Résumé de l'étude de référence	267
4.3.4	Portée des enjeux	279
4.3.5	Question clé FA-1: Quel effet le projet aura-t-il sur l'habitat aquatique?	282
4.3.6	Question clé FA-2: Quel effet le projet aura-t-il sur l'abondance du biote aquatique, la survie des espèces endémiques ou natives et la structure de la communauté?	294
4.3.7	Question clé FA-3: Quel effet le projet aura-t-il sur la pêche artisanale?	307
4.3.8	Conclusions	311
4.4	HABITATS NATURELS ET BIODIVERSITE	313
4.4.1	Introduction	313
4.4.2	Secteur d'étude	314
4.4.3	Résumé de l'étude de référence	314
4.4.4	Evaluation des impacts	318
4.4.5	Conclusions	336
4.5	AIRES PROTEGEES	337
4.5.1	Introduction	337
4.5.2	Secteur d'étude	337
4.5.3	Résumé de l'étude de référence	337
4.5.4	Portée des enjeux	339
4.5.5	Evaluation des impacts	339
4.5.6	Conclusions	347
5	SOCIAL	349
5.1	ASPECTS SOCIOECONOMIQUES	349
5.1.1	Introduction	349
5.1.2	Mesures d'atténuation des impacts et de maximisation des retombées positives	349
5.1.3	Evaluation des impacts	376
5.2	BIENS CULTURELS	398
5.2.1	Introduction	398
5.2.2	Secteur d'étude	398
5.2.3	Résumé de l'étude de référence	398
5.2.4	Portée des enjeux	401
5.2.5	Evaluation des impacts	402
5.3	OCCUPATION DU SOL	405
5.3.1	Introduction	405
5.3.2	Secteur d'étude	405
5.3.3	Résumé de l'étude de référence	405
5.3.4	Portée des enjeux	406
5.3.5	Méthodologie d'évaluation	406
5.3.6	Evaluation des impacts	407
5.3.7	Conclusions	413
5.4	SANTE HUMAINE ET ECOLOGIQUE	414
5.4.1	Introduction	414
5.4.2	Secteurs d'étude	414
5.4.3	Résumé de l'étude de référence	415

5.4.4	Evaluation des impacts	416
5.4.5	Conclusions.....	434
5.5	TRAFIC.....	436
5.5.1	Introduction	436
5.5.2	Secteur d'étude	436
5.5.3	Résumé de l'étude de référence.....	436
5.5.4	Portée des enjeux	438
5.5.5	Changements du trafic.....	439
5.5.6	Conclusions.....	445
6	REHABILITATION ET PLAN DE FERMETURE	447
6.1	PRESENTATION ET OBJECTIFS GENERAUX.....	447
6.2	ABANDON DU PROJET OU FERMETURE PRECOCE DE LA MINE	448
6.3	MINE ET PLAN DE FERMETURE	448
6.4	HYDROLOGIE.....	449
6.5	GESTION DES DECHETS.....	449
6.6	FERMETURE DE LA CONDUITE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET DU CORRIDOR	450
6.7	PLAN DE REHABILITATION.....	450
6.7.1	Lutte contre l'érosion.....	451
6.7.2	Revégétalisation.....	453
6.8	SURVEILLANCE	455
7	PLANS DE GESTION ENVIRONNEMENTALE ET DE DEVELOPPEMENT SOCIAL	456
7.1	ETUDES DE PRE-CONSTRUCTION	457
7.1.1	Plan de gestion de l'eau.....	457
7.1.2	Plans de gestion de la faune et de la flore.....	457
7.1.3	Plan de gestion des poissons et du milieu aquatique.....	457
7.2	ACTIVITES DURANT LES PHASES DE CONSTRUCTION ET D'EXPLOITATION	458
7.2.1	Plan de gestion de l'eau.....	458
7.2.2	Plans de gestion de la faune et de la flore.....	458
7.2.3	Plan de gestion des poissons et du milieu aquatique.....	459
7.2.4	Plan de développement des ressources humaines	459
7.2.5	Plan d'achat	460
7.2.6	Autres activités de gestion socio-économique.....	460
7.2.7	Plans d'intervention d'urgence.....	460
7.3	ACTIVITES DE FERMETURE ET DE REHABILITATION	461
7.3.1	Plan de gestion de l'eau.....	461
7.3.2	Plans de gestion de la faune et de la flore.....	461
7.3.3	Plan de gestion des poissons et du milieu aquatique.....	461

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1	Analyse des options – alimentation électrique	4
Tableau 2.7-1	Equipement de chantier.....	16
Tableau 3.1-1	Critères de description des impacts sur la topographie et la géomorphologie	19
Tableau 3.1-2	Effets potentiels et impacts résiduels sur la topographie et la géomorphologie	21

Tableau 3.1-3	Classification des impacts résiduels sur la topographie et la géomorphologie	22
Tableau 3.2-1	Caractéristiques et description des échantillons	26
Tableau 3.2-2	Proportions de lithologie dans les superficies de la mine.....	30
Tableau 3.3-1	Matrice d'interactions du projet.....	35
Tableau 3.3-2	Critères d'évaluation des sols.....	38
Tableau 3.3-3	Perturbation des types de sols dans le secteur de la mine	43
Tableau 3.3-4	Classification de l'impact résiduel pour les sols	44
Tableau 3.4-1	Emplacement des communautés situées près du site de la mine	48
Tableau 3.4-2	Critères de la qualité de l'air ambiant	49
Tableau 3.4-3	Critères de description des impacts sur la qualité de l'air	50
Tableau 3.4-4	Classification de l'intensité concernant la qualité de l'air.....	51
Tableau 3.4-5	Système d'évaluation préliminaire de la conséquence sur l'environnement concernant la qualité de l'air	52
Tableau 3.4-6	Résumé des émissions atmosphériques de la mine ^(b)	56
Tableau 3.4-7	Résumé des prévisions sur la qualité de l'air dans le secteur d'étude de la mine	57
Tableau 3.4-8	Prévision des concentrations maximales de SO ₂ dans les communautés.....	58
Tableau 3.4-9	Prévision des concentrations maximales de NO ₂ dans les communautés	59
Tableau 3.4-10	Prévisions des concentrations maximales de matières particulaires dans les communautés.....	60
Tableau 3.4-11	Classification des impacts résiduels sur la qualité de l'air.....	62
Tableau 3.4-12	Résumé des émissions de gaz à effet de serre de la mine.....	63
Tableau 3.4-13	Emissions nationales de gaz à effet de serre de Madagascar.....	64
Tableau 3.5-1	Résumé des niveaux de bruit actuels, site de la mine du projet Ambatovy	68
Tableau 3.5-2	Emissions sonores de la mine Dynatec.....	73
Tableau 3.5-3	Niveaux de bruit prévus – site de la mine.....	74
Tableau 3.5-4	Comparaison des niveaux de bruit prévus avec les critères de la Banque mondiale, site de la mine	74
Tableau 3.5-5	Changements escomptés par rapport aux niveaux de bruit de référence, site de la mine.....	75
Tableau 3.5-6	Classification des impacts résiduels - bruit.....	76
Tableau 3.6-1	Description des critères de risques associés à l'exploitation minière.....	82
Tableau 3.7-1	Qualité de l'eau souterraine au site de la mine	90
Tableau 3.7-2	Critères et notes d'évaluation des impacts relatifs à l'hydrogéologie.....	93
Tableau 3.7-3	Réduction du débit entrant des cours d'eau dans les systèmes de marais en raison de la diminution de la contribution de l'écoulement souterrain au débit de base	96
Tableau 3.7-4	Classification des impacts résiduels sur l'hydrogéologie.....	97
Tableau 3.8-1	Précipitations mensuelles et annuelles (mm) estimées pour le site de la mine	101
Tableau 3.8-2	Précipitations journalières maximales	101
Tableau 3.8-3	Hauteur maximale de pluie en 24 heures.....	102
Tableau 3.8-4	Rivière Mangoro – Débits mensuels et annuels moyens	102
Tableau 3.8-5	Rivière Mangoro – Débits journaliers extrêmes.....	102
Tableau 3.8-6	Critères de description des impacts et notes pour le projet Ambatovy - hydrologie	106
Tableau 3.8-7	Changements dans les débits à 500 m en aval des bassins de rétention des eaux de ruissellement	109
Tableau 3.8-8	Changements dans les débits de janvier à diverses distances en aval des bassins de rétention des eaux de ruissellement.....	111
Tableau 3.8-9	Changements dans les débits mensuels moyens à diverses distances en aval des bassins de rétention des eaux de ruissellement	112

Tableau 3.8.10 Changements dans les hauteurs et les vitesses de l'eau de janvier aux stations de suivi hydrométrique ^(a) – Exploitation – Année 20	115
Tableau 3.8.11 Changements dans les hauteurs et les vitesses de l'eau de janvier aux stations de suivi hydrométrique ^(a) – Fermeture.....	115
Tableau 3.8.12 Changements dans le débit de la rivière Mangoro attribuables au prélèvement d'eau pour la mine	116
Tableau 3.8-13 Classification des impacts résiduels sur l'hydrologie.....	122
Tableau 3.9-1 Système de classification de Madagascar pour la qualité des eaux de surface	127
Tableau 3.9-2 Résumé des données sur la qualité de l'eau utilisées pour l'évaluation	136
Tableau 3.9-3 Paramètres de la qualité de l'eau évalués.....	136
Tableau 3.9-4 Comparaison entre les concentrations maximales prévues et les concentrations de référence et lignes directrices sud-africaines.....	142
Tableau 3.9-5 Concentrations des paramètres clés de la qualité de l'eau dans la rivière Torotorofotsy et dans le marais de Torotorofotsy (valeurs observées et prévues)	144
Tableau 3.9-6 Comparaison entre les concentrations maximales prévues dans les sédiments durant la phase d'exploitation et les lignes directrices correspondantes	147
Tableau 3.10-1 Points de vue clés: site de la mine	153
Tableau 3.10-2 Critères de description des impacts sur les aspects esthétiques.....	155
Tableau 3.10-3 Effets potentiels et impacts résiduels sur les aspects esthétiques.....	162
Tableau 3.10-4 Classification des impacts résiduels sur les aspects esthétiques	164
Tableau 4.1-1 Nombres d'espèces préoccupantes pour les divers degrés d'endémisme	170
Tableau 4.1-2 Richesse en espèces par type de végétation pour les placettes et sous-placettes forestières.....	171
Tableau 4.1-3 Directives de l'Organisation mondiale de la santé concernant les effets de substances individuelles sur la végétation terrestre	177
Tableau 4.1-4 Critères de description des impacts sur les communautés végétales, leur structure et leur diversité	178
Tableau 4.1-5 Changement de la superficie des différents types de végétation suite au défrichement dans le secteur local d'étude de la mine.....	180
Tableau 4.1-6 Classification des impacts résiduels concernant la perte ou l'altération des communautés végétales, la structure forestière et la diversité	192
Tableau 4.1-7 Zones de conservation de la végétation de types azonal et de transition dans le secteur local d'étude de la mine	195
Tableau 4.1-8 Critères de description des impacts sur la perte d'espèces	207
Tableau 4.1-9 Espèces endémiques préoccupantes des catégories de priorité 1a, 1b, 2a et 2b observées dans le secteur de la mine	208
Tableau 4.1-10 Classification des impacts résiduels sur la perte d'espèces végétales	209
Tableau 4.1-11 Critères de description des impacts relatifs aux espèces de plantes exotiques et indésirables	213
Tableau 4.1-12 Classification des impacts résiduels relatifs aux espèces de plantes exotiques ou indésirables	215
Tableau 4.2-1 Critères de description des impacts sur la faune.....	229
Tableau 4.2-2 Changement (en %) de superficie de l'habitat résultant du défrichement dans le secteur local d'étude de la mine	231
Tableau 4.2-3 Espèces observées dans un seul habitat	232
Tableau 4.2-4 Classification des impacts résiduels associés à la perte directe d'habitat	234
Tableau 4.2-5 Impact (ha) sur les habitats associé au bruit généré par le projet dans le secteur local d'étude	242
Tableau 4.2-6 Habitats (ha) situés à l'intérieur des 100 m de la zone d'effets de lisière du secteur local d'étude de la mine	243

Tableau 4.2-7	Classification des impacts résiduels sur la faune dus à la perte indirecte d'habitat	244
Tableau 4.2-8	Impacts potentiels sur les populations de Lémuriens dus au défrichement du site	249
Tableau 4.2-9	Classification des impacts résiduels sur la faune dus à la mortalité directe.....	250
Tableau 4.2-10	Classification des impacts résiduels sur la faune dus à la fragmentation de l'habitat et aux obstacles au mouvement	259
Tableau 4.2-11	Classification des impacts résiduels sur la santé de la faune	264
Tableau 4.3-1	Caractéristiques de l'habitat aux emplacements d'échantillonnage des cours d'eau du secteur local d'étude de la mine	271
Tableau 4.3-2	Espèces de poissons relevées dans le secteur local d'étude de la mine au cours des inventaires de 1998 et de 2004-2005	273
Tableau 4.3-3	Taxons d'invertébrés présents dans le secteur local d'étude de la mine – inventaire de 2004-2005	275
Tableau 4.3-4	Eléments de l'écosystème, paramètres et critères d'évaluation ayant servi à l'étude des poissons et des ressources aquatiques	282
Tableau 4.3-5	Critères de description des impacts sur les poissons et les ressources aquatiques	286
Tableau 4.3-6	Pertes d'habitats aquatiques causées par le déplacement des cours d'eau et des mares dans l'empreinte de perturbation de la mine ^(a)	288
Tableau 4.3-7	Effets potentiels et impacts résiduels sur l'habitat aquatique	292
Tableau 4.3-8	Classification des impacts résiduels concernant les effets sur l'habitat aquatique	293
Tableau 4.3-9	Effets potentiels et impacts résiduels sur l'abondance et la survie des espèces aquatiques	305
Tableau 4.3-10	Classification des impacts résiduels concernant les effets sur l'abondance et la survie des espèces aquatiques.....	306
Tableau 4.3-11	Effets potentiels et impacts résiduels sur la pêche artisanale	310
Tableau 4.3-12	Classification des impacts résiduels concernant les effets sur la pêche artisanale	311
Tableau 4.4-1	Richesse en espèces, endémisme et statut de conservation de la flore, de la faune et des poissons dans le secteur local d'étude de la mine	315
Tableau 4.4-2	Résultats de la fragmentation des communautés végétales primaires (écotypes) et des zones perturbées d'occupation du sol dans le secteur local d'étude de la mine	318
Tableau 4.4-3	Emplacement de l'information relative à l'analyse des impacts sur la biodiversité.....	321
Tableau 4.4-4	Résumé des liens d'impacts potentiels sur les habitats naturels et la biodiversité.....	323
Tableau 4.4-5	Critères de description des impacts sur les habitats naturels et la biodiversité	326
Tableau 4.4-6	Changement (%) dans les paramètres du paysage suite à la mise en opération complète de la mine par rapport aux conditions de référence pour habitats naturels et zones perturbées d'occupation des terres dans le secteur local d'étude	330
Tableau 4.4-7	Classification des impacts résiduels sur les habitats naturels et la biodiversité.....	333
Tableau 4.5-1	Critères de description des impacts sur les aires protégées.....	341
Tableau 4.5-2	Effets potentiels et impacts résiduels sur les aires protégées.....	344
Tableau 4.5-3	Classification des impacts résiduels sur les aires protégées	346
Tableau 5.1	Mesures d'atténuation des impacts et maximisation des retombées positives	350
Tableau 5.2	Matrice des impacts au site de la mine	394

Tableau 5.2-1	Types potentiels de sites culturels dans le secteur d'étude des ressources culturelles.....	399
Tableau 5.2-2	Critères de description des impacts sur les ressources culturelles.....	403
Tableau 5.2-3	Effets potentiels et impacts résiduels sur les ressources culturelles.....	403
Tableau 5.3-1	Zones d'impact sur l'occupation du sol du secteur local d'étude de la mine.....	408
Tableau 5.4-1	Paramètres de la qualité de l'eau dont les concentrations aux exutoires des bassins de clarification sont prévues varier durant la phase d'exploitation de la mine	419
Tableau 5.4-2	Critères pour l'évaluation des effets sur la santé humaine.....	420
Tableau 5.4-3	Comparaison entre la qualité de l'air prévue durant l'exploitation de la mine et les lignes directrices pour la qualité de l'air	424
Tableau 5.4-4	Critères pour l'évaluation des effets sur les ressources de subsistance.....	426
Tableau 5.4-5	Concentrations de référence, concentration annuelles prévues (phase d'exploitation) et lignes directrices pour la qualité de l'eau à usage agricole – eaux de surface du secteur de la mine	427
Tableau 5.4-6	Critères pour l'évaluation des effets sur la vie aquatique.....	430
Tableau 5.4-7	Indices de risque (IR) pour la faune aquatique dans le secteur de la mine - Exutoires.....	432
Tableau 5.4-8	Classification des impacts résiduels sur la santé humaine et la qualité du milieu aquatique – site de la mine	434
Tableau 5.5-1	Etude sur les niveaux de trafic de référence	438
Tableau 5.5-2	Nombre de véhicules par jour ^(a)	440
Tableau 5.5-3	Kilomètres-véhicule par année	441
Tableau 5.5-4	Changements dans le nombre d'accidents attribuables au projet.....	442
Tableau 5.5-5	Nombre de passages de véhicules (occurrences de bruit) par heure, aux heures de clarté	443

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1	Plan d'aménagement préliminaire du secteur de la mine.....	7
Figure 2-2	Plan d'aménagement de la station de pompage sur la rivière Mangoro	8
Figure 2-3	Installations de collecte des eaux de ruissellement de la mine et d'approvisionnement en eau, plan d'aménagement du secteur de la mine – année 20	9
Figure 2-4	Bilan hydrique moyen, secteur de la mine.....	10
Figure 2-5	Plan de l'usine de préparation du minerai	15
Figure 3.4-1	Rose des vents du camp d'exploration au site de la mine	53
Figure 3.5-1	Arbre de décision de l'intensité de l'impact sur le bruit.....	72
Figure 3.5-2	Niveaux de bruit prévus pour les secteurs de la mine.....	77
Figure 3.8-1	Emplacement du bassin de rétention du ruissellement et des sous-bassins en aval	113
Figure 3.10-1	Analyse du panorama du site de la mine	157
Figure 3.10-2	Aspect visuel du secteur de la mine, année 27 – fin de l'exploitation	159
Figure 3.10-3	Vue en direction du nord-ouest depuis le point de vue M1 (Torotorofotsy) après aménagement (année 27 de l'exploitation)	160
Figure 3.10-4	Vue vers le nord-ouest depuis le point de vue M3 (route d'accès à la mine) après développement (année 27 de l'exploitation).....	161
Figure 4.1-1	Zones de conservation de végétation azonale au sein du secteur local d'étude de la mine.....	194
Figure 4.3-1	Emplacements d'échantillonnage des poissons et de l'écosystème aquatique dans le secteur de la mine.....	272

Figure 4.3-2	Distribution régionale des espèces de poissons endémiques.....	300
Figure 5.2-1	Vue du site de la mine et emplacements des sites archéologiques et culturels.....	400
Figure 5.3-1	Zones d'impact sur l'occupation du sol du secteur local d'étude de la mine.....	409
Figure 5.3-2	Zones d'impact sur l'occupation du sol le long de l'extension du corridor de Mangoro jusqu'à la mine, à l'intérieur du secteur local d'étude de la mine	410
Figure 5.5-1	Schéma des principales routes d'accès	437

1 OPTIONS CONSIDEREES

1.1 ABANDON DU PROJET NON REALISE

Si le projet Ambatovy n'est pas concrétisé, les retombées positives et les impacts du projet seront éliminés. Toutefois, dans la mesure où la situation de référence est dynamique (avec des tendances de déforestation, à long terme, d'environ 1 % dans les environs de la mine), des pertes au niveau de la biodiversité, de la flore et de la faune seraient à prévoir même si le projet était abandonné. L'abandon du projet est également susceptible d'engendrer la poursuite du taux de croissance économique relativement bas dans les secteurs ciblés pour le projet.

Les effets positifs du projet, comprenant les retombées économiques pour les employés et les autres parties prenantes dans les régions de Moramanga et de Toamasina, se feront sentir principalement sur une période de 30 ans (construction et exploitation), avec possibilité de prolonger ces retombées positives au-delà de ce laps de temps, en raison de l'aménagement des infrastructures et d'autres retombées sociales et économiques pendant le déroulement du projet. De plus, la réalisation réussie du projet Ambatovy présente tout le potentiel pour encourager de futurs projets qui contribueront au développement économique de Madagascar.

Comme les impacts biologiques résiduels du projet sont contrebalancés par des mesures de compensation, ils ne sont pas considérés comme étant pires que ce qu'ils seraient si le projet n'était pas réalisé. En effet, comparativement à l'alternative de l'abandon, le projet présente potentiellement de nets avantages pour la biodiversité.

Il est prévu que les effets physiques et sociaux du projet, pour ce qui est des aspects de la topographie, des sols, des risques naturels, de l'esthétique, du bruit, du trafic, de la qualité de l'eau et de l'hydrologie, soient plus importants que les impacts si le projet n'était pas réalisé, selon le secteur. En raison des mesures d'atténuation du projet, toutefois, les impacts résiduels sont généralement bas, voire négligeables et sont compensés par les effets positifs décrits ci-dessus.

En résumé, la réalisation du projet Ambatovy est considéré comme étant une option meilleure que l'alternative sans projet.

1.2 OPTIONS CONSIDEREES DANS LE CADRE DU PROJET

Lors de la définition des réserves de minerai viables et des frontières finales de la mine, les alternatives relatives à l'aménagement secteur de la mine ont été dûment étudiées. L'objectif du projet d'aménagement est d'établir des plans visant à la fois à minimiser les impacts sociaux et environnementaux, tout en faisant en sorte que le projet soit réalisable en termes d'exploitation et d'ingénierie. Les secteurs qui offraient des options de mise en oeuvre comprennent:

- le site de l'usine de préparation de minerai en pulpe
- les bassins de stockage des eaux d'exhaure de la mine et de stockage de l'eau pour la préparation de la pulpe
- le tracé de la conduite d'approvisionnement en eau
- les empilements de mort terrain et de stériles
- les routes d'accès

A un stade précoce de la conception, l'emplacement exact de chacun des secteurs a résulté d'un processus itératif afin de parvenir à un plan de mise en oeuvre optimale. Le principal élément moteur a été de minimiser les nuisances et de préserver les habitats azonaux résiduels et des zones tampon naturelles supplémentaires de forêt de transition et de forêt zonale.

1.2.1 Aires protégées sur le site et hors site

Les promoteurs du projet croient fermement que conserver des habitats sur le site et hors site aura des avantages ; ils ont identifié trois zones à protéger: deux zones de conservation azonales directement adjacentes à la mine (contenant des habitats représentatifs des forêts azonales d'Ambatovy et d'Analamay) et une zone de conservation azonale hors site à Ankerana. Dans tous ces cas, plusieurs alternatives ont été considérées. Les zones de protection à Ambatovy et à Analamay ont été sélectionnées parce qu'elles constituaient les plus grandes zones d'habitat intact qui n'étaient pas absolument vitales pour le succès de la mine bien qu'elles reposent sur du minerai à faible teneur. La zone de conservation hors site a été identifiée parmi 28 formations ultrabasiques potentielles, comme étant la zone d'habitat intacte de la plus haute qualité, avec une structure similaire à celle des habitats azonaux du site de la mine (volume J, annexe 1.1, pièce jointe 2). Cette évaluation repose sur l'examen de données cartographiques, sur une reconnaissance aérienne et sur une étude sur le terrain.

1.2.2 Alternatives pour la prise d'eau

Deux alternatives ont été considérées eu égard à l'approvisionnement en eau pour la production du minerai en pulpe qui assurera le transfert du minerai par pipeline de la mine à l'usine de traitement. La première option envisagée était d'utiliser exclusivement l'eau de pluie recueillie dans les bassins de rétention; la seconde option consistait à utiliser un pipeline de la prise d'eau sur la rivière Mangoro en supplément des eaux de pluie. Le pipeline de la prise d'eau sur la rivière Mangoro a été sélectionné pour plus de flexibilité afin que les bassins versants en aval puissent toujours être maintenus à des niveaux de débit saisonniers similaires aux niveaux de référence, minimisant ainsi les effets écologiques et sociaux.

1.2.3 Systèmes électriques

Les alternatives pour l'alimentation électrique à la mine comprenaient la production d'électricité au charbon, au mazout/diesel, au gaz, à la biomasse, à l'énergie nucléaire ou hydroélectrique. La production d'énergie au mazout/diesel est l'option préférée. (tableau 1-1).

1.2.4 Alternatives pour la flotte de véhicules de la mine

La flotte de véhicules de la mine respectera minimalement les normes d'émissions de l'USEPA pour les véhicules de catégorie II (ou « Tier II » pour véhicules hors route»). Cette option permet au projet de rencontrer les principaux critères de qualité de l'air décrits dans le volume B, section 3.4. Il est probable que la plupart des moteurs des véhicules soient d'un niveau supérieur à ceux de la catégorie II.

Tableau 1-1 Analyse des options – alimentation électrique

Alternative	Ingénierie	Coûts comparés	Aspect environnemental	Aspect social
au charbon	efficacité et disponibilité moyennes	coût en capital moyen, coûts d'exploitation bas	combustible de qualité moyenne, génère des gaz à effet de serre, SO ₂ /NO _x	impact minimal cheminée potentiellement visible
mazout/diesel (solution préférée)	efficacité moyenne/ élevée grande disponibilité phase de construction courte	coûts en capital faibles, coûts d'exploitation moyens	combustible de bonne qualité, génère des gaz à effet de serre, SO ₂ /NO _x	impact minimal cheminée potentiellement visible
cycle de combustion au gaz	efficacité élevée grande disponibilité pas d'alimentation en gaz domestique	coûts en capital faibles, coûts d'exploitation élevés	combustible de bonne qualité génère des gaz à effet de serre, SO ₂ /NO _x	impact minimal cheminée potentiellement visible
biomasse	approvisionnement peu fiable logistique moyenne en fonction de la source	coût en capital élevé/moyen, coûts d'exploitation faibles	occupation du territoire potentiellement élevée autorisation généralement facile à obtenir	souvent considérée comme écologique
hydroélectrique	moyennement fiable (en fonction de la saison / météo) requiert une ligne de transport d'énergie à partir de la source existante phase de construction comparativement longue	coût en capital élevé, coûts d'exploitation faibles	autorisation généralement facile à obtenir peut avoir un impact sur une grande superficie	possible déplacement de population des zones de barrage souvent considérée comme écologique
renouvelable (éolienne, marémotrice, énergie des vagues, solaire)	peu fiable (en fonction de la saison / météo)	coût en capital élevé/moyen, coûts d'exploitation faibles	autorisation généralement facile à obtenir Source d'énergie renouvelable	souvent considérée comme écologique

2 DESCRIPTION DU PROJET

2.1 INTRODUCTION

Le site proposé de la mine est situé à environ 15 km au nord nord-est de Moramanga, à Madagascar (figure 1.3-1). Moramanga est située à environ 120 km à l'est de la capitale, Antananarivo.

La mine exploitera deux secteurs de ressources, Ambatovy et Analamay. Ces ressources minérales contiennent environ 190 millions de tonnes de minerai à une teneur d'environ 1,1% de nickel et 0,1% de cobalt. Le taux d'extraction de minerai sera d'environ six millions de tonnes sèches par année, en vue de produire environ 60 000 tonnes de nickel et 5000 tonnes de cobalt par année. En plus du minerai, du mort terrain et du minerai à faible teneur seront extraits. Une certaine quantité de mort terrain pourrait être utilisée pour le revêtement des routes; du minerai à faible teneur pourrait être remblayé dans les zones déjà exploitées ou entreposé afin d'être traité ultérieurement. La durée prévue du projet d'exploitation du gisement, y compris le traitement du minerai à faible teneur, est d'au moins 27 ans.

La mine sera exploitée en phases successives, en se déplaçant à travers le gisement, en réhabilitant et en revégétalisant les secteurs exploités auparavant. Des plans détaillés pour la gestion des eaux et le contrôle des sédiments sont en train d'être établis.

2.2 PLAN D'ACHAT DES TERRES

Le permis no 459 d'exploration de la mine est situé sur un terrain qui appartient au deux tiers à l'Etat et au tiers au privé. Le gisement, l'empreinte au sol de la mine et une zone de sécurité de 300 m (superficie totale de 2930 ha) sont complètement situés sur les terres domaniales. Afin de permettre la création d'une zone tampon autour des activités d'exploitation de la mine, Phelps Dodge a présenté, en 1997, des demandes de bail emphytéotique pour une superficie de 6900 ha.

Le 11 septembre 2003, Dynatec a informé l'Administration foncière et domaniale de ses intentions de redémarrer le projet et finaliser les demandes de bail emphytéotique.

Le promoteur a identifié les parcelles de terrain qui devront être achetées dans le secteur de la mine.

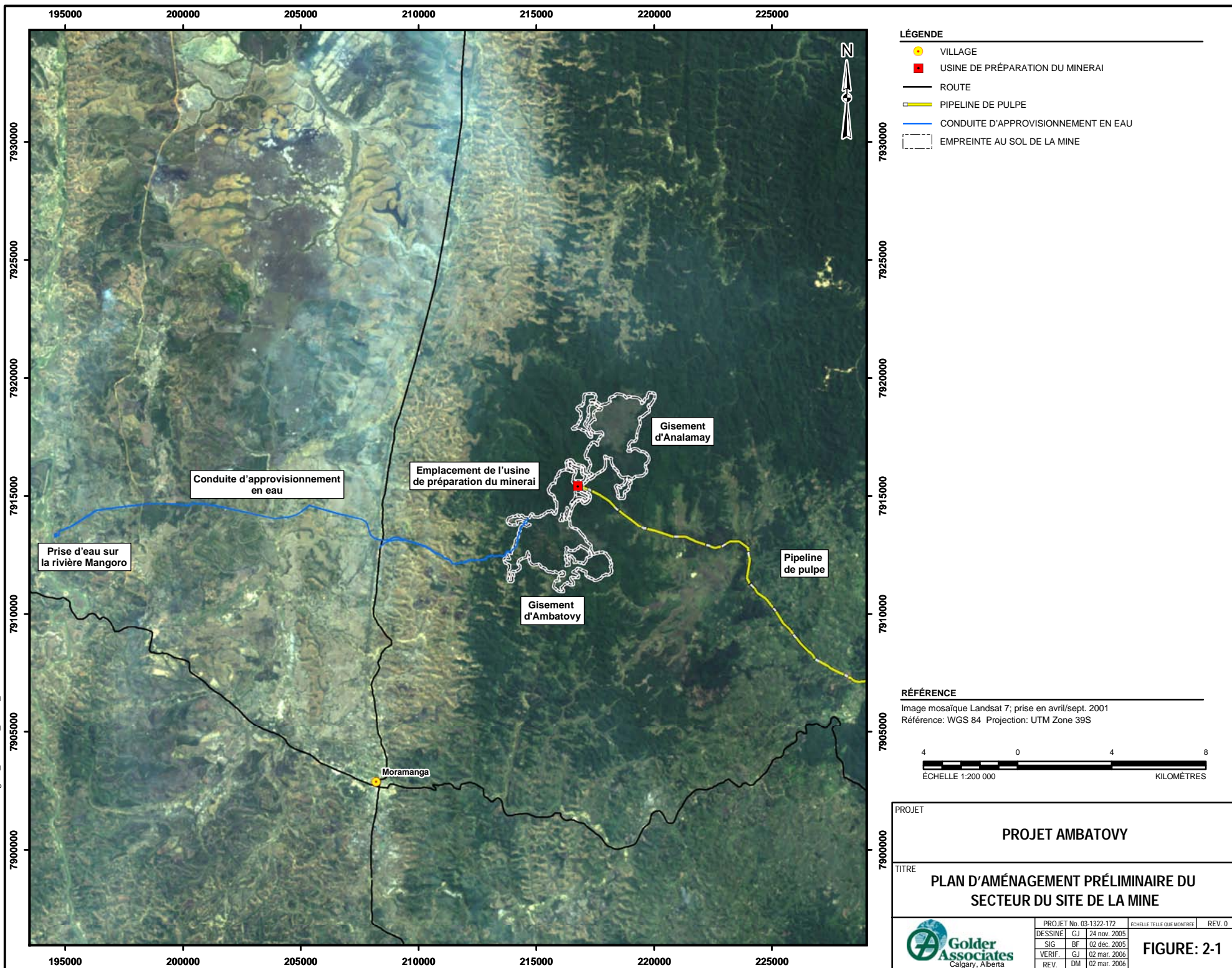
Approximativement 40 ha sont requis pour une station de pompage sur la berge est de la rivière Mangoro. Le site prévu est localisé sur les terres domaniales. Un bail emphytéotique sera fondé sur les termes du contrat du site de la mine.

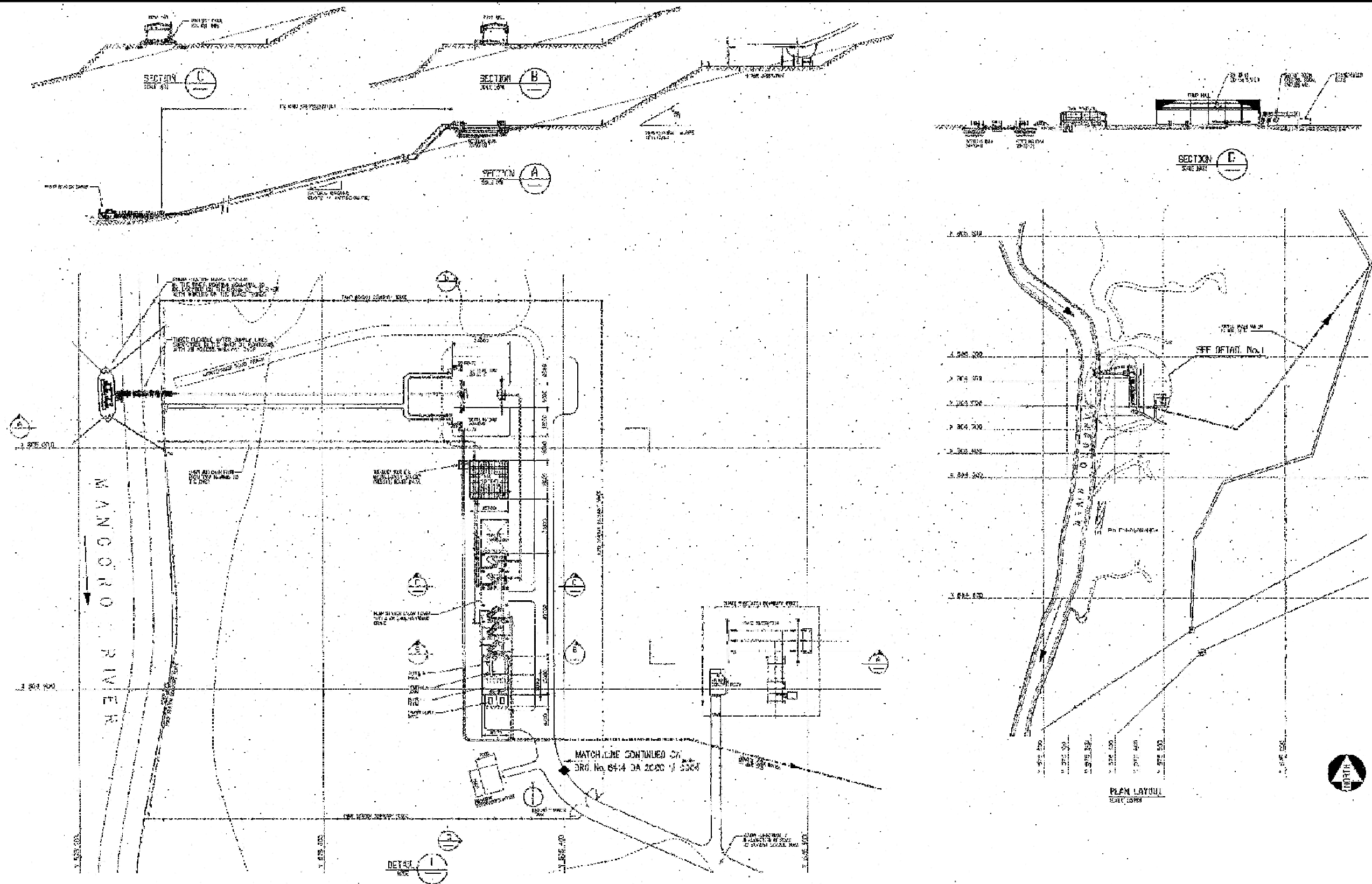
La conduite d'approvisionnement en eau (environ 23 km) traverse huit parcelles de terrain privé et sept parcelles domaniales. La servitude sera négociée avec les propriétaires respectifs. Une indemnisation sera négociée advenant le cas où la propriété serait endommagée ou détruite.

2.3 INFRASTRUCTURE

La figure 2.1 présente le plan général de l'infrastructure de la mine. L'approvisionnement en eau vers la mine pour la préparation du minerai se fera à partir de la rivière Mangoro, située à environ 20 km à l'ouest du site. Le débit maximal prévu sera de 1000 m³/h, même si le débit nominal requis est bien moindre. Les résultats attendus sont qu'une quantité importante de l'eau nécessaire soit fournie par des bassins de rétention des eaux de surface dans le secteur de la mine. L'alimentation électrique pour les installations de la mine et de l'usine de préparation du minerai sera assurée par des centrales électriques au diesel situées sur le site de la mine.

La figure 2.2 indique le plan général des installations de la prise d'eau à la rivière. Les figures 2-3 et 2-4 présentent l'aménagement général des bassins de rétention des eaux de ruissellement ainsi qu'un bilan hydrique conceptuel



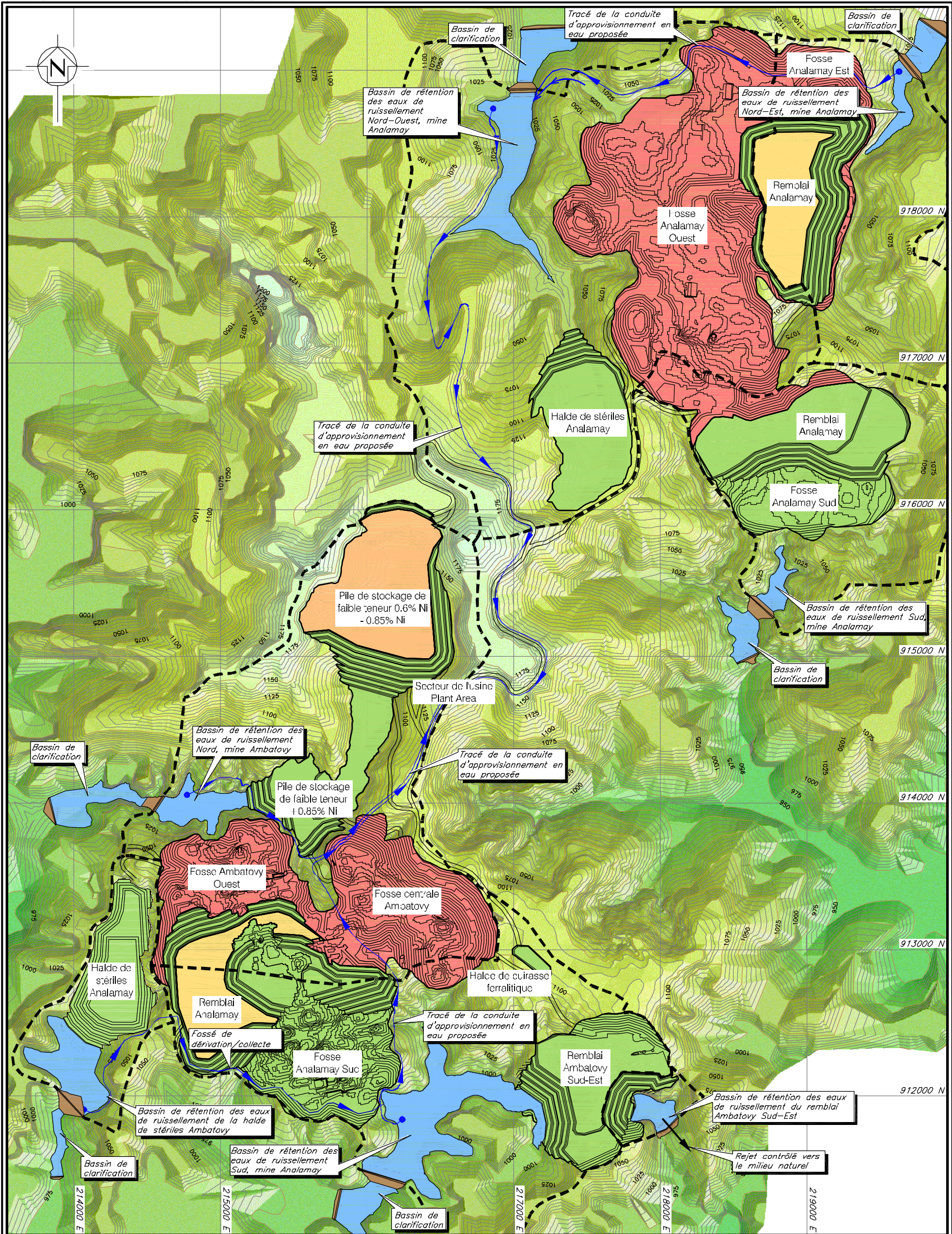


RÉFÉRENCE

DESSIN ORIGINAL PRÉPARÉ PAR MURRAY & ROBERTS ENGINEERING SOLUTIONS LIMITED.
DESSIN NUMÉRO 6414DA2000M0002.DWG

PROJECT		PROJET AMBATOVY	
TITLE		PLAN D'AMÉNAGEMENT DE LA STATION DE POMPAGE SUR LA RIVIÈRE MANGORO	
	PROJET	03-1322-172.8400	FILE No. Raw Water Pump Stn
	PROJETÉ PAR	GJ 06/07/04	ECHELLE TELLE QU'INDIQUÉE REV. 0
	DESSINÉ PAR	PSR 06/07/04	
	VERIFIÉ PAR	MR 06/07/04	
	REVISE PAR	DM 07/01/06	

FIGURE: 2-2



Légende:

- Bassin d'eau proposé
- Zone en exploitation
- Zone de stockage de minerais
- Zone de dépôt de stériles (halde)
- Zone réhabilitée
- Ligne de partage des eaux
- Emplacement approximatif de la pompe
- Tracé de la conduite proposée
- Tracé possible de la conduite en provenance du secteur d'Analamay

Remarques:

- La topographie et le plan d'aménagement de la mine fournis par IMC, datés du 29 sept. 2004, représentent l'année 20.
- Coordonnées en projection UTM.
- Intervalle des contours: 5 mètres.
- Les limites des bassins et des digues sont approximatives et soumises à modification.

Echelle 250 0 250 500 750 1000 1250 Mètres

PROJET AMBATOVY

INSTALLATIONS DE COLLECTE DES EAUX DE RUISSELLEMENT DE LA MINE ET D'APPROVISIONNEMENT EN EAU, PLAN D'AMÉNAGEMENT DE LA MINE ANNEE 20

Knight Piésold
CONSULTING

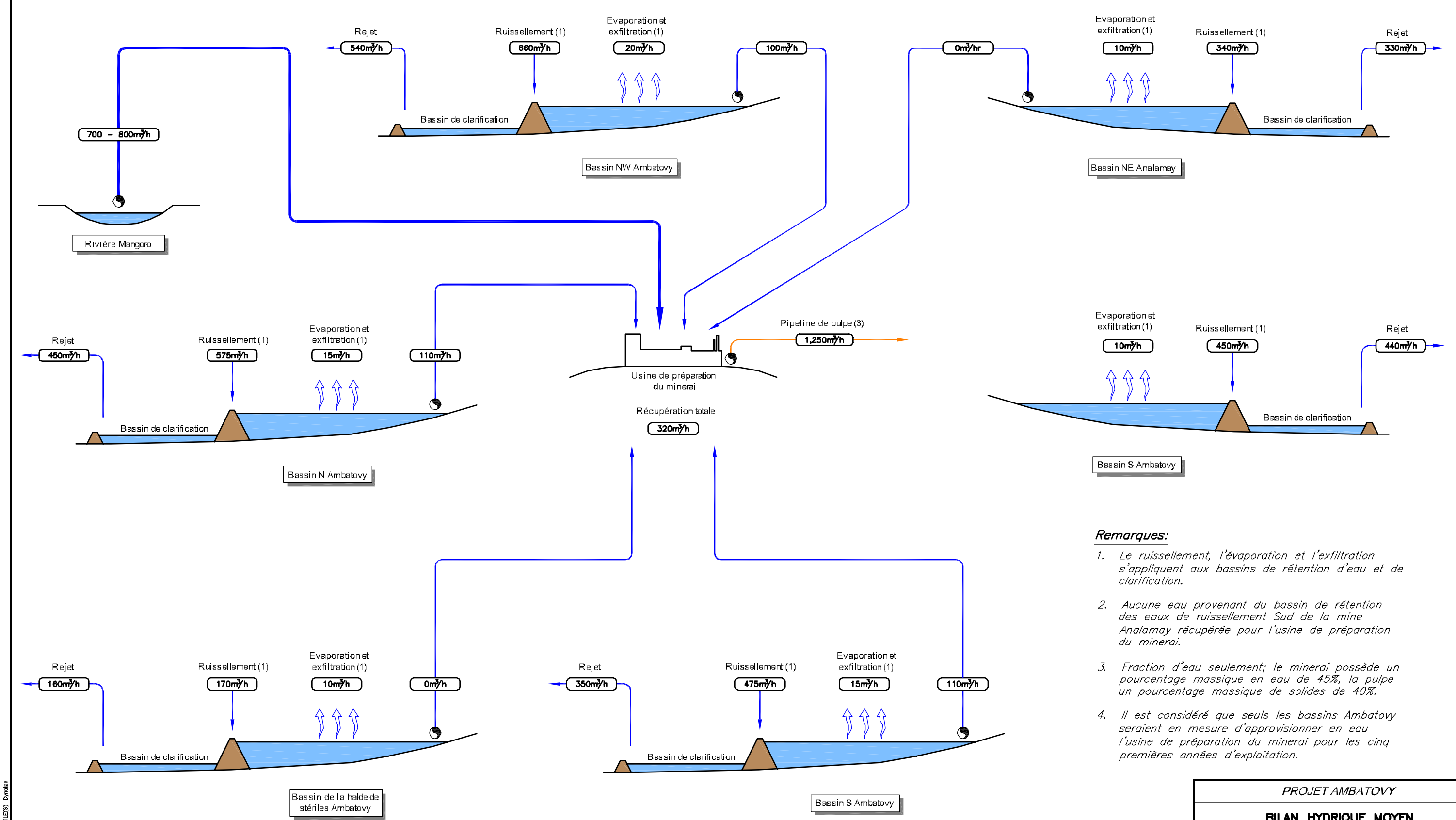
P/A NO. NB301-00116/4

REF.

REV.

FIGURE 2-3

XPREF FILE(S): IMAGE FILE(S): Dynamite



Remarques:

1. Le ruissellement, l'évaporation et l'exfiltration s'appliquent aux bassins de rétention d'eau et de clarification.
2. Aucune eau provenant du bassin de rétention des eaux de ruissellement Sud de la mine Analamay récupérée pour l'usine de préparation du minéral.
3. Fraction d'eau seulement; le minéral possède un pourcentage massique en eau de 45%, la pulpe un pourcentage massique de solides de 40%.
4. Il est considéré que seuls les bassins Ambatovy seraient en mesure d'approvisionner en eau l'usine de préparation du minéral pour les cinq premières années d'exploitation.

PROJET AMBATOVY			
BILAN HYDRIQUE MOYEN SECTEUR DE LA MINE			
Knight Piésold CONSULTING	P/A NO. NB301-00116/4	REF.	REV.
	FIGURE 2-4		

NORTH: BAY ONL. CREATED BY: shehard. SAVED: I:\301-00116-4\Assignment\Acad\Work\French Translation\02_02\Map06\02_AAD\2-4_3/8/2008 12:11:28 PM. PRINTED: 3/8/2008 2:46:14 PM. djpmen

Une conduite d'approvisionnement en eau douce sera construite entre la prise d'eau sur la rivière et le secteur de la mine. La conduite aura un diamètre de 600 mm, une longueur de 23 km et sera enfouie.

L'infrastructure routière actuelle de la région est composée de deux routes nationales : la RN 2 (revêtement d'asphalte) et la RN 44 (asphaltée récemment sur les premiers 20 km). Un chemin d'accès entre la RN 44 et le site de la mine a déjà été construit et sera amélioré. La majorité des fournitures transportées au site de la mine s'effectuera par le réseau routier. La possibilité d'utiliser la ligne ferroviaire reliant Toamasina à Moramanga (passant par Antananarivo) sera étudiée pour le transport du matériel.

2.4 CONSTRUCTION

Lors de la phase de construction, l'eau proviendra de rivières présentes sur le site et sera pompée grâce à des pompes montées sur patins. L'eau sera acheminée au site de la mine par des conduites temporaires. L'eau sera entreposée dans des réservoirs de stockage de surface, purifiée et chlorée, au besoin, pour les fins de construction et de consommation.

Toutes les eaux de surface seront dirigées vers des canaux d'écoulement pourvus de pièges à sédiments avant d'être rejetées dans le cours d'eau le plus près.

Le plan détaillé de la base vie sera élaboré de façon à ce qu'elle puisse accueillir environ 600 travailleurs qualifiés, artisans, superviseurs et ouvriers non qualifiés. Les camps et les toilettes seront préfabriqués et seront démontés en partie à la fin de la phase d'exploitation du projet. La base vie comprendra également des salles à dîner, une cuisine, des installations de réfrigération et d'entreposage de denrées sèches, une salle de télévision et de jeux et des postes de télécommunications. Les bureaux administratifs de la base vie comporteront une salle de réception, des bureaux de sécurité, un bureau de poste, une salle d'orientation et de conférences, un comptoir à provisions et un café internet.

Tous les chemins et les services, y compris les conduits et câbles de télécommunication, le réseau électrique et l'éclairage du site, seront construits. La base vie sera située près de l'usine de préparation du minerai. L'eau potable sera fournie depuis le site de l'usine et stockée dans des réservoirs à l'intérieur de la base vie. Avant d'être stockée, l'eau aura été traitée à l'usine de traitement d'eau. Les eaux usées seront collectées dans des réservoirs de stockage et des fosses septiques, qui seront vidangés régulièrement.

Les entrepreneurs disposeront d'aires de travail, comprenant tous les services et situées dans la mesure du possible en des points centraux. Les entrepreneurs fourniront leurs propres équipements et autres installations nécessaires, tel que requis pour l'exécution de leurs travaux et conformément aux conditions de leurs contrats. Les routes seront construites en gravier. Un programme d'élimination des poussières sera mis en œuvre.

2.5 METHODE D'EXPLOITATION

Pour les opérations minières d'Ambatovy et d'Analamay, des excavatrices (pelles en butte ou tractopelles hydrauliques) et des camions de roulage conventionnels seront utilisés pour extraire le minerai des fosses à ciel ouvert et effectuer la livraison à la trémie de l'usine de préparation du minerai en pulpe. Le matériel à exploiter est entièrement composé de latérites, qui sont complètement altérées et offrent donc peu de résistance. Il ne sera pas nécessaire d'avoir recours à l'abattage par explosifs (dynamitage) puisque les pelles pourront pénétrer profondément le matériel sans dynamitage.

2.6 MISE EN EXPLOITATION DE LA FOSSE

L'aménagement initial des fosses aura lieu dans le secteur ouest d'Ambatovy. Un décapage préalable à la production n'est pas important puisque le gisement de minerai est situé à quelques mètres de la surface seulement. Cependant, il sera nécessaire de procéder par une étape préparatoire à la mise en exploitation de la mine consistant en la mise en place des routes d'accès afin que la mine soit prête à livrer du minerai à la trémie dès sa mise en opération. Le tonnage pour le décapage préliminaire est évalué à environ 100 000 tonnes à l'emplacement du gisement, et à 3 000 000 tonnes additionnelles au site de l'usine de préparation de la pulpe. La production annuelle de minerai grimpera jusqu'à 6 millions de tonnes par année. Les quantités de matière de décapage qu'il faudra enlever varieront d'une année à l'autre et seront en moyenne d'environ 3 millions de tonnes par année.

De par leur nature, les minerais latéritiques ont une teneur en eau élevée. Pour les gisements d'Ambatovy et d'Analamay, le minerai de ferralite, contient, selon les estimations, une moyenne d'environ 45% d'humidité (en poids). La densité sèche est d'environ une tonne par mètre cube.

Les travaux préparatoires débiteront environ six mois avant la mise en opération de l'usine.

2.7 EXPLOITATION DE LA MINE

Un plan d'exploitation des gisements de minerai d'Ambatovy et d'Analamay a été élaboré. La première fosse sera aménagée à Ambatovy ouest. Cette fosse sera agrandie par retraits successifs d'environ 200 m, jusqu'à ce que la presque totalité de la fosse d'Ambatovy ouest ait été exploitée. La réhabilitation du terrain sera faite de façon progressive pendant toute l'exploitation de la mine.

Des agrandissements dans d'autres secteurs de la mine suivront, qui comprendront les secteurs centre et sud-est d'Ambatovy et la fosse d'Analamay.

Quatre produits seront extraits durant l'exploitation de la mine. Ceux-ci comprendront le minerai livré soit à la trémie de l'usine de préparation, soit au site de stockage de réserve. Deux produits à faible teneur seront également extraits: du minerai à faible teneur et du minerai à teneur marginale. Ces minerais seront stockés dans des réserves convenablement situées pour être récupérés et traités ultérieurement. Le quatrième produit sera constitué des stériles. Dans la plupart des cas, il s'agira de latérites, dont la teneur en nickel sera trop basse pour en envisager économiquement le traitement.

Les divers secteurs de la mine seront asséchés au besoin. L'assèchement deviendra nécessaire en raison des fortes pluies dans la région et, dans une moindre mesure, à cause de l'exfiltration des eaux souterraines dans les fosses. L'eau provenant des fosses à ciel ouvert sera recueillie dans des bassins de décantation où elle pourra sédimenter avant d'être rejetée dans les cours d'eau avoisinants. Toutefois, les eaux de puisards hautement chargées provenant des fosses actives seront préférentiellement réacheminées vers l'usine de pulpe plutôt que vers les bassins de rétention d'eau.

Lorsqu'un secteur de la fosse aura été exploité, il deviendra disponible pour l'entreposage de stériles, incluant du matériel non économique.

Le matériel latéritique qui compose les gisements a une teneur en eau élevée et une dureté faible. Afin de permettre le passage des camions de roulage et d'autres équipements, il sera nécessaire de recouvrir les routes et les gradins avec de la pierre concassée. Lorsque disponible, un substrat rocheux de la cuirasse ferrallitique sera utilisé ; une carrière sera également aménagée pour fournir le matériel nécessaire. Celle-ci sera située à l'extérieur des divers secteurs de la mine, probablement sur la route Ambatovy-Analamay.

2.8 EQUIPEMENT D'EXPLOITATION DE LA MINE

L'équipement d'exploitation principal des mines sera composé de pelles hydrauliques et d'un parc de camions de roulage. La flotte d'exploitation est à peu de chose près telle que décrite au tableau 2.7-1.

2.9 USINE DE PREPARATION DU MINERAI

La figure 2-5 indique le plan général de l'usine de préparation du minerai. Cette usine recevra le minerai, assurera la préparation de la pulpe, son tamisage et son épaississage jusqu'à une consistance d'environ 40 % de solides et la pompera dans le pipeline de pulpe.

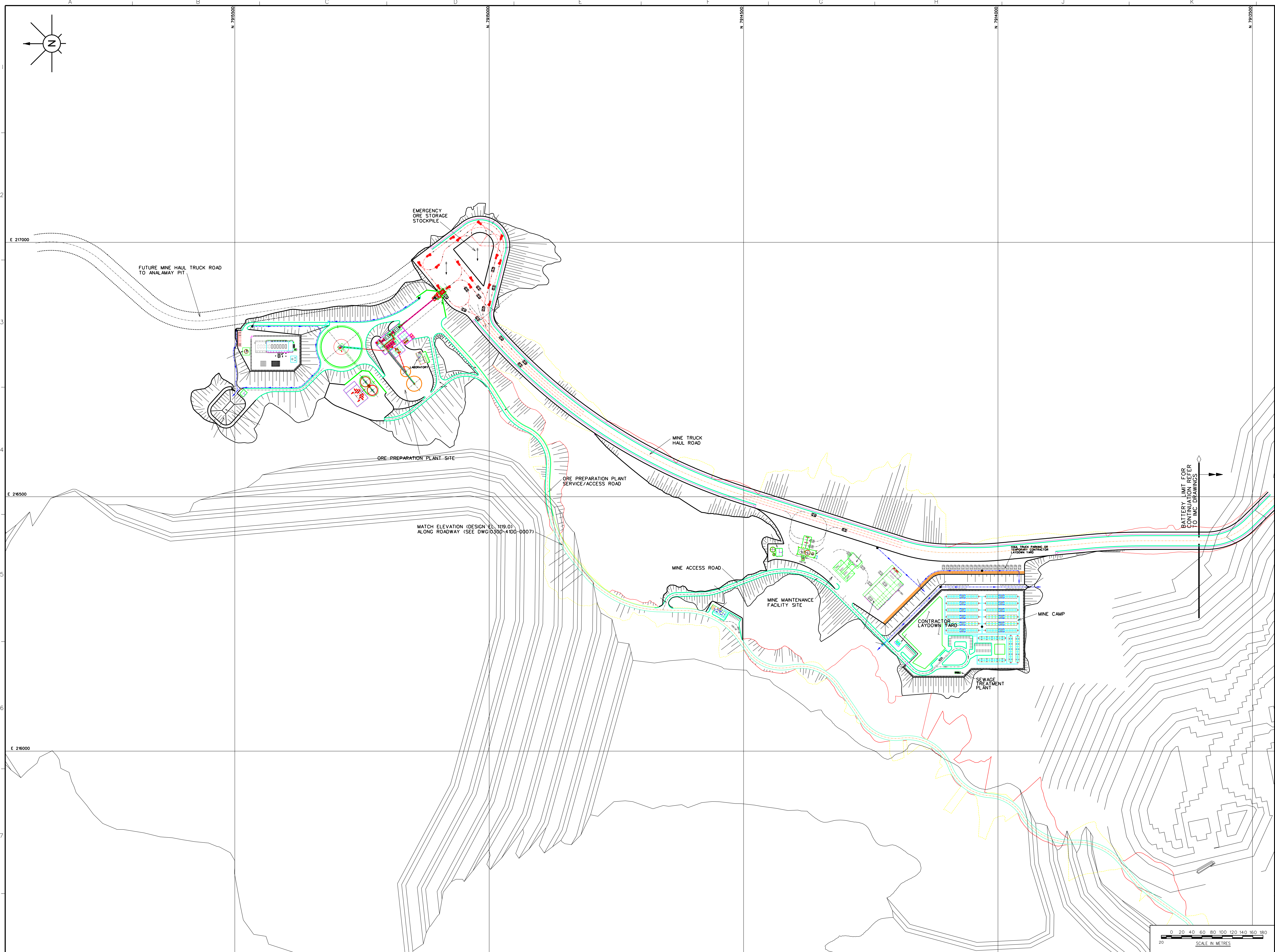
2.10 CARRIERES

Une ou plusieurs carrières seront nécessaires pour l'approvisionnement en pierre concassée dans le cadre des activités d'exploitation minière. Les effets de l'exploitation des carrières seront évaluées et présentés dans un *addenda* à l'EIE.

2.11 GESTION DES DECHETS

Une décharge spécialisée sera construite dans le cadre du projet pour les ordures ménagères. Des procédures seront élaborées visant à minimiser la production de déchets et en assurer la gestion adéquate (annexe 6, volume H). Tout déchet dangereux sera recueilli correctement et entreposé avant son traitement et son élimination. Les déchets d'hydrocarbures (telles les huiles usées) seront incinérés dans un incinérateur leur étant dédié, à même le site.

p:\334457\civil\Environment\Documents\April 06\03004E\0001.dgn
JUSW 2006-04-17 02:04:00 PM



- LEGEND:
LEGENDE:
1. BUILDING
BATIMENT
- SHELTER
ABRI
- STRUCTURE
STRUCTURE

NOTES:

CONTOURS ARE FROM MAPPING SUPPLIED BY GEOPRACTICA.
REFERENCE GRID SHOWN IS BASED ON UTM
GLOBAL CO-ORDINATE SYSTEM.

NOTES:

COURBES DE NIVEAU BASÉES SUR LA CARTOGRAPHIE
FOURNIE PAR GEOPRACTICA. COORDONNÉES DE RÉFÉRENCE
SELON SYSTÈME DE PROJECTION UNIVERSELLE UTM.

FIGURE 2-5




 SNC-LAVALIN Engineers & Constructors		<div>AMBATOVY: OPD APP: ENG: COORD</div> <div>AMBATOVY: OPD APP: AREA: MAN</div> <p>THIS DRAWING HAS BEEN PREPARED BY SNC-LAVALIN ENGINEERS AND CONSTRUCTORS INC. AND THE USE AND COPYING THEREOF IS SUBJECT TO THE TERMS OF THE AGREEMENT UNDER WHICH IT WAS PREPARED. THIS DRAWING MAY NOT BE COPIED EXCEPT AS EXPRESSLY PROVIDED THEREIN.</p>			
PROFESSIONAL ENGINEER	NAME	NO.			
TITLE		LAYOUT FOR ORE PREPARATION PLANT, MINE MAINTENANCE & CAMP FACILITIES PLAN D'IMPLANTATION DE L'USINE DE PRÉPARATION DE MINÉRAUX, DES INSTALLATIONS DE LA MINE ET DES BASES VIES			
PROJECT NO.	AREA	DISC.	DOC.	DRAWING NUMBER	REVISION NUMBER
334457	0300	4E	DD	0001	PA

Tableau 2.7-1 Equipement de chantier

Type	Quantité	Dimension
pelle hydraulique	3	12-13 m ³
camion de roulage	15	100 t
tractopelle	2	4-5 m ³
camion de roulage	4	50 t
niveleuse	2	16 pieds (4.9 m)
bulldozer	3	Equiv D-9
bulldozer	2	Equiv D-7
bulldozer pour terrain accidenté	1	Equiv 834
chargeuse	1	Equiv 992
chargeuse	1	Equiv 988

3.1 TOPOGRAPHIE ET GEOMORPHOLOGIE

3.1.1 Introduction

Cette section présente l'évaluation environnementale des effets de la mine sur la topographie et la géomorphologie, incluant les caractéristiques topographiques particulières, selon les termes de référence du Projet Ambatovy (le projet).

3.1.2 Secteur d'étude

En ce qui concerne la topographie et la géomorphologie, le secteur local d'étude est le même que celui du secteur terrestre présenté à la figure 7.2-1 du volume A. Il comprend les secteurs affectés par la mine et la conduite de la prise d'eau en plus d'une zone tampon de 500 m tout autour de ces secteurs. Le secteur à l'étude comprend aussi le marais de Torotorofotsy et le bassin environnant, à une distance de 500 m ou moins de ce marais.

3.1.3 Résumé de l'étude de référence

Le secteur de la mine comprend aussi les reliques d'un plateau situé à une élévation d'environ 1100 mètres au-dessus du niveau de la mer (ASL). A l'ouest du plateau se trouve la vaste plaine alluviale de la rivière Mangoro et à l'est le marais de Torotorofotsy et des collines boisées.

La géomorphologie du gisement d'Ambatovy est caractérisée par un plateau de crête flanqué de collines et de vallées. Le plateau couvre la portion nord-est du gisement d'Ambatovy en raison d'une cuirasse ferralitique résistante à l'érosion. La surface du plateau est relativement inégale avec de nombreuses dépressions qui forment des mares temporaires. La cuirasse ferralitique s'amincit sur les flancs du plateau et des collines, devenant ainsi plus susceptible à l'érosion. Le site de la mine comporte aussi des zones de faiblesse associées aux failles, aux fractures et aux dykes.

La géomorphologie de la partie ouest du secteur de la mine est caractérisée par des collines ondulantes et des vallées remplies d'alluvions. La partie est du secteur de la mine comprend une portion du marais de Torotorofotsy. La géomorphologie de ce système de marais est caractérisée par des collines ondulantes et des vallées remplies d'alluvions. Les vallées ont été partiellement fermées, ce qui a causé le dépôt d'épaisses séquences de matériaux alluvionnaires.

Selon une analyse qualitative du paysage, deux éléments relativement inhabituels se retrouvent dans le secteur local d'étude:

- les gisements d'Ambatovy et d'Analamay, recouverts d'une épaisse cuirasse ferrallitique sur les plateaux
- le marais de Torotorofotsy, qui constitue le marais le plus vaste et le plus intact de l'est de Madagascar (site Web de BirdLife International 2003)

La section 1.1 du volume I contient plus de détails sur les conditions de référence.

3.1.4 Portée des enjeux

Les principaux enjeux potentiels concernant la topographie et la géomorphologie sont:

- la suppression et la perturbation initiales d'éléments topographiques uniques ou importants pour des raisons sociales ou biologiques
- des changements dans le paysage et à la pente géomorphologique sous-jacente qui pourraient représenter des enjeux importants à long terme pour la population ou pour l'environnement

Selon l'importance des corrections des pentes du terrain au moment de la réhabilitation, les changements locaux de topographie pourraient avoir des implications pour l'hydrologie, l'hydrogéologie, les effets visuels, les conditions de croissance de la flore, l'habitat de la faune, l'habitat aquatique et les plans de fermeture.

La question clé concernant la topographie et la géomorphologie est la suivante:

Question clé TG-1 Quel sera l'effet de la mine sur la topographie et la géomorphologie?

Les liens d'impact potentiel associés aux impacts sur la topographie et la géomorphologie sont présentés à l'annexe 9 du volume H. Durant les phases de construction et d'exploitation, des éléments topographiques et géomorphologiques du paysage seront perturbés. Les pentes et la topographie seront modifiées durant les phases de construction, d'exploitation et de fermeture.

3.1.5 Evaluation des impacts

3.1.5.1 Méthodes d'évaluation

La topographie existante a été étudiée au moyen de cartes topographiques et de la documentation. Le caractère unique des éléments topographiques a été évalué en comparant les éléments qui seraient affectés par le projet à d'autres éléments dans le secteur local d'étude. Les caractéristiques de la topographie antérieure à la construction de la mine ont été comparées de manière qualitative à celles de la topographie après la fermeture.

3.1.5.2 Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation utilisés pour la topographie et la géomorphologie sont présentés au tableau 3.1-1.

Tableau 3.1-1 Critères de description des impacts sur la topographie et la géomorphologie

Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence
neutre: aucun changement topographique négative: un changement topographique qui affectera les fonctions des services biologiques ou aux humains	négligeable: aucun effet mesurable sur les pentes et les éléments topographiques du paysage faible: légers changements aux pentes ou à la topographie générale moyenne: changements locaux importants aux pentes ou à la topographie générale forte: changements régionaux importants aux pentes ou à la topographie générale	locale: effet restreint au secteur local d'étude régionale: effet s'étendant au-delà du secteur local d'étude	court terme: <3 ans moyen terme: 3 à 30 ans long terme: >30 ans	réversible ou irréversible	faible: se produit une seule fois moyenne: se produit par intermittence élevée: se produit en continu

3.1.5.3 Mesures d'atténuation

La conception du projet permettra d'éviter les impacts directs de la mine sur le marais de Torotorofotsy.

Au cours de la construction, de l'exploitation et de la fermeture, des mesures de lutte contre l'érosion, telles que décrites à la section 6 du volume B, seront mises en œuvre afin de minimiser le ravinement et l'enlèvement de matériel de surface par l'action de l'eau ou du vent.

Au cours de la construction, de l'exploitation et du début de la phase de fermeture, les systèmes de gestion de l'eau capteront les écoulements le long de la base des aménagements miniers et atténueront l'envasement dans les bassins en aval. Ces mesures seront d'autant plus importantes qu'elles atténueront les effets sur le marais de Torotorofotsy et sur les vallées en aval, lesquelles produisent du riz et servent à d'autres utilisations.

Au cours de phases d'exploitation et de fermeture, la réhabilitation sera déjà enclenchée. La revégétalisation réduira l'érosion du matériel en surface et aidera à maintenir les pentes et les autres éléments topographiques. Les pentes seront corrigées afin d'assurer une stabilité à long terme. La morphologie du terrain à la fermeture sera conçue en vue d'une continuité de la morphologie du terrain et des bassins versants entre les terrains non perturbés et les secteurs réhabilités.

3.1.5.4 Résultats

Les gisements et les autres éléments du paysage plus typiques à l'échelle régionale seront affectés par le projet. Au cours de la construction et de l'exploitation, divers éléments du paysage, incluant des piles de stockage, des fosses, des routes d'accès linéaires, des fossés et des bassins de drainage, seront aménagés, modifiant la topographie locale.

Au cours de la mise en exploitation de la mine, les parois (d'une hauteur jusqu'à 50 m) auront des pentes d'environ 22 à 27 degrés; les murs des gradins (d'une hauteur de 6 m) auront une pente moyenne de 27 degrés. De manière générale, les pentes entourant les mines actives devraient avoir une pente moyenne de 20 degrés. Ces paramètres sont soumis à de nouvelles études et les angles de ces parois et murs seront redéfinis et raffinés. Les excavations atteindront par endroits des profondeurs maximales d'environ 50 m sous le niveau de la topographie actuelle. Le secteur de la mine en exploitation aura une différence d'élévation relative pouvant atteindre 150 m entre le point le plus élevé et le point le plus bas.

Lors de la réhabilitation, les gradins seront enlevés pour créer des pentes plus régulières. Le procédé de réhabilitation du projet établira une nouvelle morphologie du terrain. Les nouveaux éléments comprennent des aires réhabilitées de disposition de stériles, des lacs au fond des fosses et des corridors linéaires.

3.1.5.5 Analyse des impacts

Impacts résiduels

Les effets résiduels de chaque étape du projet, après l'atténuation, sont résumés dans le tableau 3.1-2.

La conception du projet et les mesures d'atténuation atténueront pleinement les effets topographiques potentiels sur le marais de Torotorofotsy.

La topographie actuelle du secteur local de la mine est montagneuse avec des pentes relativement abruptes sauf à l'extrémité ouest du corridor de la conduite de prise d'eau et dans les environs immédiats du marais de Torotorofotsy. Les secteurs affectés par les changements topographiques en raison de l'exploitation minière comprennent des secteurs de plateaux, des vallées abruptes et des crêtes dont les pentes varient de plates à environ 45 degrés.

Tableau 3.1-2 Effets potentiels et impacts résiduels sur la topographie et la géomorphologie

Etape du projet	Effets potentiels	Mesures d'atténuation	Impacts résiduels
construction	changements au paysage et à la pente géomorphologique sous-jacente durant la construction à court terme	lutte contre l'érosion gestion de l'eau ingénierie de la stabilité des pentes	intensité faible / modification à court terme des gisements et de la topographie adjacente
exploitation	enlèvement et perturbation d'éléments topographiques significatifs, lesquels sont importants pour des raisons sociales ou biologiques (formations des gisements) changements au paysage et à la pente géomorphologique sous-jacent qui pourraient représenter des préoccupations à moyen terme pour les parties prenantes et la biodiversité	lutte contre l'érosion gestion de l'eau ingénierie de la stabilité de pentes réhabilitation progressive	intensité moyenne / modification à moyen terme des gisements et de la topographie adjacente
fermeture	changements au paysage et à la pente géomorphologique sous-jacente qui pourraient représenter des préoccupations à long terme pour les parties prenantes et la biodiversité	lutte contre l'érosion gestion de l'eau ingénierie de la stabilité des pentes réhabilitation complète	intensité faible / modification à long terme des gisements et de la topographie adjacente

Avec la création de fosses à ciel ouvert, de haldes de stériles et d'un système de bassins, l'activité minière aura un impact direct sur le paysage et la géomorphologie sous-jacente dans les secteurs des gisements. Quelques impacts seront temporaires (moyen terme); en effet, les piles de stockage temporaires seront enlevées et quelques endroits de la fosse seront remplis au cours des phases d'exploitation et de fermeture. D'autres impacts seront des impacts à long terme car les éléments paysagers de la mine qui diffèrent de ceux du paysage de référence demeureront en place au-delà de la phase de fermeture.

L'intensité des changements est considérée faible durant la construction; en effet, des secteurs relativement petits seront modifiés durant cette période. L'intensité des changements durant l'exploitation est considérée moyenne en raison des changements topographiques qui sont plus grands durant l'exploitation des fosses; c'est aussi durant cette période que les piles de stockage sont de plus grande dimension. L'intensité du changement après la fermeture est considérée faible en raison des effets bénéfiques de la réhabilitation; le paysage actuel de topographie abrupte et ondulante ne diffère pas beaucoup de ce que sera la topographie modifiée de la mine et ce, grâce à l'implantation réussie de mesures d'atténuation qui comprennent la lutte contre l'érosion et l'ingénierie de la stabilité des pentes.

Les pentes des aménagements miniers, durant l'exploitation et après la fermeture, se situeront dans une plage naturelle de variations de pentes déjà présentes dans la région. Toutefois, l'orientation, la régularité et la diversité des pentes changeront; ces changements topographiques seront très perceptibles à l'échelle locale et ils pourraient affecter à long terme, à cette échelle, les systèmes biologiques et l'utilisation du terrain par les humains.

Pour chaque phase du projet, une classification des impacts résiduels sur la topographie et la géomorphologie est présentée au tableau 3.1-3.

Tableau 3.1-3 Classification des impacts résiduels sur la topographie et la géomorphologie

Phase	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
Question-clé TG-1 Quel sera l'effet de la mine sur la topographie et la géomorphologie?							
construction	négative	faible	locale	court terme	non	moyenne	négligeable
exploitation	négative	moyenne	locale	moyen terme	non	élevée	faible
fermeture	négative	faible	locale	long terme	non	basse	faible

Niveau de confiance des prévisions

L'état de référence de la topographie dans le secteur local d'étude est bien compris et des informations détaillées à propos du paysage futur du secteur de la mine ont été rendues disponibles par la planification de la fermeture. Toutefois, la classification des impacts est aussi fonction du succès des mesures d'atténuation proposées, incluant la lutte contre l'érosion et l'ingénierie de la stabilité des pentes sous des conditions difficiles. De manière générale, le niveau de confiance des prévisions pour la présente évaluation est considéré moyen.

Surveillance

Aucune surveillance n'est proposée spécifiquement pour la topographie et la géomorphologie. La surveillance de l'efficacité des mesures de lutte contre l'érosion, de la stabilité des pentes et du succès des mesures de réhabilitation est décrite à la section 6 du volume B.

3.1.5.6 Conclusions

Après l'application des mesures d'atténuation, la mine aura un niveau de conséquences environnementales sur la topographie qui sera négligeable durant la phase de construction et faible durant les phases d'exploitation et de fermeture. Les implications des changements à la topographie et la géomorphologie pour les autres disciplines sont traitées dans d'autres sections de ce rapport. Les effets des impacts de la phase de fermeture sur les bassins versants sont traités dans la section sur l'hydrologie (volume B, section 3.8).

3.2 GEOLOGIE ET GEOCHIMIE

3.2.1 Introduction

Cette section traite des impacts du Projet Ambatovy (le projet) sur la géologie et la géochimie du secteur de la mine. Les changements géochimiques ne sont pas considérés comme des impacts résiduels en soi; ils sont plutôt utilisés dans l'évaluation environnementale de la qualité de l'eau. (section 3.9, volume B).

Le secteur d'étude pour la géologie et la géochimie est le même que le secteur d'étude de la biologie terrestre illustré à la figure 7.2-1, section 7, volume A.

3.2.2 Résumé de l'étude de référence

3.2.2.1 Géologie

La géologie régionale comprend des roches métamorphiques d'âge Précambrien (ère s'étendant de 4,5 milliards d'années à 570 millions d'années avant aujourd'hui) et des roches intrusives datant du Paléozoïque au Tertiaire (de 570 millions à 2 millions d'années avant aujourd'hui).

Les roches intrusives des gisements datent du Crétacé (136 à 65 millions d'années avant aujourd'hui). Le trait dominant du cadre géologique régional du projet est une ceinture de gneiss et de migmatites de direction nord-sud. Ces roches font partie des roches à haut degré de métamorphisme sur lesquelles reposent les deux tiers est de l'île de Madagascar. Un grand intrusif, connu sous le nom de complexe d'Antampombato, datant probablement du Crétacé, recoupe le terrain gneissique et domine l'environnement géologique du projet.

Le complexe intrusif d'Antampombato est de forme elliptique, orienté nord-ouest/sud-est; le grand axe mesure environ 12 km et le petit axe environ 7 km. Le complexe se compose surtout de roches gabbroïques et syénitiques et de deux massifs ultrabasiques plus petits. Ce secteur de la future mine est un affleurement de roches ultrabasiques riches en nickel. Vers la limite sud du complexe se trouve le gisement d'Ambatovy. Le gisement ultrabasique d'Analamay est situé, quant à lui, à la limite est du complexe. Les roches ultrabasiques de ce complexe sont plus riches en nickel que les autres roches.

Puisque les gisements affleurent sur une ligne de crête qui a été soulevée, ils ont subi une intense altération en raison des conditions tropicales qui prévalent à Madagascar. La couche résultante de latérite a une épaisseur moyenne d'environ

50 mètres. La latérite peut être divisée en trois zones : cuirasse ferralitique, ferralite et saprolite.

La cuirasse ferralitique est une couche de surface qui forme une croûte de plusieurs mètres d'épaisseur, très dure, ressemblant à du roc, qui recouvre la partie supérieure du gisement. Sous la cuirasse ferralitique se retrouve la ferralite, une couche argilacée brun rougeâtre comprenant la majeure partie du minerai économique. Cette couche a une épaisseur moyenne de 40 mètres. La couche de saprolite constitue une zone de transition dans laquelle la roche n'est ni la roche mère intacte ni une roche complètement altérée en une ferralite argilacée.

3.2.2.2 Géochimie

Des échantillons de minerai et de stériles des gisements Ambatovy et Analamay ont fait l'objet d'un programme de caractérisation géochimique. Les détails sont fournis au volume I, annexe 2.1. Le but des analyses géochimiques était de déterminer la composition chimique de ces matériaux et d'en évaluer la stabilité environnementale. Plus spécifiquement, les objectifs étaient d'évaluer les points suivants:

- le comportement chimique des matériaux lorsqu'ils sont exposés à l'environnement
- le potentiel de ces matériaux d'avoir un impact sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines en raison de la lixiviation de leurs constituants chimiques

Deux programmes de caractérisation géochimique ont été menés en appui à l'étude d'impact environnemental. Le premier s'est déroulé à la fin des années 1990 pour Phelps Dodge Madagascar (PDM). Le second a été effectué pour Dynatec dans le cadre de la présente étude d'impact environnemental. Les résultats de ces deux études ont été combinés. Au total, seize échantillons ont été soumis aux fins de la caractérisation géochimique.

Les programmes de caractérisation géochimique menés par PDM et Dynatec, de portée très similaire, comportaient les points suivants:

- une analyse chimique des solides:
 - PDM: analyse de la roche entière par fluorescence X (XRF)
 - Dynatec: analyse chimique par une combinaison de digestion acide / absorption atomique (AA) et fusion du sodium / plasma inductif (ICP)

- une caractérisation minéralogique par diffraction X (XRD)
- la détermination du potentiel de génération d'acide par un dosage acide-base (DAB)
- une analyse chimique de l'eau entraînée dans les échantillons de pulpe (Dynatec seulement)
- un essai de lixiviation à court terme à étape unique par la méthode de lixiviation par précipitation synthétique (*Synthetic Precipitation Leaching Procedure – SPLP*) (*United States Environmental Protection Agency*, méthode 1312, USEPA 1995)
- essais SPLP consécutifs (seulement PDM).

Les échantillons de PDM et de Dynatec qui ont fait l'objet d'une caractérisation géochimique sont décrits au tableau 3.2-1.

Tableau 3.2-1 Caractéristiques et description des échantillons

Provenance de l'échantillon	Identification de l'échantillon	Catégorie du matériau	Gisement
PDM	G	carapace ferralitique et grenaille	Ambatovy
Dynatec	FT-Am FB-Am	ferralite	Ambatovy
PDM	FER NFER		
PDM	AFER	matériel bauxitique	Ambatovy
PDM	KAO	argile kaolinique	Ambatovy
Dynatec	LMS-Dy	saprolite basse teneur Mg	Ambatovy
PDM	LMS-PDM		
Dynatec	SAP-Dy	saprolite	Ambatovy
PDM	SAP-PDM Pit 8 SAP Hard SAP		
PDM	Bedrock	roche mère	Ambatovy
Dynatec	FT-An	ferralite	Analamay
	FB-An		

Notes: Les suffixes «PDM» et «Dy» sont utilisés pour faire la distinction entre les échantillons Phelps Dodge et ceux de Dynatec d'une même lithologie.

Les suffixes «Am» et «An» sont utilisés pour faire la distinction entre les échantillons Dynatec Ambatovy et Analamay d'une même lithologie.

Les échantillons sans suffixe faisaient partie du programme de PDM.

Le programme d'essais géochimiques mené par Dynatec et PDM sur des échantillons de minerai a permis de dégager les constatations suivantes.

Les procédures et les normes en matière d'assurance qualité et de contrôle qualité (AQ/CQ) suivies par les sociétés SGS Lakefield Research et Dynatec Technology Services sont décrites à la section 2.1 du volume I.

Bien que les seize échantillons semblent généralement représentatifs de leurs lithologies respectives, le nombre d'échantillons ayant fait l'objet d'une analyse est petit. Toutefois, de nombreuses lithologies sont représentées par des échantillons composites. La plupart des lithologies identifiées par PDM et Dynatec sont représentées par deux ou trois échantillons.

Les compositions chimiques des quatre échantillons d'Ambatovy analysés par Dynatec sont, en général, semblables à leurs plus proches analogues dans l'ensemble des données de PDM. Les échantillons d'Analamay s'apparentent à leurs équivalents d'Ambatovy. Le programme de PDM ne comprenait pas d'échantillons du gisement d'Analamay. D'après les résultats de l'analyse minéralogique, la majorité des minéraux présents dans la séquence stratigraphique du gisement d'Ambatovy sont des oxydes et des hydroxydes, surtout dans les parties supérieures du profil stratigraphique. Tous les minéraux identifiés sont typiques d'un profil d'altération et de plusieurs unités stratigraphiques dans des gisements de nickel latéritique.

D'après les résultats des dosages acide-base (DAB), on peut s'attendre à ce que le minerai ne soit pas générateur d'acide en raison de l'oxydation des sulfures, bien que certains lixiviats soient naturellement légèrement acides. Des essais à long terme ne sont donc pas nécessaires pour étudier un processus transitoire tel que l'oxydation des sulfures.

Les essais de lixiviation démontrent que la lixiviableté des échantillons est généralement faible. Toutefois, la plupart des matériaux du minerai, et en particulier la saprolite, semblent avoir la capacité de libérer du chrome. La libération du nickel et du fer semble moins courante mais elle peut se produire dans certains types de saprolite, de ferralite et de bauxite. Il est peu probable que la roche mère ait un impact nuisible sur l'environnement. Les concentrations dans le lixiviat peuvent varier considérablement et la corrélation attendue entre le pH et la lixiviableté des métaux n'est pas toujours observée.

Les essais consécutifs de lixiviation démontrent que la lixiviableté du chrome, du nickel et du fer dans le minerai peut être de longue durée. Une évaluation plus poussée de la longévité de ce comportement de lixiviation par des essais à long terme serait nécessaire.

Les concentrations en chrome, nickel et fer dans certains lixiviats de minerai dépassent les normes de rejet malgaches et/ou de la Banque Mondiale pour les effluents d'une mine à ciel ouvert (volume I, annexe 2.1). Toutefois, en raison de la capacité limitée de l'essai de lixiviation statique de simuler les conditions ambiantes du site, cela n'implique pas que de tels dépassements seront de fait observés sur le site. Par exemple, le potentiel d'atténuation de certaines lithologies identifiées au cours de l'étude par adsorption de PDM contribuera à réduire les concentrations, relativement à celles observées lors de l'essai de lixiviation. Par exemple, le potentiel d'atténuation des matériaux de l'aquifère et des unités lithologiques contribuera à réduire les concentrations, relativement à celles observées lors de l'essai de lixiviation. La surveillance de la qualité l'eau souterraine et de l'eau de surface sur le site aideront à mieux identifier le potentiel de lixiviation des métaux sous les conditions d'opération et après la fermeture.

3.2.3 Evaluation des impacts

3.2.3.1 Méthodologie

Il y a un lien d'impact valide sur la géologie : le projet entraînera le retrait de ressources géologiques économiques du site de la mine. Cet impact est traité de façon qualitative.

Il y a un lien d'impact valide sur la géochimie: le projet entraînera l'exposition des surfaces rocheuses à partir desquelles des métaux pourraient être lixiviés, ce qui aurait une incidence sur la qualité de l'eau.

Le diagramme de liens pour la géologie et la géochimie est présenté dans le volume H, annexe 9.

Dérivation des données sur la qualité des eaux utilisées comme données d'entrée de la modélisation de la qualité de l'eau

Une modélisation de la qualité des eaux de la mine est utilisée afin de prévoir les impacts possibles de la qualité de l'eau sur l'environnement récepteur (volume B, section 3.9). Le modèle consiste en plusieurs bassins récepteurs recueillant le ruissellement de l'installation minière. Pour chacune de ces installations, une modélisation de la qualité de l'eau a été effectuée à partir des données géologiques disponibles. Cette section décrit la méthodologie d'obtention des données d'entrée de qualité de l'eau du modèle.

Dérivation des données d'entrée de la qualité de l'eau

Les diverses installations comprises dans le modèle sont les suivantes:

Ambatovy:

- halde de stériles
- fosse ouest
- fosse est
- fosse sud-est
- pile de stockage de la cuirasse ferrallitique
- pile de stockage à faible teneur
- pile de stockage de minerai

Analamay:

- halde de stériles
- fosse ouest
- fosse est
- fosse sud

Les principales lithologies représentées dans chacune de ces installations ont été analysées, en collaboration avec le personnel technique de Dynatec, pour la phase d'exploitation et après la fermeture. Parmi ces lithologies, on trouve la ferralite, la cuirasse ferrallitique et la saprolite à faible teneur en magnésium (SFTM ou *low magnesium saprolite* - LMS). Ces lithologies sont présentées selon leurs diverses proportions au tableau 3.2-2.

Afin d'attribuer une qualité à l'eau de chacune des installations, on s'est servi des résultats obtenus à partir de l'essai de lixiviation à court terme. La méthode utilisée était la lixiviation par précipitation synthétique (SPLP), laquelle simule l'interaction entre une matière solide et l'eau météorique. Ces résultats représentaient les seules données disponibles pouvant être utilisées afin d'évaluer la stabilité environnementale (c.-à-d. le comportement de lixiviation) des différentes lithologies. Pour ce qui est de la cuirasse ferrallitique et de la saprolite à faible teneur en magnésium (SFTM), un résultat SPLP était disponible pour chaque lithologie. En ce qui a trait à la ferralite, un essai SPLP a été effectué sur des échantillons de ferralite prélevés à la surface et en profondeur des gisements

d'Ambatovy et d'Analamay. Il a été supposé que la ferralite dans l'installation minière représentait des proportions égales de ferralite profonde et peu profonde.

Tableau 3.2-2 Proportions de lithologie dans les superficies de la mine

Ambatovy	Composition	
	Au cours de l'exploitation	Après la fermeture
halde de stériles	100 % ferralite	100 % ferralite
fosse ouest	90 % ferralite/10 % SFTM	100% ferralite
fosse sud	90 % ferralite/10 % SFTM	100% ferralite
fosse sud-est	90 % ferralite/10 % SFTM	100% ferralite
pile de stockage de la cuirasse ferrallitique	100 % cuirasse ferrallitique	absent
pile de stockage à faible teneur	100 % ferralite	absent
pile de stockage de minerai	100 % SFTM	absent
Analamay		
halde de stériles	100 % ferralite	100 % ferralite
fosse ouest	90 % ferralite/10 % SFTM	100 % ferralite
fosse est	90 % ferralite/10 % SFTM	100 % ferralite
fosse sud	90 % ferralite/10 % SFTM	100 % ferralite

Au besoin, les solutions SPLP ont été « mélangées » mathématiquement afin de représenter les proportions relatives de lithologies présentes dans les installations minières. Les résultats SPLP et les mélanges ont ensuite fait l'objet d'une modélisation géochimique afin de tenir compte des contrôles géochimiques. Le modèle géochimique utilisé à cette fin était la version 2.8 de PHREEQC (Parkhurst et Appelo, 1999), soit un code élaboré par l'United States Geological Survey (USGS) simulant les équilibres géochimiques et les transferts de masse. Ce modèle peut simuler les processus pertinents qui surviennent dans les solutions aqueuses, tels que la précipitation/dissolution de solides choisis, les réactions d'oxydo-réduction, l'évaporation, les interactions atmosphériques et l'adsorption des métaux. Les contrôles géochimiques pris en considération dans la modélisation des solutions d'entrée comprenaient l'équilibre avec le gaz carbonique atmosphérique, la précipitation des minéraux et l'adsorption. Les conditions d'oxydo-réduction ont été estimées à 600 millivolts (mV), ce qui représente les conditions typiques des eaux en équilibre avec l'atmosphère.

Incertitudes

L'utilisation des résultats d'essais SPLP repose sur l'hypothèse importante selon laquelle ils seraient représentatifs de la lixiviation dans les conditions ambiantes. En réalité, les essais à court terme à étape unique possèdent souvent une capacité limitée de simuler un comportement transitoire. Cela est attribuable à plusieurs

facteurs, notamment la réduction granulométrique nécessaire à l'essai SPLP, le rapport solution-solide (20 pour 1 en masse) qui sera sans doute plus élevé que celui enregistré sur le terrain, et le contact intensifié entre les solides et la solution en raison d'une agitation continue. Cela donne lieu à une valeur d'essai élevée biaisée. Pour le ruissellement, le temps de contact eau-roche, selon les conditions ambiantes, ne sera probablement pas suffisamment long pour atteindre l'équilibre.

De plus, les essais à étape unique ne sont pas en mesure de simuler un comportement transitoire comme celui de l'oxydation des sulfures. Cela ne constitue pas une préoccupation en soi pour les échantillons d'Ambatovy et d'Analamay en raison de l'absence générale de sulfures réactifs. Les essais SPLP réalisés pour le compte de Phelps Dodge ont relevé des tendances dans l'évolution temporelle des concentrations qui n'étaient pas décelées par l'essai à étape unique, lequel constitue le fondement pour la dérivation des données d'entrée sur la qualité des eaux.

Une troisième incertitude est liée à la petite taille de la série d'échantillons. Bien que quatre essais SPLP aient été obtenus pour la ferralite, un seul essai SPLP a été réalisé pour la cuirasse ferralitique et la saprolite à faible teneur en magnésium. Cette série d'échantillons étant petite, l'hétérogénéité de la composition n'a pas été prise en compte pour les différentes lithologies.

3.2.3.2 Résultats

Géologie

La mine permettra d'exploiter les ressources des gisements d'Ambatovy et d'Analamay qui renferment environ 190 millions de tonnes de matériaux minéralisés ayant une teneur approximative de 1,1 % en nickel et de 0,1 % en cobalt. Environ 60 000 tonnes de nickel et 5 000 tonnes de cobalt seront extraites chaque année pendant une période d'au moins 20 ans. Ce projet n'entraînera pas d'impact négatif pour les utilisateurs des ressources, étant donné que ces réserves géologiques ne sont pas exploitées en ce moment par les utilisateurs du sol locaux.

L'extraction des ressources géologiques limitera le potentiel d'exploitation futur (alors que l'alternative où aucune extraction n'est faite permettrait de conserver l'option d'exploitation de la mine pour une date ultérieure). Toutefois, sur le plan économique, en supposant que les ressources géologiques doivent être exploitées, l'utilisation la plus efficace de la ressource se trouve au moment présent, de façon à en maximiser la valeur économique actuelle. Par conséquent, étant donné que l'exploitation des ressources géologiques se fera de façon efficace, la

réalisation du projet n'engendrera aucun effet négatif sur les ressources géologiques comparativement à l'alternative de non-exploitation.

Géochimie

Il est prévu que le projet engendre des impacts sur la géochimie. Ces effets ne sont pas classés comme des impacts résiduels en soi, mais ils ont un effet direct sur la qualité de l'eau et, par conséquent, forment partie intégrante de l'étude d'impact environnemental sur la qualité de l'eau (volume B, section 3.9).

3.3 SOLS

3.3.1 Introduction et secteur d'étude

Cette section présente l'évaluation environnementale des effets de la mine sur les sols, selon les termes de référence du projet Ambatovy.

Le secteur d'étude de la mine pour les sols est l'empreinte au sol du projet de la mine présentée au volume A, figure 7.2-1. Le secteur d'étude comprend les zones directement perturbées par la mine et par la conduite de prise d'eau.

3.3.2 Résumé de l'étude de référence

3.3.2.1 Aperçu régional

Les sols de la région de la mine se sont formés sur un ancien terrain géomorphologiquement stable ne présentant pratiquement aucun vestige de la structure originale de la roche. L'érosion intense des roches, typique des zones tropicales humides, causée par des températures élevées, une forte humidité et l'effet du temps a entraîné la formation de sol en profondeur.

Les sols des régions tropicales sont généralement pauvres en nutriments en raison des précipitations élevées qui favorisent l'érosion des roches et la lixiviation des minéraux à travers le profil de sol, au-delà de la zone racinaire. Les températures élevées du sol et les conditions d'humidité propices favorisent un haut niveau d'activité biologique incluant la production de matière organique et sa rapide dégradation, ce qui entraîne en finale un faible taux de matière organique. La capacité de rétention des nutriments par les sols dans les régions tropicales humides dépend principalement de la teneur en humus et est extrêmement faible lorsque le contenu d'humus est faible (Whitmore 1975). Les racines sont concentrées à la surface du sol, même si de nombreux sous-sols tropicaux n'ont aucune caractéristique physique susceptible de limiter l'enracinement en profondeur. La réhabilitation de la végétation dans les sols tropicaux est compliquée car la teneur des sols en nutriments est faible, notamment en azote et en phosphore (Zonn 1986).

Les sols dans la région de la mine sont connus comme étant des latérites, définis comme des sols tropicaux fortement altérés et riches en fer (Young 1976). Le terme latérite a été largement utilisé dans la littérature pour décrire les sols des régions tropicales et subtropicales du globe. On utilise souvent ces termes généraux pour décrire différentes caractéristiques morphologiques, physiques et chimiques.

3.3.2.2 Sols du site de la mine

Quatre grands types de sols ont été répertoriés à partir du programme de terrain. Ils sont résumés ci-dessous.

Des sols à cuirasse ferralitique ont été observés sur les plateaux topographiques avec une couche de surface dure, de type rocheux. Ces sols sont classés comme des entisols (*Lithic Haplumbrepts* et *Lithic Ustorthents*) et comme oxisols (*Typic Acrohumox*) selon le système de classification de la USDA (Ministère de l'Agriculture des Etats-Unis - *United States Department of Agriculture*).

Les sols pisolitiques étaient généralement localisés à des positions topographiques inférieures à celles des sols à cuirasse ferralitique. Les sols pisolitiques peuvent contenir une gamme de concrétions et de cuirasses fragmentées dépendamment de l'inclinaison de la pente et d'autres facteurs de pédogénèses. Une couche d'argile enrichie est souvent trouvée sous l'horizon concrétionné, ces sols sont généralement classés sous le nom d'oxisols (*Haplorthox* et *Acrorthox*) conformément au système de l'USDA.

Les sols ferralitiques rouges/jaunes se trouvaient généralement situés topographiquement au bas des pentes. Ces sols comportent moins de concrétions et sont classés comme des ultisols (*Typic Paleudults*) ou comme oxisols (*Oxic Dystrypepts*) conformément au système de l'USDA.

Les sols organiques se situaient dans des dépressions. Ils se sont formés à partir d'un ancien substrat organique, sont acides et ont une faible saturation en bases. Le système de l'USDA les classe en tant qu'histosols (*Organic Hydromorphs*).

Le volume I, annexe 3.1 fournit des détails supplémentaires concernant les conditions de référence.

3.3.3 Evaluation des impacts

3.3.3.1 Portée des enjeux

Les principaux enjeux potentiels en rapport avec les sols sont:

- déblaiement et remaniement des sols
- érosion des sols
- perte des nutriments des sols
- compactage des sols

- contamination des sols
- perte de sols uniques
- réhabilitation

Beaucoup de ces enjeux sont interdépendants. Par exemple, le déblaiement et le remaniement des sols sont reliés à la perte de sols uniques et des nutriments des sols.

La liste des enjeux fournie par les termes de référence (volume H, annexe 1) et le programme de consultation publique (volume A, section 6) ont été examinés afin d'axer l'évaluation des sols sur les enjeux clés et de grouper les enjeux par thèmes communs.

Dans le cadre de ce processus, une matrice d'interaction a été utilisée pour évaluer toutes les activités et installations minières possibles en interaction avec les ressources en sols (tableau 3.3-1). Les interactions furent notées afin d'éclairer les enjeux clés et d'aider à cibler l'évaluation.

Tableau 3.3-1 Matrice d'interactions du projet

Activités ou installations du projet	Sol ^(a)	Enjeux	Commentaires
Phase de préparation des travaux			
forage d'exploration	F	risque accru à court terme d'érosion des sols avec des pentes > 10%	enjeu à court terme
Phase de construction			
défrichage de la végétation	E	érosion éolienne et hydrique; compactage des sols par les équipements	le risque d'érosion hydrique sera élevé jusqu'à la restauration de la végétation dans les secteurs exposés
perte des sols à cuirasse ferrallitique	E	les sols denses sur le plateau créent des conditions uniques pour la croissance de la végétation	perte définitive des sols étant donné que ces conditions ne peuvent pas être restaurées
déblaiement de la terre végétale	F	augmentation du risque d'érosion éolienne et hydrique; perte de la qualité des sols (perte des nutriments, compactage des sols)	très peu de terre végétale sur les sols à cuirasse ferrallitique
déblaiement du mort-terrain	M à E	érosion éolienne et hydrique; compactage des sols par les équipements	l'impact dépend du temps d'exposition des sols
déblaiement du minerai	N à F	érosion éolienne et hydrique; compactage des sols par les équipements	l'impact dépend du temps d'exposition des sols
déversements potentiels	F à M	contamination causée par les déchets	l'impact dépend de l'intervention en cas de déversement
Phase de réhabilitation et de fermeture			
suppression des équipements	P	suppression de toutes les sources de contamination potentielles	effet positif
réhabilitation du site	P	mesures visant à remédier à toute contamination du site	effet positif
remise en état	P	réhabilitation des zones touchées	effet positif

^(a) Classifications des interactions: N - Négligeable; F - Faible; M - Moyen; E - Élevé; P - Positif.

Seules les activités notées moyennes ou élevées ont été analysées en détail dans l'évaluation.

3.3.3.2 Evaluation de la Question Clé

La question clé pour les sols est:

Question clé ST-1 Quel effet la mine aura-t-elle sur les sols?

Les liens d'impact potentiels sont illustrés dans un diagramme de liens au volume H, annexe 9.

Liens d'impacts potentiels

La question clé ST-1 analyse les effets de la mine associés à la construction, aux activités d'exploitation et à la réhabilitation sur la perte ou l'altération du sol dans le secteur local d'étude.

Les activités entraînant la perte directe ou l'altération du sol dans la mine incluent le défrichement du site et les modifications de surface requis pour permettre la construction et l'exploitation de la mine. L'aménagement du secteur pour la construction des installations inclura la suppression du sol de surface. Les sols de surface pourraient ne pas être récupérés pour la réhabilitation future des sols à cuirasse ferrallitique. Alors que la mine sera progressivement réhabilitée, les procédés pour la réhabilitation de la végétation sur ces sols tropicaux sont encore en développement.

L'érosion du sol est un processus qui consiste au déplacement du sol d'un endroit à un autre par le vent ou par l'eau. Elle peut entraîner l'altération ou la perte de la qualité du sol, processus qui peut à son tour affecter la croissance de la végétation. La mine impliquera le défrichement de la végétation, entraînant ainsi l'exposition du sol et l'augmentation de la probabilité d'érosion.

Le compactage du sol entraîne une réduction de la porosité et une augmentation de la densité apparente du sol. Il est causé par la pression externe occasionnée par les équipements utilisés pour la construction et la circulation des véhicules. La perte potentielle de la structure du sol due au compactage peut affecter la croissance de la végétation, en particulier le développement des racines, l'aération et le drainage. La mine impliquera la circulation d'équipements et des activités au niveau des sols.

Les déversements et les fuites durant l'exploitation de la mine peuvent être à l'origine d'une altération des propriétés chimiques et physiques des sols qui, à

son tour, peut affecter la végétation, ainsi que la qualité des eaux souterraine et de surface. Des déversements et des fuites associés à l'exploitation de la mine sont possibles.

Les sols à cuirasse ferralitique se retrouvent sur les plateaux de la mine et créent des conditions de croissance uniques pour la végétation azonale. Etant donné que l'horizon de surface dense des sols à cuirasse ferralitique ne peut être reproduit, il y aura une perte de sols uniques.

Les sols tropicaux en latérite sont naturellement pauvres en nutriments et ont un faible pH susceptible de créer des problèmes de toxicité métallique pour la croissance des végétaux. La terre végétale ne peut pas toujours être récupérée avant l'exploitation minière et être stockée pour une utilisation future. Par conséquent, d'autres pertes de nutriments se produiront.

Méthodologie d'évaluation

La méthodologie d'évaluation comportait une analyse des liens potentiels entre les activités de la mine et les ressources en sols, l'analyse des effets identifiés par la question clé et un classement des effets résiduels associés à la question clé.

Les types de sols directement affectés par la mine ont été quantifiés à l'aide d'analyses SIG (Système d'information géographique), comme suit:

- Les superficies des types de sols qui seront perturbés à l'intérieur de l'empreinte au sol de la mine ont été quantifiées à l'aide du SIG.
- Les classifications des impacts ont été déterminées en se fondant sur la perte nette permanente de sols uniques (cuirasse ferralitique) durant la phase de construction, la modification globale des sols dans le secteur après la réhabilitation et la fermeture du terrain, et une évaluation qualitative des modifications potentielles de la qualité des sols après la réhabilitation et la fermeture.

3.3.3.3 Critères d'évaluation

Le tableau 3.3-2 présente les critères utilisés pour évaluer les impacts résiduels sur les sols.

Tableau 3.3-2 Critères d'évaluation des sols

Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence
positive, négative ou neutre pour les résultats des mesures	négligeable: pas d'effet mesurable (<1 %) faible: <10 % moyenne: 10 à 20 % forte: >20 %	locale: effet restreint au secteur local d'étude régionale: l'effet s'étend au-delà du secteur local d'étude dans la région supra-régionale: l'effet s'étend au-delà de la région	court terme: <3 ans moyen terme: 3 à 30 ans long terme: >30 ans	réversible ou irréversible	faible se produit une fois moyenne: se produit par intermittence élevée: se produit continuellement

3.3.3.4 Mesures d'atténuation

Erosion du sol

L'érosion du sol consiste au déplacement du sol par l'action du vent ou de l'eau. Les facteurs suivants peuvent plus particulièrement influencer la perte des sols (Wischmeier et Smith 1961, Gee et al. 1976):

$$A = f(R, K, L, S, C, P)$$

Où:

- A = perte due à l'érosion
- R = pluie
- K = érodabilité des sols
- L = longueur de la pente
- S = inclinaison de la pente
- C = couverture végétale et sa gestion
- P = pratiques utilisées pour contrôler l'érosion

La texture et le contenu en matières organiques affectent l'érodabilité des sols. Les sols riches en silt (limon) et en sable très fin sont plus sensibles à l'érosion hydrique que les autres sols. Un essai géotechnique suggère que le secteur de la mine aura un potentiel élevé d'érosion en raison de la texture fine des couches superficielles du sol (volume I, annexe 2.1).

Le risque d'érosion éolienne et hydrique dans le secteur local d'étude est faible quand il y a une couverture végétale. Ces risques augmenteront pendant la perturbation de la végétation. Le risque d'érosion éolienne dépend de la texture, de la teneur en eau et du contenu en matières organiques des sols. Il sera plus élevé pour les sols sablonneux. Le risque d'érosion hydrique augmente quand la pente excède 10 % et quand des sols fins sont sous-jacents à des sols grossiers. Le plan préliminaire de la mine indique que la pente des fosses sera supérieure à 30 % (volume B, section 2).

Afin d'éviter l'érosion et la sédimentation potentielle des sols durant la construction, l'exposition des sols doit être minimisée et le ruissellement contrôlé, en particulier en temps de pluie et dans les secteurs proches des cours d'eau.

Les mesures d'atténuation générales ci-dessous seront utilisées pour empêcher l'érosion hydrique:

- évaluer la possibilité de récupération de la terre végétale lorsque faisable (excepté les sols à cuirasse ferrallitique) et d'entreposage de cette terre loin des secteurs susceptibles de subir de l'érosion
- construction de fossés transversaux temporaires pour réorienter le ruissellement
- construction de bermes temporaires avec des rondins, du bois de construction, des sacs de sable ou d'autres matériaux, selon le cas et ce qui est disponible
- construction de bermes avec du mort-terrain dans les secteurs où la terre végétale a été raclée
- construction des routes sur le site de manière à ne pas perturber les conditions de drainage naturelles et à ce que le ruissellement vers les fossés entre dans le réseau de drainage naturel ou dans les zones de rétention délimitées
- utilisation de mesures temporaires de contrôle de l'érosion comme la mise en place de couches de paillis, de nattes, l'installation de filets ou encore la répartition de paille pour contrôler l'érosion jusqu'à ce qu'une couche de végétation protectrice soit établie

- application d'agents collants lorsque nécessaire pour stabiliser les sols et utilisation d'hydro-semoirs pour semer sur les pentes escarpées
- ensemencement rapide des zones exposées et des piles de stockage de terre végétale avec un mélange approprié à la région de semences durables, capables de contrôler l'érosion. Il est conseillé de planter de l'herbe Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) en bandes parallèlement aux pentes, à titre d'essai (NRC 1993). D'autres espèces peuvent ensuite être plantées entre les bandes de Vetiver (Volume B, Section 6)

Les mesures d'atténuation suivantes seront appliquées pour éviter l'envasement des cours d'eau:

- interdiction d'utiliser des engins de chantier près des berges des cours d'eau quand il y a un risque d'effondrement des berges, quand le véhicule risque de ne pas pouvoir traverser ou en cas de risque d'inondation du site des travaux
- excavation de fossés transversaux pour détourner les eaux de ruissellement des cours d'eau
- construction de bermes avec du mort-terrain, des rondins, du bois de construction, des sacs de sable, de la roche et/ou des bottes de paille à l'approche des pentes et/ou des berges pour détourner les eaux de ruissellement du site vers des terrains ayant une bonne couverture végétale
- mise en place de sacs de sable à des endroits stratégiques pour aider à stabiliser les berges et en augmenter la hauteur afin d'empêcher l'inondation des zones voisines, surtout les zones où la végétation a été enlevée

Perte de nutriments des sols

Les sols tropicaux sont naturellement très pauvres en nutriments et possèdent une capacité d'échange cationique (CEC) faible. Le manque de phosphore est répandu dans les tropiques, en raison de la fixation du phosphore, de faibles réserves totales en phosphore dans les matières organiques et de la forte érosion (Juo et Franzluebbbers 2003). Les sols tropicaux contiennent des quantités élevées d'oxydes de fer et d'aluminium qui réagissent aux ions phosphate solubles, libérés durant la minéralisation, pour former des phosphate de fer et d'aluminium moins solubles (fixation du phosphore). La plupart des phosphores et autres cations proviennent de la fraction organique du sol. Par conséquent, le déblaiement de la couche organique de surface réduira la disponibilité de nombreux minéraux.

La teneur en matières organiques détermine beaucoup de facteurs de la fertilité des sols tropicaux (Young 1976). Ces matières organiques se sont développées avec le temps, dans des conditions d'équilibre, où le taux de l'apport provenant de matières végétales en décomposition équivaut approximativement à l'absorption des plantes. Avec l'appauvrissement des sources de litière végétale combiné à différents processus (p.ex., la lixiviation, l'oxydation et la minéralisation), les disponibilités des nutriments végétaux, tel le phosphore, diminuent. Les pertes de matières organiques s'accompagnent toujours de pertes parallèles en azote organique qui constitue la principale forme d'azote dans le sol. Ce type d'azote ne se trouve pas dans la plupart des sols des forêts tropicales après de longues périodes de perturbations.

Les mesures d'atténuation pour restaurer les nutriments dans le sol incluent:

- l'incorporation de matières organiques dans la couche de surface du sol réhabilitée y compris la récupération directe et le remplacement des sols de surface, la mise en place de matière organique compostée, de couches de paillis et l'application d' « engrais verts »
- l'augmentation des nutriments en insuffisance par des amendements fertilisants
- si nécessaire, l'application d'agents de chaulage comme les carbonates de calcium et de magnésium pour augmenter le pH des sols et réduire les toxicités liées aux métaux (Ludwig et al. 2000)

La durabilité de la disponibilité des nutriments dans les sols perturbés a été identifiée comme un enjeu potentiel dans les régions tropicales et comme un enjeu important pour la réhabilitation du secteur de la mine. Il sera important de veiller à réintégrer les matières organiques pendant la réhabilitation étant donné qu'elles jouent un rôle important dans le contrôle de la fertilité des sols (voir volume B, section 6).

Compactage

Le compactage des sols résulte habituellement du trafic des véhicules sur les sols devant fournir un support à la croissance des plantes. Le compactage a les effets suivants:

- diminution de la circulation de l'eau et de l'air à l'intérieur du sol (Gupta et Allmaras 1989)
- diminution de la capacité d'emménagement de l'eau dans le sol
- diminution de l'infiltration d'eau et augmentation du ruissellement de surface et de l'érosion

- modification de l'hydrologie du sol, de l'alimentation de la nappe d'eau souterraine et augmentation du risque de ruissellement et d'érosion
- diminution de la prolifération et de la pénétration des racines des végétaux (Wolf et Hadas 1984)
- diminution de la pénétration des racines des végétaux dans le profil du sol entraînant une disponibilité réduite de l'eau et des nutriments du sol pour les végétaux

Le compactage du sol a un effet important sur la productivité du sol et la capacité d'un site à supporter une communauté végétale durable productive. L'atténuation des enjeux du sol peut nécessiter des années.

Les mesures d'atténuation qui seront mises en oeuvre pour empêcher ou atténuer le compactage incluent:

- la minimisation du nombre de passages sur une zone déjà réhabilitée
- la culture du sol compacté avant la revégétalisation
- l'utilisation de végétaux à racines profondes pour ameublir le sol compacté

Contamination des sols

Les mesures d'atténuation générales visant à empêcher la contamination des sols incluront:

- la conception des installations et des équipements miniers avec des systèmes de récupération pour réduire au minimum les fuites ou déversements
- le nettoyage rapide de tous les déversements et de toutes les fuites

3.3.3.5 Résultats

Un total de 1 734 hectares de sols sera perturbé par la mine pendant la durée du projet (tableau 3.3-3). La majorité des sols perturbés seront des sols ferralitiques rouges/jaunes (731 hectares, 42 % du total). Le deuxième type de sol le plus souvent perturbé sera les sols à cuirasse ferralitique (474 hectares, 27 % du total). Ces sols sont associés à la végétation azonale et une fois perturbé, l'horizon dense de surface ne peut être réhabilité après la fermeture de la mine. Par conséquent, 474 hectares de ces sols uniques seront perdus après l'exploitation minière (tableau 3.3-3). Cependant, d'autres sols se formeront en recourant aux amendements de réhabilitation des sols. Une fois la réhabilitation terminée, après

la fermeture de la mine, il n'y aura pas de perte nette de sols causée par la mine, bien que des sols différents prédomineront.

Tableau 3.3-3 Perturbation des types de sols dans le secteur de la mine

Type de sol	Superficie (ha)	Pourcentage du secteur local d'étude (%)
cuirasse ferralitique	474	27
organique	13	1
pisolite	516	30
ferralitique rouge/jaune	731	42
total	1 734	100

3.3.3.6 Analyse des impacts

Impacts résiduels

La conséquence sur l'environnement de la mine sur les sols est évaluée comme moyenne pendant la construction, élevée pendant l'exploitation et faible après la fermeture (tableau 3.3-4).

La construction de la mine entraînera des perturbations graduelles des fosses à mesure que progressera l'exploitation. Une fois que la construction de la mine aura perturbé les horizons denses de surface des sols à cuirasse ferralitique, ces conditions ne seront pas reproduites après la réhabilitation du site. De plus, le risque d'érosion de tous les sols augmentera substantiellement avec le débroussaillage. Etant donné la durée relativement courte de la construction, la conséquence sur l'environnement a été classée moyenne.

Durant l'exploitation de la mine, le risque d'érosion du sol de surface augmentera substantiellement en raison de la longue période pendant laquelle les sols resteront sans couverture végétale. Pendant la mise en œuvre de nombreuses mesures d'atténuation pour contrôler l'érosion (Section 3.3.3.4), la probabilité d'érosion sera très élevée en raison de la forte intensité des précipitations. La conséquence sur l'environnement pour les sols est élevée pendant l'exploitation.

La conséquence sur l'environnement a été classée faible après la fermeture étant donné que les taux d'érosion naturels devraient réapparaître une fois une couverture végétale stable rétablie (voir volume B, section 6). Cependant, tel que mentionné ci-dessus, les sols à cuirasse ferralitique ne seront pas réhabilités après la fermeture de la mine.

Tableau 3.3-4 Classification de l'impact résiduel pour les sols

Phase	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
Question clé ST-1 Quel effet la mine aura-t-elle sur les sols?							
construction	négative	forte	locale	court terme	non	faible	moyenne
exploitation	négative	forte	locale	moyen Terme	non	faible	élevée
fermeture	négative	faible	locale	long terme	non	faible	faible

3.3.3.7 Niveau de confiance des prévisions

La classification de l'impact pour les sols dépend pour beaucoup du programme de réhabilitation prévu pour retrouver un sol productif et mettre en œuvre avec succès des méthodes de contrôle de l'érosion. Il existe des incertitudes au sujet de la réhabilitation des sols tropicaux et du succès du contrôle de l'érosion en période de très fortes pluies. Une recherche sur la réhabilitation prévue traitera de ces enjeux (volume B, section 6).

3.3.3.8 Surveillance

Le promoteur mettra en œuvre des programmes de surveillance de la réhabilitation pour s'assurer que les mesures d'atténuation sont efficaces et procédera à des ajustements si nécessaire. Le plan de surveillance de la réhabilitation de la mine consiste à:

- s'assurer que les mesures de protection environnementales sont respectées pendant la construction, l'exploitation et la fermeture de la mine
- s'assurer de la stabilité de la pile de stockage du mort-terrain
- évaluer la qualité du sol et le rendement de la végétation
- faire des rapports des résultats de la surveillance

3.3.4 Conclusions

Après l'application des mesures d'atténuation, la mine aura un niveau moyen de conséquence sur l'environnement pour les sols pendant la phase de construction, élevé pendant la phase d'exploitation et faible après la fermeture et la réhabilitation. Les deux principaux enjeux sont l'augmentation du risque d'érosion des sols à texture fine une fois la végétation défrichée et la perte de sols

à cuirasse ferralitique uniques. L'impact potentiel sur les sols a des conséquences sur la végétation, l'hydrologie et plus particulièrement la qualité de l'eau, quand il y a une probabilité d'un débit solide accru. Ces enjeux sont traités dans d'autres sections de l'EIE.

3.4 CLIMAT ET QUALITE DE L'AIR

3.4.1 Introduction

Cette section de l'étude d'impact environnemental (EIE) du projet Ambatovy (le projet) présente l'information relative à l'évaluation de l'impact de la mine sur la qualité de l'air, tel qu'exigé par les termes de référence de l'Office national pour l'environnement (ONE 2004) de Madagascar. L'information présentée comprend des détails sur:

- les inquiétudes exprimées par les parties prenantes et les autorités réglementaires à l'égard de la qualité de l'air
- les activités du projet qui peuvent affecter la qualité de l'air
- les mesures d'atténuation incorporées à la conception du projet en prévision de ces impacts
- la qualité de l'air dans le secteur d'étude
- le modèle de dispersion atmosphérique utilisé pour l'évaluation des impacts
- l'approche d'évaluation des impacts et les résultats pour les questions clés concernant la qualité de l'air
- les recommandations concernant la surveillance et les mesures d'atténuation identifiées visant à réduire les impacts résiduels sur la qualité de l'air associés à la mine

Les enjeux potentiels cernés dans l'EIE concernant la qualité de l'air comprennent:

- les émissions provenant de groupes électrogènes diesel
- les émissions provenant des véhicules de la mine
- la poussière produite par les véhicules de la mine

L'évaluation de la qualité de l'air comprend une évaluation complète des effets sur les concentrations atmosphériques et les dépôts atmosphériques qui pourraient résulter de toutes les sources d'émissions importantes du projet. Bien que l'évaluation de la qualité de l'air soit complète à titre d'évaluation autonome, elle fait aussi partie intégrante de l'évaluation d'ensemble du projet, l'information obtenue étant ensuite transmise aux disciplines biologiques et sociales.

Le but premier de l'évaluation de la qualité de l'air est d'évaluer les changements de la qualité de l'air à l'échelle régionale et de déterminer s'il y a conformité à la réglementation applicable. Les effets de la qualité de l'air sur les récepteurs environnementaux tels la santé humaine, la santé de la faune, les ressources aquatiques et les ressources terrestres sont abordés dans les sections pertinentes du volume B.

3.4.2 Limites d'évaluation

3.4.2.1 Portée temporelle

Les considérations temporelles de l'EIE sont basées sur la description du projet Ambatovy et varient selon les disciplines de l'EIE à cause des formes variées d'interaction entre les composants du projet et l'environnement. L'évaluation atmosphérique est fondée sur un examen du plan d'aménagement de la mine et de l'année au cours de laquelle les émissions les plus fortes sont prévues. Cette approche permet une évaluation d'impact prudente puisque les émissions les plus fortes (le pire cas) ne devraient se produire que pour une seule année. Les prévisions d'émissions atmosphériques pour toutes les autres années d'exploitation de la mine devraient donner des émissions plus faibles que celles présentées ici.

3.4.2.2 Portée géographique

Le secteur d'étude choisi pour l'évaluation de la qualité de l'air de la mine est centré sur le site de la mine et mesure 20 km sur 20 km, tel qu'illustré à la figure 7.2-1, volume A, section 7. C'est à l'intérieur de ce secteur de 400 km² que la majorité des effets sur la qualité de l'air associés à la mine devraient se produire. Ce secteur d'étude a aussi été utilisé pour la représentation graphique des prévisions de la qualité de l'air.

Un des objectifs de l'évaluation de la qualité de l'air est d'aider à répondre aux questions des parties prenantes de la région au sujet des effets potentiels de la mine sur la qualité de l'air dans leurs communautés. Pour faciliter la réponse à ces questions, des prévisions sur la qualité de l'air ont été faites pour chacune des communautés, appelées récepteurs de communauté, indiquées au tableau 3.4-1.

3.4.3 Méthodes d'évaluation

L'évaluation de la qualité de l'air et des effets potentiels des émissions atmosphériques de la mine sur la qualité de l'air ont été effectués en s'appuyant largement sur un modèle de dispersion atmosphérique. Le modèle de dispersion

CALPUFF en régime permanent (2-D) a été désigné comme le meilleur modèle pour évaluer les émissions atmosphériques de la mine. Cet outil de modélisation a déjà fait l'objet d'examens approfondis et son utilisation est recommandée par les autorités réglementaires dans plusieurs juridictions. Un avantage de CALPUFF est sa capacité de modéliser les transformations chimiques des émissions de SO₂ et de NO_x. De plus, CALPUFF peut modéliser les dépôts atmosphériques humides et secs.

Tableau 3.4-1 Emplacement des communautés situées près du site de la mine

Communauté	Distance [km]	Position relative
Amboditrampanga	6,9	E
Ambodivato	9,6	SW
Ambodivoasary (1)	9,2	S
Ambodivoasary (2)	12,3	SE
Ambohibary	11,3	SW
Ambohimanarivo	7,9	WNW
Ampitambe	8,4	W
Analakely	9,8	ESE
Analalava	10,9	SW
Andranokoaka	9,5	W
Antanambao	7,6	W
Antaniditra	7,6	E
Antsahapandrano	6,8	ENE
Befotsy	9,5	WSW
Mahamanana	8,6	SSW
Mahatsara	7,1	W
Menalamba	8,2	ESE
Nangarana	12,3	NNE
Sahamalotra	4,6	ESE
Sakalava Ambony	8,8	N

Note : Les distances et positions sont relatives à l'usine de préparation du minerai.

La modélisation de dispersion effectuée pour l'évaluation de la qualité de l'air comprenait les aspects clés suivants:

- sélection des récepteurs du modèle de dispersion atmosphérique
- conversion des prévisions de concentrations de NO_x en concentrations de NO₂ par la méthode de limitation de l'ozone (« ozone limited method » (OLM))
- utilisation de deux ans de données météorologiques provenant de la station météorologique située sur le site, au camp d'exploration de la mine

Une description détaillée de la méthodologie de modélisation de la dispersion atmosphérique est présentée au volume I, annexe 4.2.

3.4.3.1 Critères d'évaluation

Madagascar n'a pas de critères de la qualité de l'air ambiant; par conséquent, les lignes directrices de la Banque mondiale et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ont été utilisées. La Banque mondiale fournit des lignes directrices pour le SO₂, le NO₂ et le PM₁₀, spécifiquement pour les exploitations minières à ciel ouvert et les industries de traitement de minerai (Banque mondiale 1995). La Banque mondiale recommande également des valeurs seuils pour certains polluants (c.-à-d. pour le SO₂, NO₂, PM₁₀ et les matières particulaires totales en suspension [MPTS]) pouvant être utilisées quand les lignes directrices d'un pays ou d'un projet spécifique ne sont pas disponibles. Les valeurs seuils utilisées pour définir un bassin atmosphérique (*airshed*) moyennement dégradé ont été utilisées comme critères des MPTS. En l'absence de lignes directrices de la Banque mondiale, celles de l'OMS ont été utilisées (c.-à-d., pour le plomb et le mercure). Le tableau 3.4-2 résume les critères de la qualité de l'air utilisés pour la mine.

Tableau 3.4-2 Critères de la qualité de l'air ambiant

Paramètre	Banque mondiale ^(a)		OMS ^(c)	Critères utilisés pour le projet
	Mine à ciel ouvert	Bassin atmosphérique moyennement dégradé ^(b)		
dioxyde de soufre (SO ₂)				
moyenne sur 24 heures [µg/m³]	500	150	125	500
moyenne annuelle [µg/m³]	100	80	50	100
dioxyde d'azote (NO ₂)				
moyenne sur 24 heures [µg/m³]	200	150	—	200
moyenne annuelle [µg/m³]	100	100	40	100
matières particulaires totales en suspension (MPTS)				
moyenne annuelle [µg/m³]	—	80	—	80
PM ₁₀				
moyenne sur 24 heures [µg/m³]	500	150	— ^(d)	500
moyenne annuelle [µg/m³]	100	50	— ^(d)	100
plomb				
annuel [µg/m³]	—	—	0,5	0,5
mercure				
annuel [µg/m³]	—	—	1	1

^(a) Source : Banque mondiale 1995, 1998.

^(b) Ces valeurs sont basées sur les recommandations de la Banque mondiale, spécifiques à chaque polluant lorsque les lignes directrices pour le pays ne sont pas disponibles.

^(c) Source : OMS 2000.

^(d) L'OMS recommande une approche fondée sur les risques afin d'évaluer les effets du PM₁₀; par conséquent, aucune ligne directrice n'est fournie.

“—” Indique qu'aucun critère n'est disponible.

La méthodologie d'évaluation des impacts utilisée pour le projet Ambatovy a été décrite en détail dans le volume A, section 7, et comprend l'évaluation des effets résiduels. Les effets résiduels concernant la qualité de l'air sont classés au moyen de critères quantitatifs permettant de déterminer la conséquence sur l'environnement. Chaque impact est d'abord décrit selon les critères suivants : intensité, portée géographique et durée. Deux critères additionnels ont également été utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'air: la réversibilité et la fréquence. Le tableau 3.4-3 présente en détail les critères de description des impacts sur la qualité de l'air de l'EIE.

Tableau 3.4-3 Critères de description des impacts sur la qualité de l'air

Ressource	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence
Qualité de l'air	positive: diminution des émissions et/ou des concentrations ambiantes négative: augmentation des émissions et/ou des concentrations ambiantes	l'intensité varie selon le contaminant de l'air évalué; détails spécifiques fournis au tableau 3.4.4.	locale: effet restreint au secteur local d'étude régionale: effet s'étendant au-delà du secteur local d'étude supra régionale: effet s'étendant au-delà du secteur régional d'étude	court terme: <3 ans moyen terme: 3 à 30 ans long terme: > 30 ans	réversible ou irréversible	faible: se produit une fois moyenne: se produit par intermittence élevée: se produit en continu

L'orientation d'un impact peut être positive ou négative en ce qui concerne la question clé (par ex., une réduction des concentrations prévues dans l'air serait considérée comme un impact positif, alors qu'une augmentation des concentrations dans l'air serait considérée comme un impact négatif).

L'intensité est une mesure du degré de changement des résultats aux points finaux (*endpoints*) de mesure ou d'analyse. Elle est classée négligeable, faible, moyenne ou forte. La classification de l'intensité d'un impact selon diverses catégories est basée sur un ensemble de critères, sur des concepts écologiques et sur le jugement professionnel.

Les critères utilisés pour évaluer les effets résiduels sont décrits au tableau 3.4-4. En règle générale, l'intensité est classée « négligeable » si aucune augmentation

des effets découlant des émissions de la mine n'est prévue. Une « faible » intensité est assignée lorsqu'une augmentation est prévue, cependant, les valeurs maximales demeurent inférieures à 5% du critère. Une intensité « moyenne » est assignée lorsque les concentrations maximales sont inférieures au critère mais correspondent à plus de 5% du critère. Une intensité « forte » est assignée lorsque les concentrations maximales sont supérieures au critère. Dans certains cas, aucune ligne directrice applicable de la Banque mondiale n'est disponible. Dans ces cas, les critères de l'OMS ont été utilisés.

Le critère de réversibilité traite du potentiel de récupération du point final écologique. Un effet est défini irréversible si, à long terme (selon la définition de durée du volume A, section 7), la ressource affectée ne peut être restaurée à sa condition pré-impact. L'impact sur la qualité de l'air est toujours réversible.

La fréquence décrit le nombre de fois qu'un effet se produit au cours d'une période donnée. Elle est classée faible, moyenne ou élevée.

Tableau 3.4-4 Classification de l'intensité concernant la qualité de l'air

Paramètre	Intensité ^(a)			
	Négligeable	Faible	Moyenne	Forte
concentration de SO ₂ sur 24 h [µg/m ³]	pas d'augmentation	≤ 25	≤ 500	> 500
concentration de SO ₂ sur 1 an [µg/m ³]	pas d'augmentation	≤ 5	≤ 100	> 100
concentration de NO ₂ sur 24 h [µg/m ³]	pas d'augmentation	≤ 10	≤ 200	> 200
concentration de NO ₂ sur 1 an [µg/m ³]	pas d'augmentation	≤ 5	≤ 100	> 100
concentration de MPTS sur 1 an [µg/m ³]	pas d'augmentation	≤ 4	≤ 80	> 80
concentration de PM ₁₀ sur 24 h [µg/m ³]	pas d'augmentation	≤ 25	≤ 500	> 500
concentration de PM ₁₀ sur 1 an [µg/m ³]	pas d'augmentation	≤ 5	≤ 100	> 100
concentration de plomb sur 1 an [µg/m ³]	pas d'augmentation	≤ 0,025	≤ 0,5	> 0,5
concentration de mercure sur 1 an [µg/m ³]	pas d'augmentation	≤ 0,05	≤ 1	> 1

^(a) L'intensité est basée sur les valeurs de prévision maximales à l'extérieur des limites de la propriété.

Le tableau 3.4-5 montre le système d'évaluation préliminaire permettant de déterminer la conséquence sur l'environnement. Ce système d'évaluation préliminaire est basé sur le fait que la portée géographique des impacts sur la qualité de l'air est locale, que l'orientation des impacts est négative, que la durée est à moyen terme (3 à 30 ans) et que les impacts sont réversibles.

Tableau 3.4-5 Système d'évaluation préliminaire de la conséquence sur l'environnement concernant la qualité de l'air

Intensité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
négligeable	toutes les fréquences	négligeable
faible	faible	faible
faible	moyenne	faible
faible	élevée	faible
moyenne	faible	faible
moyenne	moyenne	faible
moyenne	élevée	faible
forte	faible	moyenne
forte	moyenne	moyenne
forte	élevée	moyenne

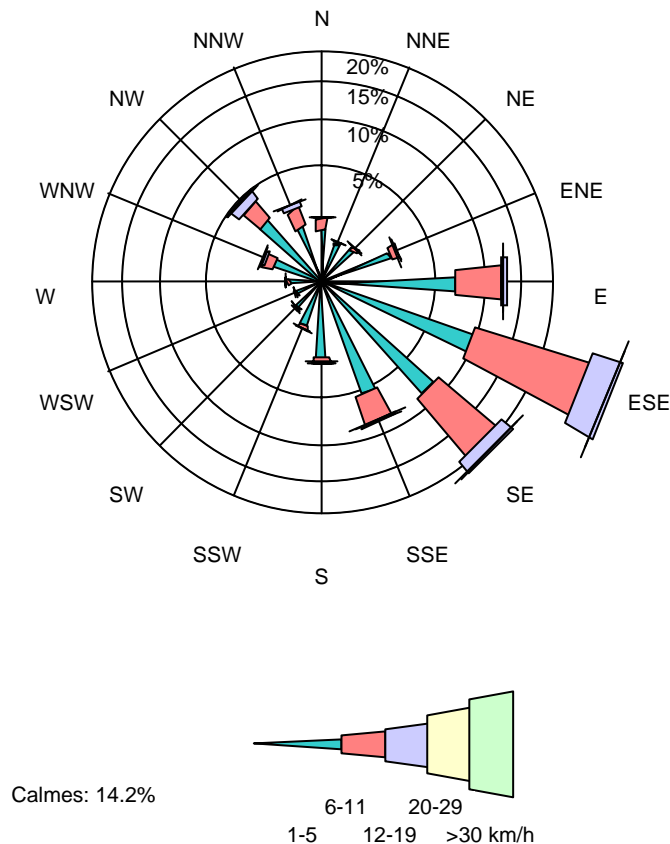
Remarque: Le système d'évaluation préliminaire est basé sur le fait que la portée géographique est locale, que l'orientation des impacts est négative et que les impacts sont réversibles.

3.4.4 Résumé de l'étude de référence

Selon les données de 1997 à 2004, les températures relevées sur une base horaire au camp d'exploration ont varié de 7,6°C à 31,1°C avec une température moyenne annuelle de 17°C. Les précipitations annuelles moyennes au site de la mine étaient d'environ 1400 mm, dont près de 70% survenant entre décembre et mars.

La figure 3.4-1 montre une rose des vents des données recueillies à la base vie d'exploration de 1997 à 2004. La rose des vents consiste en barres dont la longueur indique la fréquence des vents soufflant d'une direction donnée. Les barres sont également divisées en sections, chacune d'elles correspondant à une plage de vitesses. Une section plus longue indique que le vent souffle plus fréquemment à une vitesse donnée pour cette direction. Les vents de l'est-sud-est et du sud-est étaient prédominants, se produisant à 59% du temps en excluant les périodes calmes. La vitesse moyenne annuelle du vent était de 6 km/h avec des vitesses horaires maximum de 48 km/h et des vitesses de rafales de plus de 80 km/h. Il y avait aussi une fréquence élevée de conditions calmes (14,2%).

Figure 3.4-1 Rose des vents du camp d'exploration au site de la mine



Une étude de référence sur la qualité de l'air ambiant n'a pas été effectuée dans le cadre de cette EIE; cependant, on s'attend à ce que la qualité de l'air ambiant soit bonne à cause de l'absence d'activités industrielles dans la région de la mine. L'exception à cette conclusion pourrait provenir des particules en suspension dans l'air résultant de feux, de la poussière provenant des routes en saison sèche ou des activités agricoles.

Dans une étude effectuée sur la côte sud de Madagascar en août 2000, la qualité de l'air a été surveillée à huit emplacements à Fort Dauphin et à proximité. Les résultats ont montré de très faibles concentrations de dioxyde de soufre (SO_2), d'oxydes d'azote (NO_x), de matières particulaires PM_{10} (matière particulaire de moins de $10\text{ }\mu\text{m}$ de diamètre) et de monoxyde de carbone (CO). La qualité de l'air de ces huit emplacements a été classée pure (inférieur à 20% de la norme de référence) ou propre (entre 20 et 39% de la norme de référence) (SENES 2001). La qualité de l'air des stations rurales de cette étude est considérée représentative de la qualité de l'air ambiant au site de la mine. Ces stations ont toutes été classées comme ayant un air pur.

3.4.5 Evaluation des impacts

3.4.5.1 Portée des enjeux

Des enjeux spécifiques concernant la qualité de l'air ont été identifiés par l'entremise de consultation avec les parties prenantes (volume A, section 6) ainsi que par une revue des évaluations environnementales précédentes concernant l'exploitation des ressources à Madagascar et ailleurs. Les trois facteurs principaux présentés ci-dessous pourraient affecter la qualité de l'air dans le secteur d'étude de la mine:

- les gaz d'échappement des véhicules de la mine
- la poussière
- les émissions provenant des installations de préparation du minerai

Les indicateurs clés sont le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde d'azote (NO₂), les matières particulaires totales en suspension (MPTS), les matières particulaires de diamètre de moins de 10 µm (PM₁₀), les métaux traces et les gaz à effet de serre.

Les questions clés abordées ci-dessous pour la qualité de l'air sont:

Question clé QA-1	Comment la mise en production de la mine affectera-t-elle la qualité de l'air?
Question clé QA-2	Comment la mise en production de la mine affectera-t-elle la production et la gestion des gaz à effet de serre?

3.4.5.2 Question clé QA-1 Comment la mise en production de la mine affectera-t-elle la qualité de l'air?

Il est prévu que la plupart des effets atmosphériques se produiront durant les phases de construction et d'exploitation du projet, tel que présenté dans les diagrammes de liens sur la qualité de l'air (volume H, annexe 9). Les changements à la qualité de l'air peuvent avoir un effet sur la végétation, les ressources aquatiques, la santé de la faune et/ou la santé humaine. Les émissions de gaz à effet de serre peuvent aussi changer à cause du projet.

Emissions atmosphériques de la mine

Les activités de la mine auront pour résultat l'émission atmosphérique de SO₂, de NO_x et de matières particulaires. Les estimations d'émissions ont été basées sur

des facteurs d'émissions établis, sur les spécifications techniques des fournisseurs et sur des bilans massiques. Lorsque les renseignements sur les équipements ou procédés manquaient, des hypothèses prudentes ont été formulées pour combler les lacunes.

Les sources d'émissions de la mine comprennent la production d'électricité, les émissions des véhicules de la mine, la poussière provenant des routes et la poussière diffuse résultant d'activités telles que le terrassement, le forage, le nivellement et le chargement et déchargement de matériaux.

Les estimations d'émissions atmosphériques ont été élaborées à partir de la consommation maximum de diesel, du nombre de véhicules à la mine et des quantités de matériau à manipuler. Ce scénario permet d'établir les émissions maximales et les concentrations prévues au niveau du sol.

L'effet des mesures d'atténuation à être mises en œuvre à la mine a été intégré aux estimations des émissions. Par exemple, les émissions ont été estimées en supposant une forte atténuation des émissions de poussière causées par la circulation des véhicules. Le promoteur mettra en œuvre un programme d'atténuation de la poussière à la mine afin de s'assurer que les niveaux de poussière provenant de la circulation des véhicules seront tenus au minimum en tout temps.

Durant les périodes de vent fort, il est possible que la poussière soit soufflée des zones exposées de la mine, notamment des piles de stockages et des haldes. Bien que les émissions causées par ces événements puissent être calculées, il n'est généralement pas possible de modéliser les émissions avec précision. Cependant, le modèle de dispersion CALPUFF permet à l'utilisateur d'entrer un seuil de vitesse du vent sous lequel les émissions de poussières soulevées par le vent ne se produiront pas. En évaluant les émissions de particules des piles de stockages et des haldes de la mine, il a été déterminé que l'érosion éolienne des zones exposées se produirait quand les vitesses du vent dépasseraient 10 m/s. De telles vitesses du vent n'ont été observées, au site de la mine, que durant 20 heures au cours de l'année d'observation. Ces grandes vitesses de vent ne surviennent généralement que durant la saison des pluies, alors que les poussières en suspension ne sont pas un problème. Par conséquent, la poussière soulevée par le vent n'a pas été incluse dans l'évaluation de la qualité de l'air.

Le tableau 3.4-6 présente un résumé des émissions estimées de la mine.

Tableau 3.4-6 Résumé des émissions atmosphériques de la mine^(b)

Source	Taux d'émission [t/j]			
	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	MPTS
groupes électrogènes diesel	0,35	2,37	0,06	0,07
les véhicules de la mine	0,42	1,59	0,06	0,06
poussière provenant des routes	0,00	0,00	0,21	0,70
poussière diffuse	0,00	0,00	0,06	0,22
total^(a)	0,77	3,96	0,39	1,06

(a) Certains chiffres ont été arrondis pour fin de présentation. Il peut donc sembler que les totaux ne correspondent pas à la somme des valeurs individuelles.

(b) Basé sur les données fournies au volume I, annexe 4.2.

Note: Pour l'analyse d'impact, les émissions de métaux traces sont estimées à partir du contenu en minerai et en diesel des matières particulaires.

Mesures d'atténuation

L'évaluation de la qualité de l'air de la mine est basée sur l'année d'exploitation ayant la plus forte consommation de carburant. Le promoteur s'est engagé à ce que les véhicules utilisés à la mine respectent les normes de niveau 2, puisqu'ils ont de plus faibles émissions de NO_x. Le gouvernement des États-Unis et les fabricants de moteurs ont travaillé ensemble à mettre au point un système à quatre niveaux (en anglais *tier*) pour la réglementation des émissions de NO_x, de particules, de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures totaux provenant des moteurs diesel. Depuis 1996 et le début de la mise en œuvre des normes d'émissions de niveau 1, une réglementation de plus en plus sévère sera appliquée par étape. Les normes de niveau 2 entreront en vigueur pour les véhicules hors route à moteur diesel de plus de 750 hp en 2006. Le promoteur s'est également engagé à réduire la poussière soulevée par la circulation des véhicules en arrosant les routes.

Résultats

Composés clés

Les émissions prévues de SO₂, NO_x, MPTS, PM₁₀ et composés traces provenant de la mine ont été entrées dans le modèle de dispersion CALPUFF afin de déterminer les concentrations au niveau du sol pour tout le secteur d'étude et pour certaines communautés choisies dans la région. Le modèle CALPUFF a été exécuté en régime permanent (2-D) en utilisant deux années d'observations météorologiques recueillies par la station météorologique sur le site. Un résumé des résultats de la modélisation est présenté au tableau 3.4-7. Les résultats sont aussi présentés graphiquement au volume I, annexe 4.2.

Les prévisions annuelles de MPTS sont légèrement inférieures au critère de la Banque mondiale de 80 µg/m³. Ces prévisions sont probablement prudentes puisque les routes du secteur seront recouvertes d'une épaisse cuirasse ferrallitique concassée qui réduira la production de poussière. De plus, le promoteur atténuera la production de poussière par l'arrosage des routes du site.

Tableau 3.4-7 Résumé des prévisions sur la qualité de l'air dans le secteur d'étude de la mine

Paramètre	Période de calcul de la moyenne	
	24 heures	Année
Dioxyde de soufre (SO₂)		
concentration maximale de SO ₂ [µg/m³]	258,3	152,0
concentration maximale de SO ₂ à l'extérieur de la zone tampon de la mine [µg/m³]	111,2	52,3
distance à la concentration maximale [km] ^(a)	5,2	5,2
direction relative de la concentration maximale ^(a)	NNE	NNE
critère de la Banque mondiale concernant le SO₂ [µg/m³] pour une mine à ciel ouvert	500	100
Dioxyde d'azote (NO₂)		
concentration maximale de NOX [µg/m³]	1144,2	577,6
concentration maximale de NO ₂ [µg/m³]	165,2	117,9
concentration maximale de NO ₂ à l'extérieur de la zone tampon de la mine [µg/m³]	126,9	85,9
distance à la concentration maximale [km] ^(a)	1,0	1,0
direction relative de la concentration maximale ^(a)	WNW	WNW
critère de la Banque mondiale concernant le NO₂ [µg/m³] pour une mine à ciel ouvert	200	100
Matières particulaires totales en suspension (MPTS)		
concentration maximale des MPTS [µg/m³]	—	220,9
concentration maximale des MPTS à l'extérieur de la zone tampon de la mine [µg/m³]	—	79,4
distance à la concentration maximale [km] ^(a)	—	2,9
direction relative de la concentration maximale ^(a)	—	N
critère de la Banque mondiale concernant les MPTS [µg/m³] pour une mine à ciel ouvert	—	80
Matières particulaires (PM₁₀)		
concentration maximale de PM ₁₀ [µg/m³]	127,9	78,9
concentration maximale de PM ₁₀ à l'extérieur de la zone tampon de la mine [µg/m³]	53,0	28,0
distance à la concentration maximale [km] ^(a)	2,9	2,9
direction relative de la concentration maximale ^(a)	N	N
critère de la Banque mondiale concernant les PM10 [µg/m³] pour une mine à ciel ouvert	500	100

^(a) La distance et la direction relative sont celles de la concentration maximale en un point situé à l'extérieur de la zone tampon de la mine, et sont établies par rapport aux installations de préparation du minerai

Les tableaux 3.4-8 à 3.4-10 présentent les prévisions des concentrations maximales de SO₂, NO₂, MPTS et PM₁₀ émises par la mine, pour des périodes de 24 heures et annuelles, dans les communautés. Les concentrations de fond dues aux activités des communautés n'ont pas été incluses dans les prévisions à cause de l'absence de données sur la qualité de l'air ambiant. Aucune des concentrations ne dépasse les critères établis par la Banque mondiale. Les concentrations de plomb et de mercure ont aussi été prévues pour les

communautés. Les valeurs obtenues pour le plomb et le mercure sont très inférieures aux critères d'émissions annuelles de l'OMS, qui sont de 0,5 et 1 µg/m³, respectivement. Les résultats sont présentés au volume I, annexe 4.2, section 3.4.4.

Tableau 3.4-8 Préviction des concentrations maximales de SO₂ dans les communautés

Communauté	SO ₂ maximal [µg/m³]	
	24 heures	Année
Amboditrampanga	1,1	0,1
Ambodivato	0,6	0,1
Ambodivoasary (1)	1,6	0,1
Ambodivoasary (2)	0,4	0,0
Ambohibary	0,5	0,1
Ambohimanarivo	1,6	0,7
Ampitambe	0,9	0,2
Analakely	0,6	0,1
Analalava	0,5	0,1
Andranokoaka	1,0	0,2
Antanambao	1,9	0,4
Antaniditra	1,0	0,1
Antsahapandrano	5,7	1,7
Befotsy	0,6	0,1
Mahamanana	1,6	0,5
Mahatsara	1,9	0,4
Menalamba	0,9	0,1
Nangarana	1,3	0,4
Sahamalotra	1,6	0,2
Sakalava Ambony	5,9	2,6
critère de SO₂ de mine à ciel ouvert de la Banque mondiale [µg/m³]	500	100

Note : Les prévisions de concentrations pour les communautés ne comprennent pas les concentrations de fond.

Tableau 3.4-9 Prédiction des concentrations maximales de NO₂ dans les communautés

Communauté	NO ₂ maximale [µg/m ³]	
	24 heures	Annuelle
Amboditrampanga	4,1	0,4
Ambodivato	2,2	0,4
Ambodivoasary (1)	8,1	0,4
Ambodivoasary (2)	1,5	0,2
Ambohibary	1,7	0,3
Ambohimanarivo	10,4	3,9
Ampitambe	4,9	0,8
Analakely	2,3	0,3
Analalava	1,7	0,3
Andranokoaka	5,6	1,1
Antanambao	9,4	1,8
Antaniditra	4,2	0,5
Antsahapandrano	23,9	6,6
Befotsy	2,1	0,4
Mahamanana	7,1	1,9
Mahatsara	9,4	1,8
Menalamba	3,6	0,5
Nangarana	5,6	1,5
Sahamalotra	7,0	1,0
Sakalava Ambony	26,5	10,2
critère de la Banque mondiale concernant le NO₂ [µg/m³] pour une mine à ciel ouvert	200	100

Note : Les prévisions de concentrations pour les communautés ne comprennent pas les concentrations de fond.

Tableau 3.4-10 Prévisions des concentrations maximales de matières particulaires dans les communautés

Communauté	Concentration maximale de MPTS [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Concentration maximale de PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	Annuelle	24 heures	Annuelle
Amboditrampanga	0,0	0,4	0,0
Ambodivato	0,0	0,1	0,0
Ambodivoasary (1)	0,0	0,6	0,0
Ambodivoasary (2)	0,0	0,4	0,0
Ambohibary	0,0	0,1	0,0
Ambohimanarivo	0,2	0,6	0,2
Ampitambe	0,0	0,3	0,0
Analakely	0,0	0,5	0,0
Analalava	0,0	0,1	0,0
Andranokoaka	0,0	0,3	0,1
Antanambao	0,1	0,4	0,1
Antaniditra	0,0	0,6	0,0
Antsahapandrano	0,0	0,8	0,1
Befotsy	0,0	0,1	0,0
Mahamanana	0,0	0,4	0,0
Mahatsara	0,0	0,5	0,1
Menalamba	0,0	0,7	0,0
Nangarana	0,0	0,7	0,0
Sahamalotra	0,1	0,9	0,1
Sakalava Ambony	0,4	1,8	0,3
critères de la Banque mondiale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	80	500	100

Note : Les prévisions des concentrations pour les communautés ne comprennent pas les concentrations de fond.

Acidification

La méthode favorisée pour l'évaluation des dépôts atmosphériques acides consiste à déterminer les apports acides potentiels (AAP), qui tient compte de l'effet acidifiant du soufre et de l'azote. Une description détaillée des AAP est présentée au volume I, annexe 4.2. Les émissions de SO₂ et de NO_x ont été entrées dans le modèle de dispersion CALPUFF et des prévisions des valeurs d'AAP ont été faites. La valeur maximale annuelle pour les AAP à l'extérieur de la zone tampon de la mine était de 3,5 keq/ha/an, observée à 1 km à l'ouest-nord-ouest des installations de préparation du minerai. Les prévisions des AAP sont présentées graphiquement à l'annexe 4.2, figure 4.2-12. Les AAP moyens pour le secteur à l'étude sont de 0,1 keq/ha/an. Les prévisions des valeurs d'AAP pour la mine sont plus faibles que celles prévues pour l'usine de traitement (voir

volume D, section 3.3.5.2). Les effets des AAP sur les divers écosystèmes sont abordés dans les sections pertinentes du volume B portant sur les aspects biologiques.

Odeur

Aucun composé odorant ne sera émis par la mine; par conséquent, l'odeur n'a pas été évaluée pour la mine.

Impacts résiduels

Classification des impacts

Les émissions de SO₂, de NO_x, de matière particulaire et de composés traces de la mine entraîneront des changements à la qualité de l'air ambiant. Tous ces changements sont considérés de faible intensité (tableau 3.4-11). Les prévisions des concentrations de SO₂, NO₂, MPTS, PM₁₀ et des composés traces sont toutes en deçà des lignes directrices de la Banque mondiale pour le secteur à l'étude et pour les communautés de la région. Ces prévisions ont une classification d'intensité allant de faible à moyenne pour les 16 paramètres évalués. Ceux-ci ont également un faible niveau de conséquence sur l'environnement.

Niveau de confiance des prévisions

L'évaluation des changements à la qualité de l'air repose principalement sur l'utilisation de modèles de dispersion atmosphérique pour prévoir les niveaux ambiants attendus. Comme dans toute forme de prévision, il existe des incertitudes concernant la capacité du modèle de prévoir les concentrations avec exactitude. Pour minimiser certaines de ces incertitudes, un modèle de dispersion reconnu (c.-à-d., CALPUFF) a été choisi. Ce modèle a fait l'objet d'un examen approfondi aux États-Unis afin de s'assurer qu'il fournit des prévisions réalistes, mais prudentes.

L'autre incertitude associée aux prévisions sur la qualité de l'air se rattache aux prévisions des émissions de la mine. Cette incertitude a été réduite en utilisant des facteurs d'émission établis et la plus récente description du projet. Là où les incertitudes n'ont pu être évitées, des estimations prudentes des émissions ont été utilisées pour s'assurer que les impacts possibles ne soient pas sous-estimés.

Tableau 3.4-11 Classification des impacts résiduels sur la qualité de l'air

Paramètre	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur environnement
SO ₂ sur 24 heures	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
SO ₂ sur 1 an	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
SO ₂ sur 24 heures, dans les communautés	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
SO ₂ sur 1 an, dans les communautés	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
NO ₂ sur 24 heures	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
NO ₂ sur 1 an	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
NO ₂ sur 24 heures, dans les communautés	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
NO ₂ sur 1 an, dans les communautés	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
MPTS sur 1 an	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
MPTS sur 1 an, dans les communautés	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
PM ₁₀ sur 24 heures	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
PM ₁₀ sur 1 an	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
PM ₁₀ sur 24 heures, dans les communautés	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
PM ₁₀ sur 1 an, dans les communautés	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
Plomb sur 1 an , dans les communautés	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
Mercure sur 1 an, dans les communautés	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible

Surveillance et suivi

A partir des résultats de la modélisation et de l'évaluation de l'impact de la mine sur la qualité de l'air, aucune surveillance additionnelle n'est recommandée. Les prévisions de tous les niveaux maxima de SO₂, de NO₂, de matières particulaires, de plomb et de mercure respectent les lignes directrices de la Banque mondiale et de l'OMS.

3.4.5.3 Question clé QA-2 Comment la mise en production de la mine affectera-t-elle la production et la gestion des gaz à effet de serre?

Le diagramme de liens pour la question clé QA-2 est fourni au volume H, annexe 9.

Analyse des impacts

La première étape de l'analyse des impacts pour cette question clé consiste à caractériser les émissions de gaz à effet de serre de la mine. Les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄), d'oxyde nitreux (N₂O) ainsi que les émissions totales de gaz à effet de serre (exprimées en équivalent dioxyde de carbone [ECO₂], qui comprennent le potentiel plus élevé de gaz à effet de serre du CH₄ et du N₂O) ont été estimées pour la phase d'exploitation de la mine.

Le tableau 3.4-12 présente les émissions estimées de gaz à effet de serre (GES) durant la phase d'exploitation de la mine. Les émissions de GES durant l'exploitation sont estimées à 79 kt ECO₂/an.

Tableau 3.4-12 Résumé des émissions de gaz à effet de serre de la mine

Source	Emissions annuelles [kt/an] de gaz à effet de serre (GES)			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	ECO ₂
groupes électrogènes diesel	41,35	0,00	0,00	41,49
véhicules de la mine	37,83	0,00	0,00	37,98
total^(a)	79,18	0,00	0,00	79,47

^(a) Certains chiffres ont été arrondis pour fin de présentation. Il peut donc sembler que les totaux ne correspondent pas à la somme des valeurs individuelles.

Le tableau 3.4-13 fournit un résumé des émissions nationales de GES de Madagascar selon les données de 1994. Une comparaison avec les émissions de la mine (79 kt ECO₂/an) aide à placer le projet en perspective. Les émissions de GES nationales en 1994 ont été estimées à 456 323 kt ECO₂/an (MEEF 2004).

Les émissions de la mine représenteraient une augmentation de 0,02% des émissions nationales de GES.

Tableau 3.4-13 Emissions nationales de gaz à effet de serre de Madagascar

Source de gaz à effet de serre	CO ₂		CH ₄	N ₂ O
	Emissions	Captage		
émission totale nationale (kt/an)	432 429	671 451	426	42
émission nationale en équivalent CO ₂ (kt ECO ₂ /an)	432 429	671 451	10 444	13 450
I secteur énergie	1141	0	33	0
II secteur procédés industriels	5	—	0	0
III secteur agriculture	0	—	327	42
IV secteur changement d'affectation (des terres)	431 283	671 451	57	0
V secteur gestion des déchets	—	—	10	—
Renseignements additionnels				
A émission de CO ₂ issue de biomasses	10 812			
B bilan de séquestration	-239 022			

Source : Le Ministre de l'Environnement des eaux et des forêts, 2004.

“—” Indique: aucune émission de cette source.

3.4.6 Conclusions

La possibilité que les émissions de la mine affectent la qualité de l'air dans la région est un enjeu pour les parties prenantes de la région. Malgré les techniques d'atténuation et de contrôle des émissions qui seront incorporées aux opérations de la mine, il y aura une augmentation des émissions atmosphériques dans la région à cause de la mine. L'évaluation de la qualité de l'air de la mine comprend des prévisions de concentrations de SO₂, de NO₂, de MPTS, de PM₁₀, de plomb et de mercure.

Les conclusions clés de l'évaluation de la qualité de l'air sont:

- Les prévisions de concentrations maximales sont en deçà des critères applicables de la Banque mondiale pour les mines à ciel ouvert ou des critères de l'OMS.
- Toutes les prévisions de concentrations dans les communautés de la région respectent à la fois les critères de la Banque mondiale pour les mines à ciel ouvert et les critères de l'OMS.
- A partir des taux d'émissions estimés de SO₂ et de NO₂, les prévisions des taux de dépôt des apports acides devraient être de moins de

4 keq/ha/an à l'extérieur de la zone tampon de la mine, avec une moyenne de 0,1 keq/ha/an dans le secteur à l'étude.

- Les émissions de la mine (79 kt ECO₂ par année) représenteraient une augmentation de 0,02% des émissions nationales de GES.

Les 16 paramètres de la qualité de l'air ambiant évalués ont tous été classés comme ayant un faible niveau de conséquence sur l'environnement.

3.5 BRUIT

3.5.1 Introduction

L'évaluation du bruit dans le cadre du projet Ambatovy fournit une analyse complète des impacts et identifie les effets potentiels des émissions sonores associées aux activités du projet proposé. Dans le présent volume de l'étude d'impact environnemental (EIE), les activités du projet associées à la mine sont évaluées. Des renseignements sont fournis sur les niveaux de bruit actuels dans le secteur et les changements attendus occasionnés par la mine.

L'évaluation du bruit vise à déterminer les changements des niveaux actuels de bruit ambiant occasionnés par l'exploitation du projet et à comparer les résultats aux lignes directrices de la Banque mondiale en matière de bruit. L'évaluation est effectuée du point de vue de la réponse humaine. Les effets du bruit sur la faune sont évalués à la section 4.2 du volume B. Le bruit est également un élément considéré dans l'analyse des effets sociaux à la section 5.1 du volume B.

Quelques concepts clés relatifs au bruit sont présentés ci-dessous:

- Le « son » ou les « émissions sonores » font référence à l'énergie sonore générée par les sources naturelles ou artificielles, incluant les activités du projet.
- Le « bruit » ou les « niveaux de bruit » font référence aux niveaux qui peuvent être entendus par une personne ou mesurés à un récepteur.
- Un « récepteur » de bruit est un site où les mesures ou les prévisions des niveaux de bruit sont effectuées.
- L'« intensité » d'un son ou d'un bruit est exprimée sur une échelle logarithmique, en décibels (dB). L'échelle étant logarithmique, un son ou un bruit qui est deux fois plus intense qu'un autre sera seulement supérieur de trois décibels (3 dB). Un changement de 3 dB représente également le seuil général auquel une personne peut s'apercevoir d'un changement dans l'intensité du son.
- Les émissions sonores et les bruits ont également une « fréquence ». L'oreille humaine ne réagit pas à toutes les fréquences de la même façon. Les fréquences moyennes sont plus facilement détectées par l'oreille humaine, les basses et les hautes fréquences étant plus difficiles à entendre. Les niveaux de bruit dans l'environnement sont généralement présentés en décibels « pondérés A » (ou dBA) qui incorporent la gamme de fréquences audibles par l'oreille humaine. Bien que le bruit à basse fréquence puisse ne pas être « entendu », il peut souvent être ressenti.

- Le bruit extérieur est généralement exprimé en « niveau de bruit équivalent (ou acoustique) » (L_{eq}) qui est une moyenne logarithmique des niveaux de bruit mesurés ou prévus durant une période de temps donnée. C'est l'indicateur de bruit préféré pour évaluer le bruit dans l'environnement puisqu'il tient compte de la variabilité naturelle du son.

3.5.2 Secteurs d'étude

Le secteur d'étude pour l'évaluation du bruit de la mine englobe une zone de 10 km par 11 km plus ou moins centrée sur l'empreinte au sol de la mine telle qu'illustrée à la section 7.2 du volume A. Les récepteurs spécifiques suivants situés à l'intérieur de cette zone ont été sélectionnés afin de réaliser l'étude d'impact:

- Behontsa
- Berano
- Sahamalotra

Ces récepteurs constituent les principaux villages du secteur d'étude selon les résultats des études socioéconomiques.

3.5.3 Résumé de l'étude de référence

3.5.3.1 Introduction

Une étude de référence sur le bruit a été effectuée dans le cadre du projet afin d'établir les niveaux de bruit actuels dans les secteurs d'aménagement proposés et de fournir de l'information en vue de l'évaluation des impacts sur le bruit. L'établissement des niveaux de bruit actuels était également nécessaire en vue de la comparaison aux critères de la Banque mondiale en matière de bruit.

3.5.3.2 Méthodologie

Puisque Madagascar ne possède aucune ligne directrice ou règlement sur les mesures du bruit, l'étude a été réalisée de façon à rencontrer les exigences de la Banque mondiale. La Banque mondiale exige que le bruit soit évalué à des récepteurs qui se trouvent à l'extérieur des limites du projet en se fondant sur les périodes de temps suivantes:

- heures du jour (7 h à 22 h)
- heures de la nuit (22 h à 7 h) (BM, 1998)

Un relevé de 24 heures a été complété à chaque station de surveillance sélectionnée afin de représenter les niveaux de bruit actuels aux récepteurs des communautés situées autour de la mine. Des relevés de ce type et de cette durée fournissent de l'information sur la variabilité quotidienne des niveaux de bruit. Le sonomètre utilisé a mesuré des niveaux de pression sonore moyens (L_{eq}) et maximums (L_{max}) une fois par minute lors de la période de surveillance.

Les données météorologiques étaient mesurées aux stations de surveillance durant chaque période de surveillance de 24 heures. Les mesures du bruit sont plus exactes lorsque les conditions météorologiques favorisent une faible humidité relative, des températures chaudes (inférieures à 30 °C), des vents faibles et aucune nébulosité. Les informations météorologiques ont été enregistrées durant toute la période de surveillance et des mesures ont été prises, au besoin, afin de s'assurer que les conditions demeuraient optimales lors des mesures du bruit.

Deux stations situées à proximité de la mine ont été sélectionnées pour effectuer le relevé du bruit: Behontsa et Berano. Ces stations ont été considérées comme représentatives des récepteurs des communautés près de la mine.

De l'information détaillée concernant la sélection des stations de surveillance du bruit et des méthodes de surveillance est présentée à l'annexe 5.1 du volume I.

3.5.3.3 Résumé des résultats

Un résumé des niveaux de bruit actuels aux récepteurs de l'évaluation est présenté au tableau 3.5-1.

Tableau 3.5-1 Résumé des niveaux de bruit actuels, site de la mine du projet Ambatovy

Station	Période	Heure la plus calme L_{eq} [dBA]	L_{eq} de la période [dBA]
Behontsa ^(a)	jour	37	42
	nuit	33	34
Berano ^(a)	jour	23	41
	nuit	20	40
Sahamalotra ^(b)	jour	23	41
	nuit	20	40

^(a) Valeurs provenant des mesures de référence.

^(b) Les mesures de référence provenant de la station de surveillance de Berano ont été considérées identiques pour ce récepteur.

Les mesures de bruit détaillées incluant les tableaux des niveaux horaires de bruit et les graphiques des données brutes à la minute sont fournis à l'annexe 5.1 du volume I.

3.5.4 Evaluation des impacts

3.5.4.1 Portée des enjeux

Après des consultations avec les parties prenantes et l'examen des précédentes études d'impact environnemental (EIE) relatives à la mise en valeur des ressources à Madagascar et ailleurs, plusieurs enjeux ont été identifiés relativement aux impacts potentiels du projet sur le bruit. Les facteurs de la mine qui peuvent affecter les niveaux de bruit comprennent:

- le bruit généré par les activités minières, incluant le transport du minerai, le concassage du minerai, le transport de stériles et le traitement préliminaire
- le trafic accru sur la route d'accès, particulièrement lors de la phase de construction, mais également durant l'exploitation, peut engendrer des intensifications localisées des niveaux de bruit

Les phases de construction et d'exploitation sont toutes deux prises en compte. Les changements de niveaux de bruit occasionnés par le projet peuvent avoir un effet sur la santé de la faune et des êtres humains. Cela donne lieu à une question clé sur le bruit:

Question clé B-1 Quel effet le bruit issu de l'activité minière du projet Ambatovy aura-t-il sur les récepteurs sensibles?

Une analyse des facteurs pouvant affecter le niveau de bruit est résumée sous la forme d'un diagramme de liens à l'annexe 9 du volume H.

3.5.4.2 Méthodologie d'évaluation

L'indicateur clé qui sera utilisé pour évaluer les changements potentiels des niveaux de bruit est le niveau acoustique équivalent ou L_{eq} .

L'évaluation des changements des niveaux de bruit a été effectuée en:

- déterminant les récepteurs potentiels de bruit
- établissant les niveaux de bruit de référence à ces récepteurs

- déterminant l'intensité sonore générée par le projet
- prévoyant l'intensité sonore associée au projet qui sera enregistrée chez les récepteurs identifiés
- comparant les niveaux de bruit prévus avec les niveaux de référence et les critères de bruit applicables

Les activités ou les équipements qui émettent des sons ont été déterminés en fonction de l'information contenue dans la description de projet et les listes d'équipements fournies par le client. Les émissions sonores provenant des différentes sources ont été évaluées suivant les mesures de bruit effectuées sur un équipement de type semblable, les données du fabricant ou les formules standards d'émissions sonores.

Les prévisions concernant le bruit ont été réalisées à l'aide du modèle de réduction du bruit assisté par ordinateur CadnaA (« Computer Aided Noise Abatement Model »). Le modèle a été utilisé afin d'estimer les niveaux de bruit perçus par les communautés avoisinantes dus aux sons émis par la mine et de prévoir les niveaux de bruit tout autour du site de la mine. Le modèle CadnaA est un outil tridimensionnel de prévision du bruit qui calcule l'atténuation du bruit incluant les effets de l'atmosphère, des barrières naturelles et ouvragées, des conditions du terrain, du feuillage et du relief. La méthodologie du modèle est conforme aux normes acoustiques de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et aux critères de la Banque mondiale, qui fournissent des niveaux de bruit équivalents L_{eq} pour des périodes de temps données.

Les effets du bruit sur la faune ont été évalués dans la section de l'étude d'impact sur la faune. Les prévisions de bruit fournies par l'étude sur la faune sont présentées ici à titre d'information seulement.

Les effets du trafic sur les voies publiques ont été évalués séparément (section 5.5, volume B).

3.5.4.3 Critères d'impacts résiduels

Les critères utilisés pour le bruit sont les normes de la Banque mondiale en ce qui concerne l'activité minière:

- un niveau horaire de bruit L_{eq} de 55 dBA entre 7 h et 22 h (période du jour)
- un niveau horaire de bruit L_{eq} de 45 dBA entre 22 h et 7 h (période de la nuit)

- une intensification maximale des niveaux de bruit de fond de 3 dBA (appliqué lorsque le bruit de fond est supérieur respectivement à 55 ou à 45 dBA)

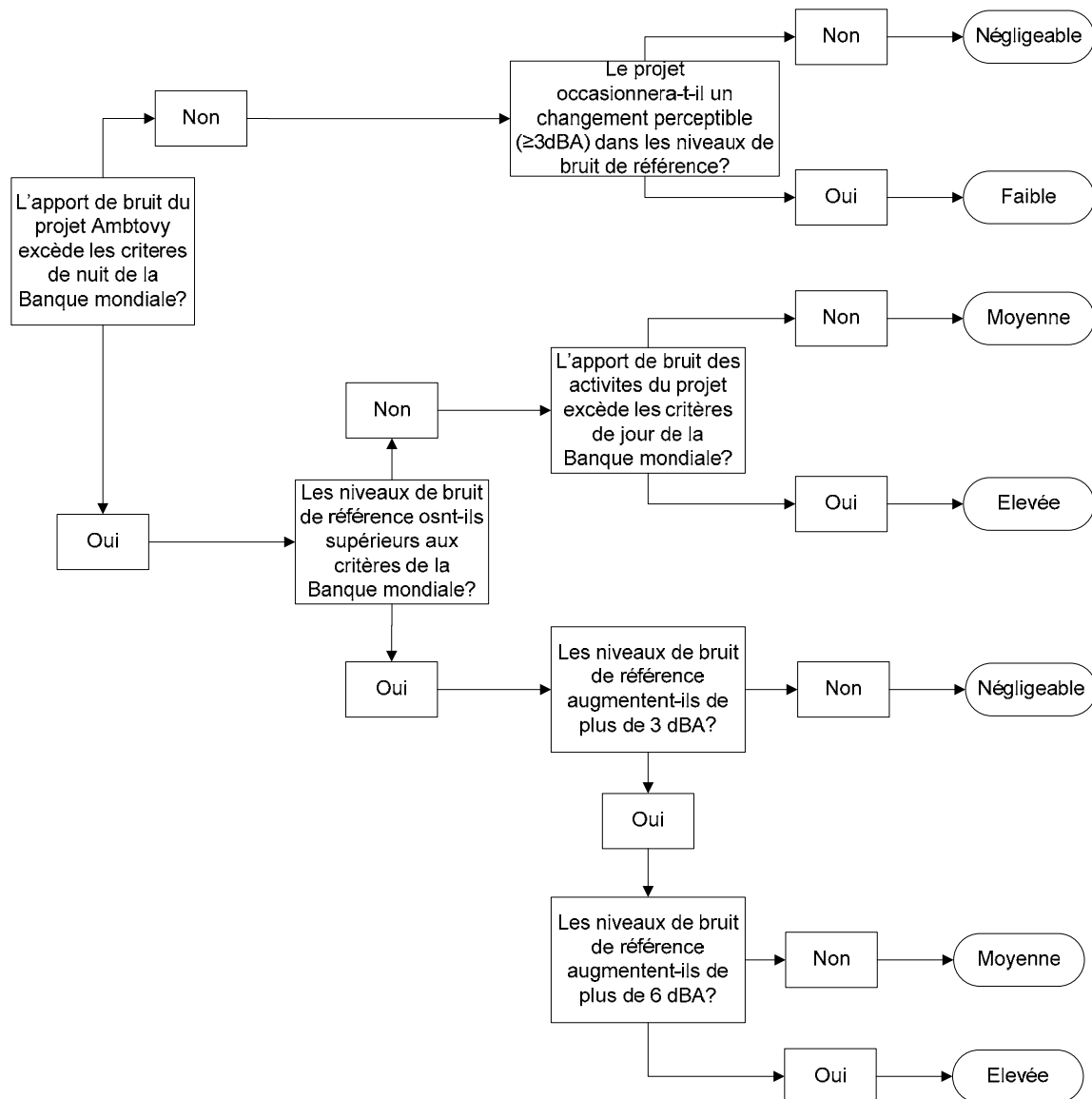
Les critères sont appliqués aux récepteurs (habitations ou communautés) situés à l'extérieur des limites du projet. Au site de la mine, cette limite est située à la limite extérieure d'une zone tampon de 300 m.

Les impacts résiduels sont déterminés à des récepteurs des communautés en fonction des critères de la Banque mondiale. Les paramètres utilisés pour déterminer le niveau de conséquence sur l'environnement aux récepteurs des communautés sont : l'orientation, l'intensité, la portée géographique, la durée, la réversibilité et la fréquence. Le seul paramètre qui possède une définition unique pour le bruit est l'intensité. L'échelle d'intensité des impacts est également fondée sur les critères de la Banque mondiale:

- **Négligeable:** les niveaux de bruit prévus sont inférieurs aux critères de la Banque mondiale et n'affecteront pas les niveaux de bruit de référence.
- **Faible:** les niveaux de bruit prévus sont inférieurs aux critères de la Banque mondiale, mais accroîtront les niveaux de bruit de référence de la période (jour ou nuit) (là où les niveaux de référence sont inférieurs aux critères de la Banque mondiale).
- **Moyenne:** les niveaux de bruit prévus sont supérieurs aux critères de la Banque mondiale pour la nuit, mais inférieurs aux critères pour le jour. Lorsque les niveaux de référence sont supérieurs aux critères de la Banque mondiale, les niveaux de bruit s'accroissent de plus de 3 dBA.
- **Elevée:** les niveaux de bruit prévus dépassent à la fois les critères pour le jour et la nuit de la Banque mondiale. Lorsque les niveaux de référence sont supérieurs aux critères de la Banque mondiale, les niveaux de bruit s'accroissent de plus de 6 dBA.

La figure 3.5-1 illustre le processus de décision de l'intensité de l'impact sur le bruit.

Figure 3.5-1 Arbre de décision de l'intensité de l'impact sur le bruit



3.5.4.4 Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation ou de lutte contre le bruit prises en considération dans le cadre de l'évaluation du site de la mine sont les suivantes:

- le relief qui agit comme barrière naturelle
- les pots d'échappement standards sur l'équipement motorisé
- les édifices de la centrale électrique et de l'usine de préparation du minerai agissant comme barrières

3.5.4.5 Emissions sonores

Les sources de bruit prises en considération dans l'évaluation de la mine sont résumées au tableau 3.5-2.

Tableau 3.5-2 Emissions sonores de la mine Dynatec

Source	Type de source	Puissance acoustique [dBA]
réception du minerai – déchargement des camions	ponctuelle	113,0
pompes à eau de procédé ^(d)	ponctuelle	127,6
épaisseur de préparation de minerai	ponctuelle	120,6
moteur de la trémis	ponctuelle	103,7
circulation des camions au nord	linéaire	128,9
circulation des camions au sud	linéaire	127,2
convoyeur ^(a)	linéaire	106,8
front d'abattage de la fosse de la mine ^(b)	étendue	119,3
zone du débourbeur principal ^(c)	étendue	129,4
zone du débourbeur complémentaire ^(c)	étendue	128,4
zone des groupes électrogènes ^(c)	étendue	131,8
station de pompage de la pulpe ^(c)	étendue	106,3
halde de stériles du projet Ambatovy ^(d)	étendue	121,3

^(a) Puissance acoustique pour chaque système. Il y a six systèmes de convoyeurs.

^(b) Puissance acoustique pour chaque front d'abattage. Les deux fronts d'abattage sont Ambatovy et Analamay. Il est présumé que la flotte d'équipements miniers est divisée 50 % à Ambatovy et 50 % à Analamay.

^(c) Les équipements de traitement seront munis d'équipements d'atténuation et de lutte contre le bruit à 85 dBA.

^(d) Puissance acoustique pour chaque halde. Il y a deux haldes.

Le modèle présente un instantané des niveaux de bruit continu attendus générés par la mine. Afin de s'assurer que le scénario du pire cas ou le niveau de bruit

attendu le plus élevé soit évalué, le modèle est fondé sur les opérations minières dans les années 13 et 14 lorsque le nombre le plus élevé de véhicules et d'équipements sera en service. On présume que l'activité au front d'abattage est située dans la tranche supérieure de la fosse où les parois ne protègent pas bien contre le bruit. D'autres facteurs pris en considération dans le modèle sont le relief, les conditions météorologiques et les conditions du terrain.

3.5.4.6 Résultats

Les niveaux de bruit prévus aux récepteurs des communautés et occasionnés par les activités minières sont présentés au tableau 3.5-3.

Tableau 3.5-3 Niveaux de bruit prévus – site de la mine

Station	Niveau sonore [dBA]
Behontsa	31
Berano	42
Sahamalotra	31

Les niveaux de bruit prévus sont également présentés sous forme d'une carte de bruit à la figure 3.5-2.

3.5.4.7 Analyse des impacts résiduels

Les fondements de l'analyse des impacts sur le bruit consistent à la fois à comparer les niveaux de bruit prévus aux critères de la Banque mondiale et à déterminer l'intensité du changement par rapport aux niveaux de bruit de référence. Le tableau 3.5-4 compare les niveaux de bruit prévus aux critères de la Banque mondiale. Le tableau 3.5-5 fournit une analyse de l'intensité du changement par rapport aux niveaux de bruit de référence.

Tableau 3.5-4 Comparaison des niveaux de bruit prévus avec les critères de la Banque mondiale, site de la mine

Station	Niveau sonore [dBA]	Critères de la Banque mondiale [dBA]		Rencontre les critères
		Jour	Nuit	
Behontsa	31	55	45	oui
Berano	42	55	45	oui
Sahamalotra	31	55	45	oui

Tableau 3.5-5 Changements escomptés par rapport aux niveaux de bruit de référence, site de la mine

Station	Période	L_{eq} de la période[dBA]	Niveau de bruit prévu du projet [dBA]	Niveau de bruit combiné [dBA]	Intensité du changement [dBA]
Behontsa	jour	42	31	42	0
	nuit	34	31	36	+2
Berano	jour	41	42	45	+4
	nuit	40	42	44	+4
Sahamalotra	jour	41	31	41	0
	nuit	40	31	40	0

L'intensité des impacts, déterminée à l'aide de la figure 3.5-1, s'étend de négligeable à faible pour tous les récepteurs des communautés. Les critères de bruit pour la nuit de la Banque mondiale seront respectés dans toutes les communautés, bien que les niveaux de bruit de fond augmenteront dans les villages de Behontsa et de Berano. Les impacts résiduels qui en résultent s'étendent de négligeables à faibles et sont résumés au tableau 3.5-6.

3.5.4.8 Niveau de confiance des prévisions

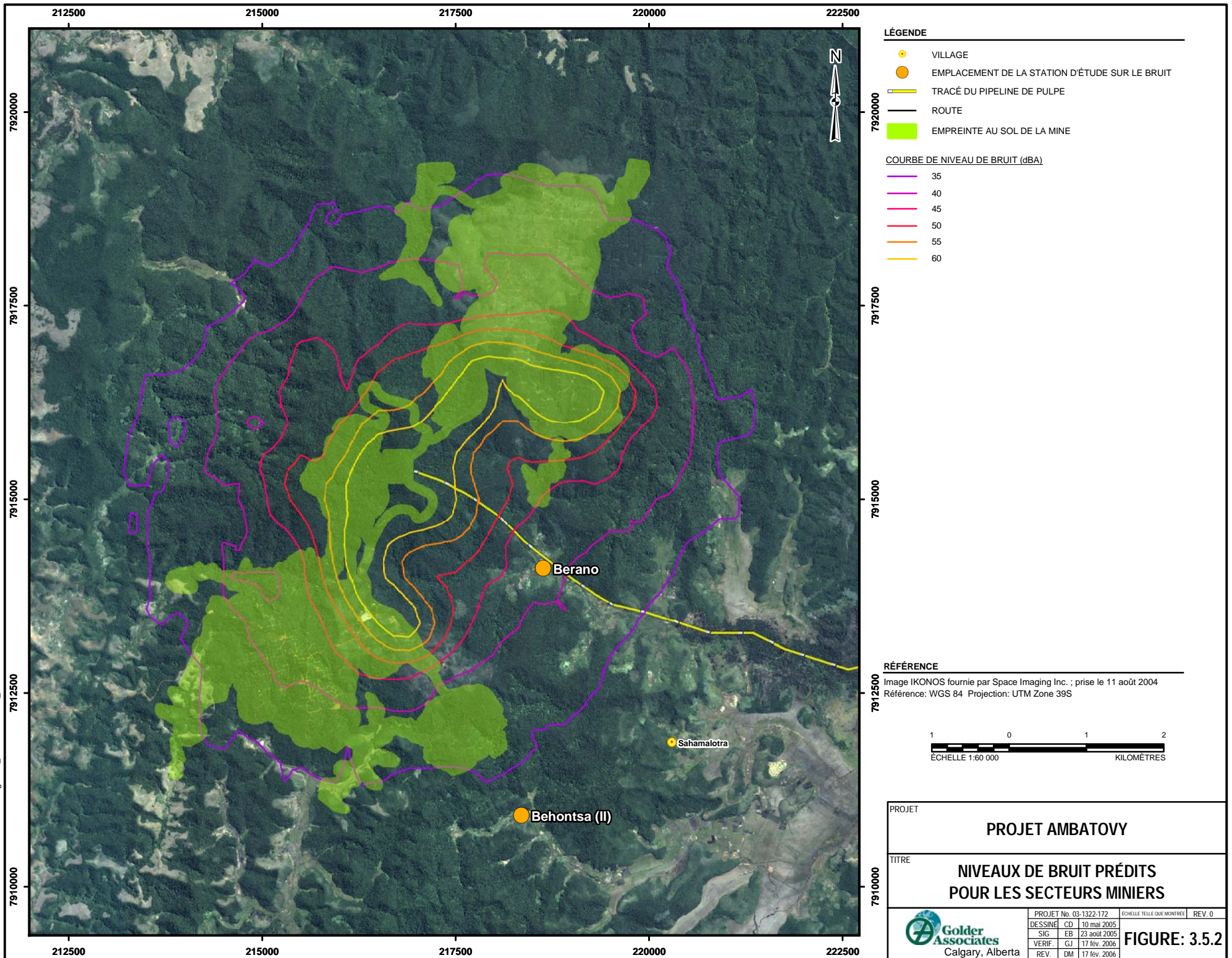
La modélisation de l'atténuation du bruit extérieur est effectuée à l'aide d'algorithmes et d'hypothèses standards qui tendent à simplifier l'environnement acoustique. Le bruit, qu'il soit naturel ou artificiel, varie normalement dans le temps. Les algorithmes et l'indicateur L_{eq} prennent en compte cette variation, mais ne la prévoient pas. La variation des sources de bruit au fil du temps peut être traitée dans le modèle CadnaA de plusieurs façons, selon la source de bruit évaluée et le niveau de détail exigé.

La qualité et la pertinence des prévisions provenant du modèle de bruit dépendent des données d'entrée. Pour l'évaluation, les sources de bruit ont été modélisées avec les mesures actuelles de terrain ou les données d'émissions sonores des fournisseurs d'équipement, quand c'est possible, afin d'assurer l'exactitude des sources. Les niveaux de bruit modélisés pour l'activité actuelle sur le site ont été comparés aux données de bruit de fond afin de s'assurer que les simulations étaient représentatives du site.

Tableau 3.5-6 Classification des impacts résiduels - bruit

Communauté	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
Behontsa	négative: augmentation des niveaux de bruit	négligeable: aucune augmentation perceptible des niveaux de bruit de fond; tous les bruits inférieurs aux critères de la Banque mondiale	Locale: aux récepteurs des communautés conformément aux critères de la Banque mondiale	Moyen terme: 3 à 30 ans	Réversible: le bruit s'arrête une fois que les activités du projet cessent	Élevée: se produit en continu	Négligeable
Berano	négative: augmentation des niveaux de bruit	Faible: les niveaux de bruit de fond augmentent de plus de 3 dBA; tous les bruits inférieurs aux critères de la Banque mondiale	Locale: aux récepteurs des communautés conformément aux critères de la Banque mondiale	Moyen terme: 3 à 30 ans	Réversible: le bruit s'arrête une fois que les activités du projet cessent	Élevée: se produit en continu	Faible
Sahamalotra	négative: augmentation des niveaux de bruit	Négligeable: aucune augmentation perceptible des niveaux de bruit de fond; tous les bruits sont inférieurs aux critères de la Banque mondiale	Locale: aux récepteurs des communautés conformément aux critères de la Banque mondiale	Moyen terme: 3 à 30 ans	Réversible: le bruit est s'arrête une fois que les activités du projet cessent	Élevée: se produit en continu	Négligeable

Le modèle CadnaA a été conçu afin de prévoir le bruit extérieur conformément à la norme ISO 9613 (1 et 2) de l'Organisation internationale de normalisation (ISO): Acoustique – Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre (ISO 9613) et à plusieurs normes acoustiques internationales et européennes. La méthode de la norme ISO 9613 prévoira l'atténuation du bruit à ± 3 dBA. La documentation du fournisseur du modèle et les publications d'autres sources ne vérifient pas ce niveau d'exactitude pour le modèle CadnaA. Afin de s'assurer que le modèle CadnaA respecte la norme ISO, une étude indépendante a été effectuée. Cette étude s'assure que le modèle calcule correctement suivant la méthode ISO et que ces simulations des niveaux de bruit extérieur rencontrent les mesures de terrain d'une source connue à ± 3 dBA.



3.5.4.9 Surveillance

Puisque les impacts prévus sur le bruit sont faibles à négligeables, un programme de surveillance du bruit n'est pas considéré nécessaire. Dans le cadre du programme de relations sociales en cours, un processus de traitement des plaintes concernant le bruit sera mis sur pied. Dans le cas où une plainte concernant le bruit est reçue durant les opérations liées au projet, une enquête sera réalisée afin d'identifier la source du bruit et déterminer les solutions possibles, s'il y a lieu. L'enquête peut comprendre des relevés de surveillance, des entrevues ou de la modélisation.

3.5.5 Conclusions

La question clé B 1 demande: Quel effet le bruit issu de l'activité minière du projet Ambatovy aura-t-il sur les récepteurs sensibles? Les effets des niveaux de bruit du projet ont été déterminés en:

- établissant les niveaux de bruit actuels aux récepteurs spécifiques pour le bruit
- prévoyant l'intensité du son générée par les sources majeures de son du projet
- évaluant les niveaux de bruit engendrés à des récepteurs spécifiques

Des impacts faibles à négligeables ont été prévus pour le projet. Tous les niveaux de bruit prévus respectent les critères de la Banque mondiale aux trois récepteurs spécifiques identifiés pour l'évaluation. Les niveaux de bruit de référence demeureront les mêmes pour ce qui est de Sahamalotra. Des impacts de faible intensité sont prévus dans le cas de Behontsa et de Berano car les niveaux de bruit de référence devraient s'accroître d'au plus 4 dBA. Puisque les critères de la Banque mondiale sont respectés, mais qu'un changement des niveaux de bruit de référence est prévu, les effets du bruit du projet sont considérés comme ayant un niveau faible de conséquence sur l'environnement.

3.6 RISQUES NATURELS

3.6.1 Introduction

Cette section présente l'évaluation des impacts environnementaux portant sur les risques associés aux catastrophes naturelles que présente la mine pour le public et le milieu naturel, conformément aux Termes de référence du Projet Ambatovy (le projet).

3.6.2 Secteur d'étude

Le secteur local d'étude de la mine en ce qui a trait aux risques naturels comprend la mine et les bassins versants adjacents, tel qu'illustré la figure 7.2-1 du volume A. Des catastrophes naturelles telles que les séismes et les cyclones peuvent provenir d'un vaste secteur régional qui a fait l'objet d'une étude visant à déterminer les impacts potentiels sur le site de la mine.

3.6.3 Résumé de l'étude de référence

L'évaluation des impacts environnementaux repose sur une étude distincte des catastrophes naturelles et une évaluation des risques pour le site de la mine (Knight Piesold, 2005a, présentée dans le volume I, à l'annexe 6.1). Cette étude traite des conditions de référence du site de la mine en ce qui concerne l'emplacement et la topographie, les installations minières, l'occupation actuelle du sol, le climat et l'activité sismique. Les risques naturels potentiels, les conséquences possibles d'une rupture de digue attribuable aux catastrophes naturelles ainsi que les risques en aval du site de la mine ont fait l'objet d'une évaluation. Les ressources en aval du site de la mine comprennent de petites implantations humaines, des ressources en eau potable et des terres agricoles, ainsi que des zones naturelles telles le marais de Torotorofotsy.

Les données de référence relatives aux risques naturels comprennent des données sur le climat décrivant les risques hydrologiques et des données sur les séismes précisant les risques sismiques.

3.6.4 Portée des enjeux

L'évaluation des risques (Knight Piesold, 2005a) définit un risque naturel comme un événement naturel pouvant entraîner une rupture de structure potentielle qui aurait un impact sur les ressources en aval. Les trois principales catastrophes naturelles sont d'ordre sismique, hydrologique et géotechnique. Les enjeux

associés à chacune sont résumés ci-après. Tous les enjeux soulevés au cours des consultations avec les intervenants figurent également dans les scénarios de risques (section 6, volume A).

Risques sismiques

Les mouvements du sol causés par un séisme pourraient provoquer les phénomènes suivants:

- un glissement de terrain dans les bassins versants des bassins de rétention ou de clarification pourrait entraîner le débordement ou l'ouverture de brèches dans les digues
- la liquéfaction des digues et/ou des assises pourrait entraîner le débordement ou l'ouverture de brèches dans les digues
- la liquéfaction de la halde de stériles et/ou des pentes excavées pourrait causer un glissement par liquéfaction

Risques hydrologiques

Les fortes pluies ou les vents violents qui sévissent lors de tempêtes ou cyclones pourraient provoquer les phénomènes suivants:

- Un glissement de terrain dans les bassins versants où seront construits les bassins de rétention ou de clarification pourrait entraîner à son tour le débordement ou l'ouverture de brèches dans les digues.
- Un remplissage d'eau des bassins de rétention ou de clarification telle que les évacuateurs par déversement laissent passer de façon sécuritaire et contrôlée des débits atteignant les débits de conception maximum:. Ceci causerait une inondation en aval du site de la mine.
- Un remplissage d'eau des bassins de rétention ou de clarification telle que les évacuateurs par déversement ne pourraient pas laisser passer les débits d'averse de manière sécuritaire et contrôlée: Cela pourrait causer le débordement ou l'ouverture de brèches dans les digues.
- L'érosion et la rupture des digues pourrait entraîner le rejet des eaux dans le milieu naturel.
- La formation de fortes vagues par des rafales de vent pourrait faire déborder les digues ou entraîner l'ouverture de brèches.
- L'érosion et la rupture des haldes de stériles ou des pentes excavées pourrait causer un glissement par liquéfaction.

Risques géotechniques

Des situations géotechniques imprévues pourraient se produire de façon isolée ou de concert avec un événement sismique ou hydrologique, entraînant ainsi:

- un glissement de terrain dans les bassins versants des bassins de rétention ou de clarification, qui pourrait entraîner à son tour le débordement ou l'ouverture de brèches dans les digues
- un glissement de terrain le long des digues en raison du mauvais état des assises, d'une percolation excessive (renard) et/ou du surraidissement des digues, qui pourrait, à son tour, entraîner le débordement ou l'ouverture de brèches dans les digues
- un glissement de terrain dans les haldes de stériles ou le long des pentes excavées en raison du mauvais état des assises ou du surraidissement des pentes, qui pourrait entraîner à son tour un glissement par liquéfaction

La question clé concernant les risques naturels est:

Question clé RN-1 La présence de la mine augmente-t-elle les risques associés aux catastrophes naturelles pour le public et le milieu naturel?

3.6.5 Evaluation des impacts

3.6.5.1 Méthodes d'évaluation

Une évaluation des risques associés aux catastrophes naturelles a été réalisée (Knight Piesold, 2005a) au moyen d'un système de classement relatif. Pour chacune des trois catastrophes naturelles décrites à la section 3.6.4, tous les scénarios possibles ont d'abord été envisagés selon le mode de rupture, les conséquences y étant associées et les mesures d'atténuation connexes. Les risques résiduels pour tous les scénarios ont ensuite été estimés à l'aide d'un système relatif de classement. Les risques acceptables ont été évalués en fonction des normes internationales afin de réduire au minimum les risques, en aval, pour le public et les ressources du milieu naturel.

3.6.5.2 Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation utilisés dans le cadre de l'évaluation des risques naturels sont présentés au tableau 3.6-1. Cinq catégories de risques sont définies par la probabilité d'occurrence et l'intensité des conséquences. Le risque global est un produit du classement relatif de la probabilité et des conséquences.

Tableau 3.6-1 Description des critères de risques associés à l'exploitation minière

Catégories de classement	Probabilité d'occurrence (probabilité)		Intensité des conséquences		Risque global
extrêmement faible	1	Probabilité d'occurrence négligeable (<1/10 000 ans) «Il est fort probable qu'un tel événement ne se produira jamais»	1	Aucun décès possible, peu ou pas de dommages aux biens (sauf à ceux du promoteur)	1-4
faible	2	Occurrence peu probable (entre 1/1000 et 1/10 000 ans) «Il est très peu probable qu'un tel événement se produise »	2	Aucun décès prévisible, dommages mineurs aux biens (sauf à ceux du promoteur)	5-8
moyen	3	Fréquence d'occurrence moyenne (entre 1/100 et 1/1000 ans) «Cela pourrait se produire »	3	Aucun décès prévisible, dommages moyens aux biens	9-14
élevé	4	Fréquence d'occurrence élevée (entre 1/10 et 1/100 ans) «Cela s'est déjà produit ou se produira probablement »	4	Certains décès possibles, dommages importants aux biens	15-19
extrêmement élevé	5	Fréquence d'occurrence très élevée (>1/10 an) «Cela se produit souvent »	5	Un grand nombre de décès possible, dommages extrêmes aux biens	20-25

Note:

La catégorie de classement « extrêmement faible » signifie une probabilité d'occurrence négligeable.
Les détails susmentionnés ont été adaptés à partir de Pelletier et Dushnisky (1993) et Davies (1998).

3.6.5.3 Mesures d'atténuation

Plusieurs mesures d'atténuation ont été proposées dans le rapport de référence (Knight Piesold, 2005a). La justification des choix et des critères de conception du site de la mine sont fondés sur les normes internationales relativement à la conception des barrages, des haldes de stériles et des pentes excavées. Ainsi, les risques pour le public et les ressources du milieu naturel en aval du site de la mine seront réduits à des niveaux acceptables reconnus.

Des mesures d'atténuation ont été proposées pour tous les scénarios de risques naturels possibles. Les mesures d'atténuation relatives aux bassins de rétention et de clarification ainsi qu'aux haldes de stériles et aux pentes excavées sont exposées dans le rapport de référence pour les trois principaux risques naturels, soit les risques sismiques, hydrologiques et géotechniques. Les mesures d'atténuation sont les suivantes:

- une surveillance et des inspections régulières des pentes
- des mesures d'entretien
- la revanche des digues
- un évacuateur
- des essais géotechniques sur les résidus miniers, remblais, mort-terrains de stériles et matériaux d'assises
- des analyses de la stabilité des pentes
- l'application des normes internationales quant aux niveaux de sécurité acceptables
- les mouvements du sol et les déformations du sol attribuables au séisme de projet
- l'installation et le suivi de l'instrumentation
- l'installation et la surveillance des structures de drainage
- une sélection prudente de la précipitation maximale probable (PMP) de l'averse de projet et des rafales de vent de projet (200 km/h)
- des études sur les inondations
- la conception en fonction des trajectoires des tempêtes

3.6.5.4 Résultats

Les résultats de l'évaluation des risques sont résumés à partir du rapport de référence (Knight Piesold, 2005b). Une rupture et les conséquences découlant

d'un événement sismique présentent un risque global extrêmement faible. Cette situation est largement attribuable au fait que l'île de Madagascar se trouve dans une zone de faible activité sismique. L'application de paramètres prudents pour les séismes de conception permettra de répondre aux préoccupations relatives aux séismes.

Le niveau de conséquences associées à une rupture de digue potentielle causée par des problèmes de nature géotechnique est également classé dans la catégorie « extrêmement faible », à l'exception d'un événement qui est classé dans la portion inférieure de la catégorie « faible ». Des études géotechniques approfondies seront réalisées afin de caractériser adéquatement les conditions permettant de réaliser une conception détaillée appropriée. Ainsi, la probabilité d'une rupture à grande échelle et d'un déversement massif d'eaux chargées de sédiments serait extrêmement faible.

La probabilité d'une rupture à petite échelle causant des dommages aux digues ou un déversement à petite échelle d'eaux chargées de sédiments est légèrement plus élevée en raison de la possibilité d'omission d'éléments géologiques de petite taille.

En ce qui concerne le risque de nature hydrologique, la moitié des modes de ruptures et des conséquences qui en découlent sont classées dans la catégorie « extrêmement faible » et l'autre moitié est classée dans la portion inférieure de la catégorie « faible ». Généralement, la probabilité d'occurrence d'un événement hydrologique est considérée supérieure à celle d'un événement géotechnique ou sismique. Cette situation est attribuable au fait que le site de la mine est situé dans une zone sujette aux cyclones violents. En outre, les régimes météorologiques ou de précipitation sont généralement moins bien compris que les conditions sismiques et géotechniques. Les fortes pluies qui entraînent des débits maximaux débordant les évacuateurs des bassins de clarification présentent le risque global le plus élevé (catégorie « faible »). Le potentiel de débordement et/ou d'ouverture de brèches dans les digues des bassins d'eau attribuable aux fortes précipitations est également considéré comme un risque faible.

3.6.5.5 Analyse des impacts

Impacts résiduels

Grâce à la mise en œuvre de mesures d'atténuation, les risques résiduels au cours de toutes les phases du projet sont classés dans les catégories « extrêmement faible » ou « faible » et sont conformes aux normes internationales permettant de

réduire au minimum les risques pour le public et les ressources du milieu naturel en aval.

Niveau de confiance des prévisions

L'estimation des risques présentés dans le rapport de référence (Knight Piesold, 2005b) tient compte de la variation des données et du niveau de confiance des prévisions comme le décrit la section 3.6.5.4. Toutefois, le classement des risques dépend également de l'efficacité des mesures d'atténuation proposées, y compris celles énoncées à la section 3.6.5.3. Dans l'ensemble, le niveau de confiance des prévisions pour cette évaluation est considéré moyen.

Surveillance

Les programmes de suivi sont résumés à la section 3.6.5.3 pour les pentes, l'instrumentation et les ouvrages de drainage.

3.6.5.6 Conclusions

Grâce à la mise en oeuvre de mesures d'atténuation, les risques accrus associés aux catastrophes naturelles que présente la mine pour le public et le milieu naturel sont considérés faibles et conformes aux normes internationales.

3.7 HYDROGEOLOGIE

3.7.1 Introduction

Cette section présente l'évaluation des impacts environnementaux des effets de la mine sur l'hydrogéologie, conformément aux Termes de référence du projet Ambatovy (le projet).

3.7.2 Secteur d'étude

Le secteur local d'étude de la mine est, en ce qui concerne l'hydrogéologie, le secteur compris dans le modèle numérique de GCS (Pty) Ltd., tel qu'illustré au dessin n° 3.1.3 de l'annexe 7.2 du volume I. Il s'agit d'un secteur de 100 km² centré sur les gisements d'Ambatovy et d'Analamay et comprend les réseaux hydrographiques qui alimentent les marais de Mokaranana et de Torotorofotsy.

3.7.3 Résumé de l'étude de référence

3.7.3.1 Introduction

Les conditions de référence dans le secteur de la mine ont été caractérisées en effectuant une étude hydrogéologique du site. Les détails sont présentés à l'annexe 7.1 du volume I.

3.7.3.2 Méthodologie

Groundwater Consulting Services (GCS) (Pty) Ltd. a reçu le mandat d'effectuer une étude hydrogéologique au site de la mine. Une première étude a été terminée en décembre 2004, durant la saison sèche et des essais supplémentaires sur les aquifères ont été complétés durant la saison des pluies (avril 2005).

Le but de l'étude était de caractériser l'environnement hydrogéologique et de prévoir l'influence potentielle des activités minières proposées sur le régime des eaux souterraines. L'étude hydrogéologique comprenait:

- le forage et l'installation de puits d'observation
- un relevé piézométrique (mesure des niveaux de l'eau souterraine dans les puits d'observation)
- des essais d'aquifère dans les puits d'observation
- l'analyse des données

3.7.3.3 Résultats

Selon les conditions hydrogéologiques et lithologiques relevées au cours de l'étude, quatre couches ont été déterminées. Ces couches sont:

Cuirasse ferralitique - Il s'agit d'une couche superficielle qui forme une croûte épaisse de quelques mètres (4 m en moyenne) sur le dessus du gisement. La cuirasse ferralitique est localisée et ne s'étend pas à travers tout le secteur d'étude.

Ferralite (latérite) - La couche ferralitique repose sous la cuirasse ferralitique; il s'agit d'une argile brun-rouge ayant une épaisseur moyenne de 40 m. La ferralite s'étend à travers tout le secteur d'étude et l'on considère qu'elle contient de grandes quantités d'eau souterraine. Toutefois, étant donné la faible perméabilité de la ferralite, l'aquifère est peu productif.

Saprolite - C'est la zone de transition entre la ferralite et le substrat géologique, là où le roc est déjà partiellement altéré mais non pas complètement altéré en la couche d'argile brun-rouge qui constitue la ferralite. L'altération se retrouve souvent le long des fractures et/ou des failles, ce qui donne à la couche une apparence irrégulière.

Substrat géologique - Cela comprend des roches primaires ultrabasiques telles que des péridotites et des gabbros qui sont recoupés par de nombreux dykes intrusifs; le substrat possède une porosité secondaire causée par les fractures, les joints et les failles.

Un modèle conceptuel d'écoulement de l'eau souterraine pour le secteur de la mine est montré sur le dessin no 3.1.4 de l'annexe 7.2 du volume I. La cuirasse ferralitique a généralement la transmissivité la plus élevée et donc 50 à 60 % de l'eau souterraine s'écoule à l'intérieur de cette cuirasse ferralitique et fait résurgence dans les eaux de surface sous forme de sources le long des bords du plateau. L'eau souterraine résiduelle qui s'infiltre verticalement à travers la cuirasse ferralitique dans la ferralite atteint éventuellement la nappe d'eau souterraine associée à la ferralite. L'eau souterraine migre vers le bas à travers la ferralite jusqu'à la zone de transition de la saprolite où elle voyage suivant un gradient quasi-horizontal pour faire résurgence dans les plans d'eau de surface.

Les gisements d'Ambatovy et d'Analamay sont situés sur un sommet topographique qui constitue une ligne de partage des eaux souterraines et de surface. Donc, l'eau souterraine dans la zone des fosses proposées devrait s'écouler de manière concentrique en s'éloignant des gisements. La relation entre

les niveaux d'eau souterraine observés durant le relevé piézométrique et la topographie est illustrée sur le dessin n° 3.1.2 de l'annexe 7.2 du volume I. La figure montre une tendance linéaire lorsque l'on compare l'élévation topographique et les niveaux d'eau statiques de chacun des aquifères. Tel qu'illustré, chaque aquifère possède une nappe d'eau distincte qui lui est associée. Une carte générale montrant les courbes de niveau de l'eau souterraine du secteur d'étude a été compilée et est présentée sur le dessin n° 3.1.3 de l'annexe 7.2 du volume I. La figure montre que la direction d'écoulement de l'eau souterraine dans le secteur concerné varie en raison de la nature montagneuse du site. En général, le niveau de l'eau souterraine est fonction de la topographie.

L'eau souterraine est dominée par les ions majeurs suivants: magnésium et bicarbonate. Elle est typique d'une eau souterraine qui a récemment été rechargée par les pluies. La faible conductivité électrique (CE) et le bas niveau de matières totales dissoutes (MTD) indiquent aussi que l'eau a récemment été rechargée. Les concentrations relativement élevées en magnésium, en bicarbonate et en silice indiquent l'interaction entre l'eau souterraine et le substrat géologique ultrabasique.

Un résumé des résultats d'échantillonnage de l'eau souterraine disponibles à ce jour est présenté au tableau 3.7-1. La validité de certains résultats a été mise en question, et des explications supplémentaires à ce sujet sont présentées au volume I, section 7.2, pièce jointe 2. Des études ont été menées afin d'évaluer la proportion de chrome total retrouvé sous la forme hexavalente; cependant, à cause des difficultés relatives à l'échantillonnage et aux méthodes analytiques, les résultats sont demeurés non concluants. Néanmoins, d'après les données de la qualité de l'eau souterraine, les concentrations en nickel et en chrome sont naturellement élevées, les niveaux mesurés dans l'eau souterraine dépassant les directives de l'OMS pour la qualité de l'eau de boisson (valeurs seuils de 0,05 mg et 0,2 mg/L pour le chrome et le nickel, respectivement).

La forte concentration en chrome peut être attribuée à la présence naturelle du chrome dans les lithologies ultramafiques sous-jacentes au site et aux sols saprolitiques et latéritiques altérés dérivés des roches ultramafiques. Le chrome se présente toutefois presque exclusivement dans son état trivalent (Cr^{3+}); l'occurrence du Cr^{6+} est normalement attribuée à des activités industrielles. Le Cr^{6+} se retrouve aussi de manière naturelle et, bien que le mécanisme par lequel il est présent ne soit pas bien compris (Gray, 2003), l'hypothèse dominante veut que les oxydes de manganèse dans le sol agissent comme agents oxydants pour transformer le Cr^{3+} en Cr^{6+} (McBride, 1994).

Tableau 3.7-1 Qualité de l’eau souterraine au site de la mine

Identification du forage		DAN245H					DAM126H				Korean Pit	AMB046H		AMB129H / AMB113H		DAN106H
Date de l'échantillonnage		31/7/2004	26/3/2005	26/3/2005	19/4/2005	19/4/2005	27/3/2005	27/3/2005	20/4/2005	20/4/2005	26/3/2005	21/4/2005	21/4/2005	21/4/2005	28/4/2005	27/4/2005
Laboratoire			Inspectorate M&L	Dynatec	Inspectorate M&L	JIRAMA	Inspectorate M&L	Dynatec	Inspectorate M&L	JIRAMA	Inspectorate M&L	Inspectorate M&L	JIRAMA	Inspectorate M&L	JIRAMA	JIRAMA
Commentaires			Duplicat, Cr(VI) échantillon acidifié	Duplicat, Cr(VI) échantillon acidifié	Duplicat	Duplicat, Cr(VI) échantillon non acidifié	Duplicat, Cr(VI) échantillon acidifié	Duplicat, Cr(VI) échantillon acidifié	Duplicat	Duplicat, Cr(VI) échantillon non acidifié		Duplicat	Duplicat, Cr(VI) échantillon non acidifié			
pH		7,8			7,8				6,4			5,3		6,6	6,34	6,39
EC	mS/m	15,8			13,6				6,02			3,36		11,0	7,05	12,97
MTD	mg/l	190			82				44			20		80		
dureté	mg/l CaCO ₃	57			56				23			8,4		43		
Ca	mg/l Ca	0,4			1,2	3,6			2,4			0,9	1,2	0,4	10,8	3,6
Mg	mg/l Mg	13,5			12,8	18,23			4,2			1,5	2,19	10,2	7,78	21,14
Na	mg/l Na	2,2			0,6	2,3			0,8			0,7	2,3	1,3	2,3	2,3
K	mg/l K	<0,1			<0,1				0,1			0,5		0,2		
alcalinité	mg/l CaCO ₃	56			52				16			8		32		
HCO ₃	mg/l HCO ₃	68			63	74,42			20			10	6,1	39	43,92	40,26
Cl	mg/l Cl	2,6			3,1	3,55			3,1			2,6	3,55	4,1	3,55	3,55
SO ₄	mg/l SO ₄	2,4			2,1	0,00			3,4			1,9	0,00	2,9	0,00	52,36
cations	meq/l	1,23			1,14	1,78			0,50			0,21	0,34	0,92	1,28	2,02
anions	meq/l	1,24			1,16	1,32			0,49			0,28	0,20	0,82	0,82	1,85
Ag	mg/l Ag	<0,004			<0,004				<0,004			<0,004		<0,004		
As	mg/l As	0,06			<0,02				<0,02			<0,02		<0,02		
Cr	mg/l Cr	0,13	0,32	0,286	0,10		0,19	0,098	0,29		<0,01	0,06		0,05		
Cr (VI)	mg/l Cr		0,22	0,183		0,08	0,06	0,098		0,22	<0,01		0,06		0,014	0,065
Cu	mg/l Cu	<0,002			<0,002				0,002			<0,002		<0,002		
Fe	mg/l Fe	0,08			0,12				0,17			0,06		0,74	10	0,3
Hg	mg/l Hg	<0,001			<0,001				<0,001			<0,001		<0,001		
Mn	mg/l Mn	0,005			<0,001				0,02			0,10		0,22	0,00	0,76
Ni	mg/l Ni		0,05		0,07		0,12		0,32		<0,003	0,10		0,74		
Se	mg/l Se	0,02			<0,03				<0,03			<0,03		<0,03		
Si	mg/l Si	19,3			15,6				6,89			1,0		13,9		
Zn	mg/l Zn	<0,005			0,18				0,16			0,02		0,15		
NO ₃	mg/l NO ₃				0,7	0,00			0,3			4,4	0,48	2,8	0,04	0,03
NO ₃	mg/l N	0,6			0,2				<0,1			1,0		0,6		
NO ₂	mg/l NO ₂	<0,1			<0,1				<0,1			<0,1		<0,1		
B	mg/l B	0,03			<0,006				<0,006			<0,006		<0,006		
F	mg/l F	<0,1			<0,1				0,2			<0,1		<0,1		
PO ₄	mg/l P	0,6			<0,1				0,1			0,2		1,5		

Les concentrations de nickel dans l'eau souterraine semblent dépasser la directive provisoire de l'OMS pour la qualité de l'eau de boisson. Les concentrations varient de 0,05 à 0,74 mg/L par rapport à la directive provisoire de l'OMS qui est de 0,02 mg/L. L'exception est l'échantillon « Korean Pit » où la concentration de nickel était <0,003 mg/L, soit une valeur inférieure à la directive provisoire de l'OMS.

La directive de l'OMS pour le nickel est provisoire en raison du manque d'informations concernant ses effets sur la santé. La concentration maximale recommandée par l'USEPA pour l'eau potable est de 0,1 mg/L et une concentration maximale est en voie d'être établie dans les Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (section sur la qualité de l'eau, section 3.9 de ce volume).

3.7.4 Portée des enjeux

Les principaux enjeux potentiels, en ce qui concerne l'hydrogéologie, sont:

- les changements au réseau des eaux souterraines (débit et qualité) causés par l'assèchement des fosses à ciel ouvert durant l'exploitation
- les effets que les changements au réseau des eaux souterraines pourraient avoir à long terme sur les personnes ou l'environnement

Selon le degré de correction des pentes du terrain au moment de la remise en état, les changements locaux à la topographie pourraient avoir des implications pour l'hydrogéologie.

Les questions clés relatives à l'hydrogéologie dans les environs de la mine sont:

Question clé HG-1	Quel effet la mine aura-t-elle sur l'écoulement et la qualité de l'eau souterraine au site de la mine?
Question clé HG-2	Quel effet la mine aura-t-elle sur l'écoulement et la qualité de l'eau souterraine des secteurs avoisinants, en particulier le marais de Torotorofotsy?

3.7.5 Evaluation des impacts

Les activités du projet durant la construction, les opérations et après la fermeture du site auront les effets suivants: i) assèchement localisé des aquifères à

proximité du site de la mine; ii) changements de la qualité de l'eau souterraine; iii) effets subséquents sur l'hydrologie du marais de Torotorofotsy.

Durant la construction, il y aura peu d'impact sur l'eau souterraine car les perturbations du paysage impliquent surtout le défrichement du site et l'aménagement des infrastructures. Des bassins de rétention des eaux de ruissellement seront aménagés pour la mine. Les caractéristiques du ruissellement de surface et les conditions de drainage naturelles pourraient être affectées, ce qui aurait une influence très minime sur l'eau souterraine.

Au cours des opérations, l'eau souterraine sera extraite des secteurs d'exploitation actifs et sera collectée dans des bassins de rétention et de clarification avant d'être rejetée dans l'environnement récepteur. Il y aura une faible réduction des apports d'eau souterraine au débit des eaux de surface, soit une réduction de 6,6 % et de 8,3 % du débit des rivières touchées, pour les saisons des pluies et les saisons sèches respectivement. Finalement cela se traduira par une faible réduction de la contribution de l'eau souterraine à la quantité totale de ruissellement vers les marais de Mokaranana et de Torotorofotsy. La réduction des apports en eau souterraine sera compensée par les accroissements du ruissellement en provenance du site de la mine.

L'eau souterraine extraite sera pompée vers les bassins de rétention des eaux de ruissellement de la mine. Un suivi régulier sera effectué à la sortie de chacun des bassins et une partie de l'eau sera pompée des bassins et recyclée à l'usine de préparation du minerai afin d'assurer que les concentrations de chrome et de nickel dans l'eau rejetée de chacun des bassins soient inférieures aux directives provisoires de l'OMS pour la qualité de l'eau de boisson. L'eau acheminée vers l'usine de préparation du minerai sera grandement diluée par l'eau de procédé tirée de la rivière Mangoro. Une discussion plus détaillée sur la qualité de l'eau est fournie à la section 3.9 du volume B.

Les concentrations élevées de chrome VI et de nickel dans l'eau souterraine résultent de conditions naturelles et, bien que l'assèchement de la fosse au cours de l'exploitation affecte quelque peu l'eau souterraine à l'aval hydraulique de la mine, aucun changement à la qualité de l'eau souterraine n'est envisagé.

Le scénario de fermeture de la mine implique l'arrêt de tout assèchement de la mine et le rétablissement progressif des aquifères. Les pentes des secteurs exploités seront corrigées et le secteur revégétalisé, selon ce qui sera nécessaire. Des brèches seront pratiquées dans les digues des bassins et le ruissellement retournera aux cours d'eau récepteurs naturels. Les volumes de ruissellement

pourraient demeurer plus élevés que sous les conditions naturelles en raison des changements à la végétation et à l'infiltration.

3.7.5.1 Méthodes d'évaluation

Groundwater Consulting Services (GCS) (Pty) Ltd. a effectué de la modélisation numérique pour prévoir les impacts des activités minières prévues sur le comportement des eaux souterraines, ainsi que sur le rétablissement des niveaux piézométriques suivant la fermeture de la mine.

Le modèle numérique a été utilisé pour prévoir l'influence des activités minières sur l'eau souterraine. Les paramètres hydrogéologiques ont été compilés à partir des études du site et utilisés pour l'élaboration d'un modèle de prévision des impacts de la mise en exploitation de la mine proposée. Cela comprenait l'incorporation, dans le modèle, des mesures de niveaux piézométriques et de transmissivité obtenus lors des essais d'aquifère. La calibration du modèle (corrélation des niveaux piézométriques calculés aux niveaux piézométriques observés) s'est avérée difficile. Au cours de la calibration, on a fait varier les paramètres de l'aquifère, tels que la transmissivité et le taux de recharge à l'intérieur d'une plage de valeurs réalistes afin d'obtenir la meilleure corrélation possible entre les niveaux piézométriques calculés et observés.

3.7.5.2 Critères d'évaluation des impacts

Les critères d'évaluation utilisés pour l'évaluation des impacts relatifs à l'hydrogéologie sont présentés au tableau 3.7-2.

Tableau 3.7-2 Critères et notes d'évaluation des impacts relatifs à l'hydrogéologie

Ressource	Orientation ^(a)	Intensité ^(b)	Portée géographique ^(c)	Durée ^(d)	Réversibilité ^(e)	Fréquence ^(f)
hydrogéologie du site de la mine	positive, négative ou neutre pour paramètres mesurés	négligeable: <5 % de changement faible: 5 à 10 % de changement moyenne: 10 à 30 % de changement forte: >30% de changement	locale: effet restreint au secteur local d'étude régionale: effet s'étendant au-delà du secteur local et dans le secteur régional d'étude supra-régional: effet s'étendant au-delà du secteur régional d'étude	court terme: <3 ans moyen terme: 3 à 30 ans long terme: >30 ans	réversible ou irréversible	basse: se produit une fois moyenne: se produit par intermittence (1 à 10 fois par année) élevée: se produit fréquemment (>10 fois par année)

^(a) Orientation: effet positif ou négatif pour les paramètres de mesure, tels que définis pour la composante spécifique.

^(b) Intensité: degré de changement du paramètre d'analyse.

^(c) Portée géographique: secteur touché par l'impact.

^(d) Durée: période de temps durant laquelle l'effet environnemental aura lieu en se basant sur une période de construction de trois ans et une période d'exploitation de 27 ans.

^(e) Réversibilité: l'effet sur la ressource (ou la capacité de la ressource) peut ou ne peut pas être renversé.

^(f) Fréquence: nombre de fois

3.7.5.3 Mesures d'atténuation

La conception du projet comporte la mise en production par phases des fosses à ciel ouvert. Cette approche exige un assèchement localisé aux secteurs de travail actifs par phases plutôt que l'assèchement permanent d'un grand secteur. Cela minimise la quantité ou le taux de prélèvement d'eau souterraine emmagasinée dans l'aquifère et facilitera le rétablissement des niveaux piézométriques à la fermeture.

Au moment de la fermeture, les secteurs perturbés seront réhabilités en leur redonnant une végétation et une topographie naturelles, ce qui permettra de rétablir les conditions naturelles de ruissellement et assurera que les superficies drainées de chaque sous-bassin versant se rapprochent des conditions antérieures à l'aménagement du site.

3.7.5.4 Résultats pour la question clé HG-1: Quel effet la mine aura-t-elle sur l'écoulement et la qualité de l'eau souterraine au site de la mine?

L'assèchement durant l'exploitation créera un cône de rabattement qui s'étendra à une distance maximale de 800 m du secteur exploité. La cuirasse ferrallitique sera temporairement asséchée à proximité des activités minières entre les pluies et durant la saison sèche; cependant, étant donné la transmissivité élevée de cette couche, elle sera rechargée rapidement par les pluies et elle fournira donc un débit entrant d'infiltration presque continu dans le secteur de la mine.

Le rabattement maximal dans l'aquifère de la ferrallite devrait être d'environ 30 m. La superficie du cône de rabattement à la fin de la période d'exploitation est illustrée au dessin 3.3.6 de l'annexe 7.2 du volume I.

L'exploitation active dans les fosses à ciel ouvert sera terminée à l'année 20 de l'exploitation de la mine, après quoi l'emphase sera mise sur le traitement du minerai à basse teneur des piles de stockage. Le prélèvement de l'eau souterraine cessera et les niveaux piézométriques régionaux se rétabliront avec le temps.

La cuirasse ferrallitique constituant l'aquifère supérieur n'a que 4 m d'épaisseur et possède une conductivité hydraulique élevée. En raison de cela, il devrait retrouver son état antérieur à l'exploitation 5 à 20 ans après la fermeture, selon l'endroit. L'aquifère de la ferrallite sous-jacente récupérera lentement en raison de la faible transmissivité du matériau. Les niveaux piézométriques devraient retourner aux niveaux antérieurs à l'exploitation 5 à 75 ans après la fermeture, selon l'endroit. Les courbes de récupération des puits d'observation dans la

cuirasse ferralitique et dans la ferralite sont illustrées sur le dessin 3.3.9 de l'annexe 7.2 du volume I.

Tel que discuté à la section 3.7.5, l'eau souterraine au site de la mine contient, naturellement, des concentrations élevées de Cr et de Ni qui sont supérieures aux directives provisoires de l'OMS pour la qualité de l'eau de boisson. L'eau souterraine extraite des fosses à ciel ouvert sera pompée dans des bassins de rétention de la mine. La qualité de l'eau de surface est discutée à la section 3.9 du volume B.

Le prélèvement de l'eau souterraine et les autres opérations minières ne devraient pas avoir d'effets nuisibles sur la qualité de l'eau souterraine, bien qu'il existe toujours une possibilité de rejets ou de déversements accidentels qui auraient un impact négatif sur l'eau souterraine selon le type de matériau, la quantité, la durée, et l'endroit du rejet ou du déversement et les conditions atmosphériques. Des mesures d'atténuation ont été identifiées afin de réduire et de minimiser l'effet de ces événements (voir la section 3.9.5.4). De plus, des systèmes de gestion environnementale seront élaborés et implantés afin de minimiser les occurrences potentielles de tels événements, caractériser les changements à la qualité de l'eau et des sédiments et réduire les effets probables, si de tels événements se produisaient.

3.7.5.5 Résultats pour la question clé HG-2: Quel effet la mine aura-t-elle sur l'écoulement et la qualité de l'eau souterraine des secteurs avoisinants, en particulier le marais de Torotorofotsy?

L'assèchement de la mine influencera le volume d'eau s'écoulant dans les systèmes de marais de Torotorofotsy et de Mokaranana. Le système de marais Mokaranana est relié au système de Torotorofotsy et tout ce qui influence Mokaranana influencera aussi Torotorofotsy. Les contributions de l'eau souterraine aux débits de base des bassins versants affectés en amont qui alimentent Mokaranana ou Torotorofotsy seront réduites d'environ 7 %. Les portions affectées des bassins versants, ou aires d'influence, sont montrées sur le dessin 3.3.7 de GCS dans l'annexe 7.2 du volume I. La qualité des apports en eau souterraine aux bassins versants des rivières ne sera pas affectée par les opérations minières.

En se basant sur cette réduction du débit de base et sur les débits des cours d'eau mesurés dans les marais de Torotorofotsy et de Mokaranana, la réduction du débit entrant dans les systèmes de marais en provenance des rivières affectées a été calculée et est présentée au tableau 3.7-3.

Tableau 3.7-3 Réduction du débit entrant des cours d'eau dans les systèmes de marais en raison de la diminution de la contribution de l'écoulement souterrain au débit de base

	Saison sèche		Saison des pluies		Moyenne	
	observée (10 avril 2004 au 14 déc. 2004)	calculée tenant compte de l'influence de l'exploitation minière	observée (15 déc. 2004 au 23 fév. 2004)	calculée tenant compte de l'influence de l'exploitation minière	observée (10 avril 2004 au 23 fév. 2005)	calculée tenant compte de l'influence de l'exploitation minière
Secteur Mokaranana (QESF-101)	0,012 m ³ /sec	0,011 m ³ /sec	0,225 m ³ /sec	0,209 m ³ /sec	0,015 m ³ /sec	0,014 m ³ /sec
Secteur Torotorofotsy (QESF-103)	0,13 m ³ /sec	0,12 m ³ /sec	0,303 m ³ /sec	0,282 m ³ /sec	0,155 m ³ /sec	0,144 m ³ /sec

Bien que la réduction de la contribution de l'écoulement souterrain au débit de base des eaux de surface en aval de la mine puisse atteindre de 6,6 % à 8,3 % (7 % selon les débits moyens), l'eau souterraine extraite lors de l'assèchement de la mine durant les opérations sera acheminée aux bassins de rétention de l'eau de ruissellement et contribuera éventuellement aux eaux de drainage de surface. De plus, le ruissellement provenant de la mine devrait être plus élevé que sous les conditions de référence en raison des perturbations au terrain associées à l'aménagement de la mine. L'hydrologie du site de la mine est décrite à la section suivante (section 3.8, volume B). La faible réduction des débits d'eau souterraine entrant dans le marais sera atténuée par une augmentation du ruissellement durant l'exploitation minière.

3.7.6 Analyse des impacts

3.7.6.1 Impacts résiduels

Durant la construction, les impacts sur les ressources en eau souterraine seront négligeables car l'influence sur l'eau souterraine sera limitée à l'excavation des bassins de rétention d'eau de la mine, ce qui pourrait accroître légèrement l'infiltration vers l'eau souterraine.

Au cours des opérations, l'extraction d'eau souterraine des secteurs actifs de la mine asséchera temporairement les aquifères souterrains. L'extraction d'eau réduira aussi l'apport des eaux souterraines à la partie haute des bassins versants des rivières affectées qui alimentent les marais de Mokaranana et de Torotorofotsy, réduction qui pourra atteindre 7 %. La réduction des apports au débit de base (faible impact) sera atténuée par un ruissellement accru du secteur

de la mine. L'accroissement des débits de surface dans la rivière Torotorofotsy à l'entrée des marais sera inférieur à 4 % durant les opérations et d'environ 2 % sous les conditions post-fermeture (section 3.8 du volume B).

Les aquifères se rétabliront à l'année 20 d'exploitation de la mine lorsque l'extraction active des fosses à ciel ouvert cessera. Le temps estimé pour le rétablissement complet des niveaux piézométriques à l'état antérieur à l'exploitation est, selon l'endroit, de 5 à 20 ans pour l'aquifère de la cuirasse ferrallitique et de 5 à 75 ans pour l'aquifère de la ferralite. Les vestiges des fosses à ciel ouvert et l'effet du retrait de matériaux durant l'exploitation laisseront un paysage modifié qui aura une influence permanente relative sur le régime des eaux souterraines. Le degré de réduction des contributions de l'eau souterraine aux débits de base s'atténuera des maximums de 6,6 % à 8,3 % à mesure que les aquifères récupèrent; l'influence à long terme sur l'écoulement des eaux souterraines sera moindre que durant les opérations.

Les impacts résiduels sont présentés au tableau 3.7-4. Les impacts résiduels sur l'écoulement et la qualité de l'eau souterraine au site de la mine présentent un niveau de négligeable à faible de conséquence sur l'environnement. Durant les opérations, les impacts des changements dans les contributions des eaux souterraines aux marais de Mokaranana et de Torotorofotsy seront d'intensité faible, de durée moyenne et de fréquence élevée; ceci se traduit par un niveau moyen de conséquence global sur l'environnement.

Tableau 3.7-4 Classification des impacts résiduels sur l'hydrogéologie

Phase	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
Enjeu: changements dans l'écoulement et la qualité de l'eau souterraine au site de la mine							
construction	neutre	négligeable	locale	court terme	réversible	faible	négligeable
exploitation	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
fermeture	neutre	négligeable	locale	long terme	réversible	élevée	négligeable
Enjeu: impacts des changements dans l'écoulement et la qualité de l'eau souterraine sur les marais de Mokaranana et de Torotorofotsy							
construction	neutre	négligeable	régionale	court terme	réversible	faible	négligeable
exploitation	négative	faible	régionale	moyen terme	réversible	élevée	moyenne
fermeture	neutre	négligeable	régionale	long terme	réversible	élevée	négligeable

3.7.6.2 Niveau de confiance des prévisions

Le relevé piézométrique a montré une différenciation entre les aquifères; une relation linéaire a par ailleurs été établie entre les élévations topographiques et les niveaux statiques des nappes phréatiques. De plus, les transmissivités calculées pour les unités de ferrallite et de saprolite concordent avec les résultats des investigations de 1998-1999. Il a toutefois été difficile, lors de la calibration du modèle, de corrélérer les niveaux piézométriques calculés au moyen du modèle numérique et les niveaux observés. Ainsi, les paramètres des aquifères (transmissivité et pourcentage de recharge) du modèle numérique ont été ajustés à l'intérieur de valeurs réalistes afin d'obtenir la meilleure corrélation possible entre les niveaux piézométriques calculés et observés. L'étendue et le niveau de rabattement attendu de l'eau souterraine sont basés sur une valeur de transmissivité inférieure utilisée pour ajuster le modèle numérique. Une valeur calculée supérieure donnerait une plus grande zone d'influence. Le niveau de confiance des prévisions est considéré moyen pour le modèle d'écoulement de l'eau souterraine et pour l'effet de l'assèchement de la mine sur les apports en eau souterraine aux débits de base des eaux de surface et ultimement aux secteurs des marais.

En général, les analyses de qualité de l'eau souterraine complétées à ce jour montrent des tendances cohérentes entre les points d'échantillonnage. Cependant, selon l'évaluation de l'équilibre cationique et d'autres paramètres conventionnels de la qualité de l'eau, certains résultats analytiques ne sont pas considérés comme étant non-biaisés (GCS 2005, Juillet 2005, volume I, annexe 7.1). Une certaine incertitude demeure quant à savoir si le chrome mesuré dans l'eau souterraine est présent sous forme de chrome hexavalent (Cr^{6+}), en raison de la difficulté inhérente de livrer un échantillon d'eau souterraine non stabilisé au laboratoire pour l'analyse de ce paramètre, tel que requis dans les normes analytiques. Néanmoins, l'évaluation de la qualité de l'eau ainsi que les mesures d'atténuation planifiée pour le projet supposent, de manière prudente, que tout le chrome présent est sous sa forme hexavalente, la plus toxique. Le niveau de confiance des prévisions attribué aux résultats d'analyses de la qualité de l'eau souterraine est considéré moyen.

3.7.6.3 Surveillance

Le suivi des niveaux piézométriques et des paramètres clés de l'eau souterraine dans les puits se poursuivra à travers toutes les phases du projet. De plus, les débits des rivières en aval et les niveaux d'eau dans tous les bassins seront surveillés dans le cadre du programme de surveillance hydrologique décrit à la section 3.8 du volume B.

3.7.7 Conclusions

Les impacts sur les ressources en eau souterraine dans le secteur de la mine seront d'une grande intensité mais en définitive auront un faible niveau de conséquence sur l'environnement. Les effets sur les secteurs environnants seront de faible intensité et en définitive auront un niveau faible de conséquence sur l'environnement.

3.8 HYDROLOGIE

3.8.1 Introduction

L'aménagement de la mine impliquera divers degrés de perturbation du sol, tel que le défrichage, l'excavation et le compactage. La mine entraînera également la construction de routes, d'établissements, d'aires de stationnement et de stockage, de terrils et d'autres installations. Ces perturbations seront à l'origine de l'augmentation des débits et des volumes de ruissellement dans le secteur jusqu'à ce que les opérations de réhabilitation et de revégétalisation soient terminées. Les eaux de ruissellement provenant de l'aménagement seront collectées dans des bassins de rétention et de clarification avant d'être rejetées dans l'environnement.

Des données régionales sur le climat et l'hydrologie ont été compilées afin de caractériser les conditions de référence dans le secteur de la mine (volume I, annexe 8.1). Les données de référence disponibles, utilisées dans les sections suivantes, servent à évaluer les impacts potentiels du projet Ambatovy (le projet) sur l'écoulement des cours d'eau et les apports solides.

3.8.2 Secteur d'étude

La mine est située le long d'une ligne de partage des eaux, à l'amont de six bassins versants principaux. Le secteur local d'étude sur l'hydrologie comprend la mine, le marais de Torotorofotsy et les zones tampons toutes autour. Comme l'illustre la figure 7.2-1, section 7, volume A, le secteur local d'étude comprend également le site de la prise d'eau sur la rivière Mangoro.

3.8.3 Résumé de l'étude de référence

3.8.3.1 Introduction

Les conditions de référence au site de la mine ont été caractérisées par l'analyse des données climatiques et hydrologiques disponibles (écoulement). L'étude de référence sur le climat et l'hydrologie est résumée dans les sections suivantes. Des précisions figurent dans le volume I, annexe 8.1.

3.8.3.2 Méthodologie

L'information sur le climat de Madagascar a été principalement obtenue de Chaperon et al. (1993). Des renseignements sur le climat ont également été recueillis auprès de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), des

stations pluviométriques des gares ferroviaires régionales et du Ministère des travaux publics et des transports de Madagascar, Direction de la météorologie.

Les données sur l'écoulement spécifiques au site ont été recueillies au cours de la période de mars 2004 à mars 2005 à 12 emplacements dans le secteur de la mine, y compris trois stations le long de la rivière Mangoro. Des mesures de débits et de niveaux d'eau ont été prises mensuellement par une équipe de techniciens de manière à établir une courbe hauteur-débit pour chaque emplacement. Les niveaux d'eau ont été enregistrés quotidiennement par les assistants locaux et utilisés pour établir une série temporelle de l'écoulement à chaque station. Les niveaux d'eau journaliers continuent d'être enregistrés à ces emplacements.

3.8.3.3 Résultats

Les données climatiques à long terme sont disponibles près du site de la mine à Moramanga et à Andasibe (Perinet), alors que les données à court terme sont disponibles pour le site de la mine. Les précipitations mensuelles et annuelles déterminées pour la mine sont décrites au tableau 3.8-1. Les précipitations annuelles moyennes à la mine sont estimées à 1 700 mm. Pour des conditions cinquantennales, les données historiques indiquent respectivement des précipitations annuelles inférieures à la moyenne en conditions sèches (40 %) et supérieures à la moyenne (50 %) en conditions humides. Les précipitations journalières maximales pour diverses périodes de retour sont indiquées au tableau 3.8-2. Les hauteurs de précipitations journalières maximales au site de la mine, fondées sur les données d'Andasibe (Perinet), reflètent des conditions de précipitations plus élevées à la mine qu'à Moramanga. Les hauteurs de pluie maximales en 24 heures (tableaux 3.8-3) ont été estimées en appliquant un facteur de 1,08 aux valeurs journalières maximales. Ce facteur a été dérivé des données à court terme disponibles pour le site de la mine.

Tableau 3.8-1 Précipitations mensuelles et annuelles (mm) estimées pour le site de la mine

Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Annuelle
139	275	338	273	226	84	53	57	86	80	36	56	1 700

Tableau 3.8-2 Précipitations journalières maximales

Précipitations journalières maximales (mm) pour diverses périodes de retour ^(a)					
2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
113	168	214	266	346	419

^(a) Données de précipitations d'Andasibe (Perinet) 1963-1973.

Tableau 3.8-3 Hauteur maximale de pluie en 24 heures

Précipitations maximales en 24 heures (mm) pour diverses périodes de retour ^(a)					
2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
122	181	231	287	374	453

^(a) Un facteur de 1,08 a été appliqué aux précipitations journalières maximales à Andasibe (Perinet) afin d'obtenir les valeurs maximales en 24 heures.

L'évapotranspiration réelle (ET) au site de la mine est estimée à 750 mm par année. Les taux d'évapotranspiration dans le marais de Torotorofotsy devraient être plus proches de l'ET potentielle à cause de la disponibilité constante d'eau. Ils sont estimés à 900 mm/année. D'après les données obtenues au cours de la période de suivi 2004-2005, le ruissellement annuel, observé à la fois pour la mine, Torotorofotsy et Mangoro, est de l'ordre de 500 à 800 mm.

Les débits mensuels et annuels moyens de la rivière Mangoro sont donnés au tableau 3.8-4. Les débits journaliers maximaux et minimaux sont quant à eux répertoriés dans le tableau 3.8-5.

Tableau 3.8-4 Rivière Mangoro – Débits mensuels et annuels moyens

Rivière	Superficie drainée (km ²)	Période d'observation	Débit mensuel moyen (m ³ /s)												Annuel
			Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Sep	Oct	
Mangoro à Mangoro Gare	3 600	1956-1997 ^(a)	52,4	111	165	179	177	109	68	56,6	49,8	42,5	34,2	22,5	88,9

^(a) Ministère des travaux publics et des transports de Madagascar, Direction de la météorologie 2005 (données de 1979 à 1997).

Note: Les chiffres ont été arrondis aux fins de présentation.

Tableau 3.8-5 Rivière Mangoro – Débits journaliers extrêmes

Rivière	Superficie drainée (km ²)	Période d'observation	Débit journalier minimal, Qmin (m ³ /s)			Débit journalier maximal, Qmax (m ³ /s)		
			10 ans	5 ans	2 ans	2 ans	5 ans	10 ans
Mangoro à Mangoro Gare	3 600	1956-1979	20,2	21,3	23,3	440	810	1 210 ^(a)

Source: Chaperon et al. 1993.

^(a) Valeurs extrapolées.

3.8.4 Portée des enjeux

Les enjeux du projet en matière d'hydrologie ont été identifiés lors de consultations avec des parties prenantes et par l'examen des études d'impact environnemental antérieures concernant l'exploitation des ressources à

Madagascar et ailleurs. Comme le décrit le volume A, les enjeux ont été identifiés, compilés et résumés de façon très détaillée aux fins de l'étude d'impact. Les enjeux en matière d'hydrologie sont les suivants:

- les changements dans les débits, les niveaux d'eau et les charges solides qui pourraient altérer la morphologie des chenaux et les concentrations en matières solides
- les changements dans la disponibilité de l'eau pour divers usages (consommation humaine et animale, irrigation et habitat aquatique, y compris le marais de Torotorofotsy)

Les indicateurs clés de changements attribuables au projet sont les débits, les niveaux d'eau, les concentrations en matières solides et la morphologie des chenaux. Ces changements peuvent également avoir une incidence sur la qualité de l'eau, la santé des poissons, la végétation (marais) et les composantes socio-économiques du projet.

Voici les questions clés relatives à l'hydrologie dans le secteur de la mine:

Question clé H-1	Quel effet la mine aura-t-elle sur les débits et les niveaux d'eau des plans d'eau?
Question clé H-2	Quel effet la mine aura-t-elle sur les niveaux de sédiments des plans d'eau?
Question clé H-3	Quel effet la mine aura-t-elle sur l'hydrologie et la charge solide du marais de Torotorofotsy?

Les liens entre les activités du projet, les changements environnementaux, les questions clés, et les résultats de l'évaluation figurent dans le volume H, annexe 9.

3.8.5 Evaluation des impacts

3.8.5.1 Evaluation des liens d'impact

Les activités du projet menées pendant la période de construction, d'exploitation et de fermeture peuvent entraîner les effets suivants:

- des changements dans les débits et les niveaux d'eau des plans d'eau récepteurs
- des changements dans les concentrations en matières solides

- des effets subséquents sur l'hydrologie et la charge solide du marais de Torotorofotsy

Pendant la période de construction, le défrichement du site et l'aménagement des infrastructures entraîneront une perturbation du milieu naturel. Les caractéristiques du ruissellement et la configuration du drainage naturel seront affectés. La perturbation du milieu naturel, ainsi que le risque d'érosion du sol, peuvent accroître les apports de matières solides en suspension et leur transport vers les plans d'eau récepteurs.

Au cours de l'exploitation, les eaux de ruissellement en provenance du secteur de la mine seront recueillies dans des bassins de rétention et de clarification avant d'être rejetées dans l'environnement récepteur. Les bassins serviront de bassins de décantation afin de limiter le rejet et le transport des matières solides en suspension dans les tronçons en aval. Une augmentation du ruissellement et une diminution du débit de l'eau souterraine pourraient entraîner une augmentation ou une diminution des débits aux secteurs en aval selon la saison.

Les changements dans les débits et les niveaux d'eau, parallèlement aux changements des apports solides, pourraient aussi affecter le marais de Torotorofotsy, ainsi que la morphologie des chenaux en aval, étant donné que ceux-ci tentent de parvenir à des nouvelles conditions d'équilibre.

Le plan de fermeture comprend l'ouverture des digues du réservoir afin de permettre aux eaux de ruissellement de s'écouler dans les cours d'eau récepteurs sans être retenues pour la décantation. Les volumes de ruissellement peuvent être supérieurs à ceux observés dans les conditions naturelles en raison des changements apportés à la végétation et à l'infiltration.

Les changements dans les débits, les niveaux d'eau et les concentrations en matières solides des plans d'eau récepteurs peuvent également affectés la qualité de l'eau, les poissons et les ressources aquatiques, les composantes socio-économiques et l'occupation du sol. Les utilisateurs d'eau sont décrits dans les rapports de référence sur les aspects socio-économiques et l'occupation du sol (volume K, annexes 1.1 et 3.1) et les impacts des changements hydrologiques sur les utilisateurs d'eau sont décrits dans les rapports de l'EIE sur les aspects socio-économiques et l'occupation du sol (sections 5.1 et 5.3, volume B).

3.8.5.2 Méthodes d'évaluation

Les changements des débits au niveau des exutoires des bassins de rétention ont été évalués en fonction des changements prévus sur la superficie drainée du

bassin versant, le type de terrain et les caractéristiques connexes du ruissellement. Les débits de référence et les débits enregistrés pendant l'exploitation et après la fermeture ont été obtenus à l'aide d'un modèle hydrologique simple qui incorpore les précipitations mensuelles et les différents coefficients de ruissellement pour différents types de sol. Les coefficients de ruissellement appliqués rendent compte des pertes brutes en eau attribuables à l'évaporation, à l'infiltration et au stockage local. Les coefficients de ruissellement de référence sont fondés sur les données d'observation de 2004-2005, alors que les coefficients pour la phase d'exploitation reposent sur le jugement professionnel et l'expérience acquise avec des types de terrain et des aménagements similaires.

Les hypothèses posées pour la modélisation hydrologique sont fondées sur la conception actuelle du projet. L'équipe environnementale a travaillé en étroite collaboration avec l'équipe d'ingénierie afin de développer des hypothèses raisonnables suffisamment détaillées, de façon à permettre la simulation mensuelle du bilan hydrique. Certains aspects de l'ingénierie, et donc des hypothèses précises, peuvent évoluer comme tout résultat d'études techniques détaillées. Toutefois, les mesures d'atténuation veilleront à ce que tout impact sur les débits, les niveaux d'eau et les concentrations en matières solides respectent les niveaux présentés dans cette étude. Des précisions sur les hypothèses et les données d'entrée du modèle figurent dans le volume I, annexe 8-2.

Les changements dans les écoulements plus loin en aval des bassins de rétention ont également fait l'objet d'une évaluation. Ils ont été estimés en fonction des débits sortants prévus pour le bassin et du débit supplémentaire de l'affluent qui coule vers le chenal en aval des bassins.

Les changements dans les hauteurs d'eau, les zones d'écoulement et les vitesses d'écoulement ont été estimés aux stations de suivi hydrométrique en fonction des changements dans les débits à ces stations et des renseignements disponibles sur les coupes transversales des chenaux. Les niveaux d'eau pour divers débits ont été calculés à l'aide des courbes hauteur-débit disponibles, puis ont été traduits en hauteur d'eau et en section d'écoulement. Les vitesses d'écoulement moyennes ont été calculées d'après les débits, les sections d'écoulement calculées et les largeurs mesurées des cours d'eau.

Les changements dans les taux de sédiments ont été évalués qualitativement en fonction des changements prévus des superficies drainées et des débits des cours d'eau.

3.8.5.3 Critères de description des impacts

Les critères d'évaluation utilisés pour l'hydrologie sont présentés au tableau 3.8-6.

Tableau 3.8-6 Critères de description des impacts et notes pour le projet Ambatovy - hydrologie

Ressource	Orientation ^(a)	Intensité ^(b)	Portée géographique ^(c)	Durée ^(d)	Réversibilité ^(e)	Fréquence ^(f)
Hydrologie	Effet positif, négatif ou neutre au niveau des résultats aux points de mesure	négligeable: changement < 5% faible: changement de 5 à 10% moyenne: changement de 10 à 30% forte: changement > 30%	locale: effet restreint au secteur local d'étude régionale: effet s'étendant au-delà du secteur local d'étude supra-régionale: effet s'étendant au-delà du secteur régional d'étude	à court terme: <3 ans à moyen terme: de 3 à 30 ans à long terme: >30 ans	réversible ou irréversible	faible: se produit une fois moyenne: se produit par intermittence (1 à 10 fois par année) élevée: se produit en continu (>10 fois par année)

- (a) Orientation: effet positif ou négatif au niveau des résultats aux points de mesure, selon la définition qui en est donnée pour la composante correspondant.
- (b) Intensité: degré de changement au niveau des points de mesure.
- (c) Portée géographique: secteur touché par l'impact.
- (d) Durée: période de temps au cours de laquelle l'impact environnemental se fait sentir. Il faut prévoir une période de construction de 3 ans et une période d'exploitation de 27 ans.
- (e) Réversibilité: l'effet sur la ressource (ou la capacité de la ressource) peut être ou non réversible.
- (f) Fréquence: nombre de fois où l'impact environnemental se produit.

3.8.5.4 Mesures d'atténuation

Afin de réduire les impacts sur les débits, les niveaux d'eau et les concentrations en matières solides, le projet Ambatovy mettra en œuvre les mesures suivantes:

- la surveillance des débits en aval afin de s'assurer qu'il y a suffisamment d'eau pour l'environnement récepteur, et que tout excès n'entraîne pas l'instabilité des chenaux; l'ajustement des opérations d'exploitation et de gestion de l'eau sur le site de la mine, au besoin
- le drainage sous les zones de stockage des stériles pour faciliter l'écoulement de l'eau souterraine vers les tronçons en aval
- la gestion des bassins de rétention et de clarification des eaux de ruissellement afin de reproduire la variabilité naturelle correspondant aux débits élevés et faibles
- le stockage dans les bassins de rétention des eaux de ruissellement afin d'atténuer les débits de pointe attribuables aux épisodes de fortes pluies; l'utilisation du ruissellement excédentaire généré par le terrain perturbé

pour un approvisionnement d'appoint en eau de la mine afin de modérer les déversements

- l'utilisation au besoin d'un flocculant afin de faciliter la sédimentation des matières solides en suspension dans les eaux de ruissellement recueillies dans les bassins
- la surveillance des conditions climatiques et des débits en aval dans le cadre de la gestion régulière l'eau
- la mise en place de mesures de lutte contre l'érosion afin de gérer la sédimentation, y compris la conception des bassins de sédimentation
- la consolidation des pentes et la revégétalisation rapide afin de réduire l'érosion
- la mise en place d'opérations de réhabilitation pour la reproduction des conditions de ruissellement naturelles
- la configuration de la topographie à la fermeture afin de s'assurer que les superficies drainées de chaque sous-bassin versant se rapprochent des valeurs pré-aménagement
- la redirection des cours d'eau et des canaux de drainage vers les plans d'eau récepteurs naturels

3.8.5.5 Résultats de la question clé H-1: Quel effet la mine aura-t-elle sur les débits et les niveaux d'eau des plans d'eau?

Le ruissellement du site de la mine devrait être plus élevé que dans les conditions de référence en raison de la perturbation du site associée à l'aménagement de la mine. Les eaux de ruissellement des bassins perturbés seront recueillies dans une série de bassins avant d'être redirigées ou rejetées dans l'environnement. Comme mentionné ci-dessus, les débits peuvent être augmentés et redirigés vers l'usine de traitement du minerai afin d'assurer des débits saisonniers acceptables qui limiteront les effets en aval. Des précisions sur les hypothèses et les données d'entrée du modèle figurent dans le volume I, annexe 8-2. L'analyse hydrologique repose sur l'hypothèse selon laquelle quatre des six bassins de rétention du ruissellement sont construits dès le début de l'exploitation. Les bassins Analamay sud (Torotorofotsy) et nord-est (Sakalava) deviendront opérationnels au cours de la 10^e année, lorsque l'activité minière pénétrera ces bassins.

Débits en aval des bassins

Les changements prévus des débits moyens, immédiatement en aval (c.-à-d. à 500 m) des bassins de rétention des eaux de ruissellement, sont résumés au tableau 3.8.7. Au cours de l'exploitation, les bassins serviront principalement à

fournir des débits qui respectent au minimum les niveaux moyens actuels. Bien qu'une partie du ruissellement excédentaire puisse être détournée afin de compléter l'approvisionnement en eau de la mine, ces volumes seraient rejetés dans les cours d'eau récepteurs si cette action est favorable ou éventuellement non préjudiciable pour l'environnement en aval.

Les changements dans les débits au cours de la saison des pluies seront plus marqués en raison des fortes précipitations et des grandes quantités de ruissellement excédentaire. Une partie du ruissellement excédentaire est utilisé pour alimenter la mine, tandis que le reste est déversé dans les cours d'eau récepteurs. Pendant la saison des pluies, si les bassins sont en mesure de combler tous les besoins en eau de l'usine de préparation du minerai (environ 1000 m³/h), les débits immédiatement en aval des bassins augmenteront en moyenne de 0 à 5 % au cours de la 4^e année dépendamment du bassin, et d'environ 21 % au cours de la 20^e année. L'exception est le bassin de Torotorofotsy, où l'augmentation des débits au cours des 15^e et 20^e années est limitée respectivement à 14 % et 12 %, en vue de réduire les impacts sur les marais en aval. Les principales hausses de débit ont lieu en janvier pour tous les bassins.

L'estimation des changements en débit est fondée sur les hypothèses et les données d'entrée du modèle présentées au tableau 8.2-1, annexe 8-2, volume I. L'une des hypothèses principales est la quantité d'eau qui est détournée depuis les bassins jusqu'à l'usine de préparation du minerai. Cette eau pourrait servir à répondre aux besoins de l'usine. Elle comprend également les dérivations du ruissellement issu des fosses minières et des haldes de stériles dans le secteur d'Analamay afin de maintenir des niveaux de qualité acceptables pour l'eau rejetée des bassins. Tout au long de l'exploitation, les débits en aval et les caractéristiques physiques seront aussi surveillés et des commentaires seront sollicités auprès des utilisateurs en aval afin de vérifier que tout changement est jugé acceptable.

Tableau 3.8-7 Changements dans les débits à 500 m en aval des bassins de rétention des eaux de ruissellement

Bassin	Saison	Scénarios d'exploitation				Après fermeture (après l'année 28)
		Année 4	Année 10	Année 15	Année 20	
Antsahalava	Décembre à mars	0 à 2 %	12 à 17 %	11 à 20 %	12 à 21 %	23 % ^(b)
	Avril à novembre	0 %	0 %	0 %	0 %	23 % ^(b)
Sahaviara	Décembre à mars	0 à 5 %	12 à 16 %	16 à 20 %	18 à 22 %	20 %
	Avril à novembre	0 %	0 %	0 à 1 %	0 à 3 % ^(a)	20 %
Sahamarirana	Décembre à mars	0 à 3 %	9 à 17 %	14 à 20 %	16 à 22 %	24 % ^(b)
	Avril à novembre	0 %	0 %	0 %	0 %	24 % ^(b)
Torotorofotsy	Décembre à mars	0 %	5 à 10 %	3 à 8 %	10 à 12 %	8 %
	Avril à novembre	0 %	0 %	0 %	0 à 5 % ^(a)	8 %
Sakalava	Décembre à mars	0 %	3 à 8 %	12 à 20 %	0 à 8 %	12 %
	Avril à novembre	0 %	0 %	0 %	0 %	12 %
Ankaja	Décembre à mars	1 à 3 %	0 à 1 %	0 à 9 %	18 à 22 %	11 %
	Avril à novembre	0 %	0 %	0 à 2 % ^(a)	0 à 3 % ^(a)	11 %

^(a) Les changements maximums surviennent en novembre; tous les autres mois présentent 0% de changement

^(b) Se réduit à moins de 20 % de changement en deçà de 1 500 m des bassins de rétention.

Le tableau 3.8-7 résume aussi les changements dans les débits après la fermeture, lesquels reflètent les changements à long terme des caractéristiques du ruissellement résultant des activités minières et de réhabilitation. Dans le cadre de la fermeture de la mine, les bassins de rétention des eaux de ruissellement seront mis hors service et les digues seront ouvertes pour permettre aux eaux de ruissellement de s'écouler naturellement dans les cours d'eau récepteurs. En ce qui concerne les débits immédiatement en aval des bassins, des changements de 20 à 24 % sont prévus pour le secteur Ambatovy, et de 8 à 12 % pour le secteur Analamay. Ces changements calculés en pourcentage sont les mêmes pour chaque mois et pour chaque saison. Les débits se rapprocheront graduellement de la normale à mesure que la végétation repoussera dans les secteurs réhabilités.

La modélisation hydrologique réalisée permet d'estimer les volumes de débit mensuels et de prévoir les changements attribuables à l'aménagement de la mine. La perturbation du terrain augmentera aussi les débits de pointe en générant des volumes plus grands et des épisodes plus rapides de ruissellement par rapport aux conditions de référence. Au cours de l'exploitation, les bassins de rétention des eaux de ruissellement serviront à affaiblir le débit de pointe en stockant à court terme les eaux pluviales avant de les rejeter dans les sections en aval. Les fluctuations des débits de pointe devraient être semblables à celles des débits moyens, avec une augmentation pouvant aller jusqu'à 20 % immédiatement en aval des digues. Ces débits de pointe pourraient être réduits en optimisant l'utilisation des bassins et en augmentant la capacité de stockage afin de retenir de grandes quantités d'eau pluviale. À la suite de l'exploitation et de la réhabilitation, les bassins de rétention seront mis hors service et ne diminueront plus le débit. Par conséquent, les débits de pointe continueront d'être élevés après la fermeture.

Le débit des cours d'eau dans les secteurs en aval des bassins représente la somme des rejets des bassins et des apports des affluents en aval. À mesure que la distance en aval et la superficie drainée augmentent, la variation de débit attribuée à l'opération de la mine diminue. Le tableau 3.8-8 résume les changements prévus dans les débits de janvier (c.-à-d. pendant la saison des pluies) pour diverses distances en aval des bassins. Le tableau 3.8-9 résume les changements des débits moyens, calculés sur une base mensuelle aux mêmes emplacements. Les emplacements des exutoires des bassins de rétention et les sous-bassins associés aux diverses distances en aval sont illustrés à la figure 3.8-1.

Les débits de janvier représentent les changements les plus considérables pour les débits sortants des bassins par rapport aux conditions de référence (c.-à-d. les conditions les plus défavorables). Au cours de la 4^e année, l'aménagement de la mine est plus important dans le secteur Ambatovy. Par conséquent, les changements dans les débits sont beaucoup plus marqués dans les bassins versants Ambatovy (par ex. les bassins Antsahalava, Sahamarirana et Sahaviara), avec une augmentation d'environ 2 % à une distance de 2 km et de 1 % à 5 km en aval des bassins de rétention. Au cours de la 10^e année, l'aménagement de la mine s'étend jusqu'au secteur Analamay et les changements dans les débits sont évidents dans tous les bassins. Les débits enregistrés en janvier à 2 km en aval des bassins de rétention varient entre 6 et 14 % pour le secteur Ambatovy et le bassin versant Sakalava, et entre 1 et 5 % pour les bassins Torotorofotsy et Ankaja. Les changements dans les débits au cours des 15^e et 20^e année reflètent les vastes secteurs d'exploitation minière et de perturbation générale. Les augmentations se situent autour de 20 % à moins de 1 km des bassins de rétention pour la 15^e année et à moins de 1,5 km pour la 20^e année. À des distances plus en aval, les changements sont réduits de façon notable. Par exemple, l'augmentation des débits est inférieure à 5 % à une distance de 3 km en aval dans les bassins versants Torotorofotsy et Sakalava. Un pourcentage de changement similaire est prévu dans le bassin versant Sahaviara jusqu'à une distance de 5 km, et jusqu'à 10 km pour les bassins versant restants.

Les changements prévus dans les débits moyens mensuels se limitent de 0 à 1 % pour la 4^e année en raison du pourcentage relativement faible de sol perturbé. Au cours de la 10^e année, les changements dans les débits moyens du secteur Ambatovy sont de moins de 5 % à une distance de 3 km en aval des bassins de rétention de ruissellement, et de moins de 5 % immédiatement en aval des bassins dans le secteur Analamay. Les débits moyens pour la 15^e année dans le secteur Ambatovy s'apparentent à ceux de la 10^e année; toutefois, le développement continu dans le secteur Analamay se traduit par des débits moyens environ 7 % plus élevés que ceux observés au cours de la 10^e année (bassins Ankaja et Sakalava). Lors de la 20^e année, les changements dans les

débits moyens par rapport aux conditions de référence sont inférieurs à 5 % à l'intérieur des limites suivantes en aval des bassins de rétention: 4 km dans le secteur Ambatovy, 1 km dans les bassins Torotorofotsy et Sakalava, et environ 8 km dans le bassin Ankaja.

Après la fermeture, les changements dans les débits seront plus élevés dans le secteur Ambatovy que dans le secteur Analamay en raison d'un pourcentage plus élevé de superficie perturbée et réhabilitée. Les débits observés dans le secteur Ambatovy après la fermeture sont de 20 à 40 % au-dessus des débits de référence immédiatement en aval de la digue. L'augmentation du débit est réduite à moins de 20 % à une distance d'environ 1,5 km en aval, et à moins de 10 % à environ 5 km en aval. Dans le secteur Analamay, les changements sont inférieurs à 10 % à 2 km en aval de l'emplacement des bassins de rétention.

Tableau 3.8-8 Changements dans les débits de janvier à diverses distances en aval des bassins de rétention des eaux de ruissellement

Scénario	Bassin versant	0 (exutoires des bassins de rétention)			Distance en aval des bassins (m)							
		Débit de référence (m³/mois)	Débit d'aménagement (m³/mois)	500	1 000	1 500	2 000	3 000	5 000	6 500	7 500	10 000
4 ^e année	Antsahalava	668 879	685 881	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %
	Sahaviara	252 860	268 052	5 %	4 %	3 %	3 %	2 %	1 %		1 %	
	Sahamarirana	518 406	535 101	3 %	3 %	2 %	2 %	2 %	1 %		1 %	1 %
	Torotorofotsy	610 633	610 633	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %			
	Sakalava	529 968	529 968	0 %	0 %	0 %	0 %		0 %		0 %	
	Ankaja	866 529	893 272	3 %	2 %	2 %	2 %	2 %	1 %		1 %	1 %
10 ^e année	Antsahalava	668 879	795 920	17 %	16 %	15 %	14 %	11 %	8 %	7 %	3 %	3 %
	Sahaviara	252 860	306 657	16 %	13 %	11 %	9 %	6 %	3 %		2 %	
	Sahamarirana	518 406	619 342	17 %	16 %	13 %	10 %	9 %	6 %		5 %	4 %
	Torotorofotsy	610 633	674 881	10 %	6 %	5 %	5 %	4 %	3 %			
	Sakalava	529 968	573 583	8 %	8 %	7 %	6 %		3 %		2 %	
	Ankaja	866 529	880 473	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %		1 %	0 %
15 ^e année	Antsahalava	668 879	815 159	20 %	19 %	18 %	17 %	13 %	9 %	8 %	4 %	4 %
	Sahaviara	252 860	319 328	20 %	16 %	13 %	12 %	7 %	4 %		3 %	
	Sahamarirana	518 406	637 757	20 %	19 %	15 %	12 %	11 %	7 %		6 %	5 %
	Torotorofotsy	610 633	666 743	8 %	5 %	4 %	4 %	3 %	2 %			
	Sakalava	529 968	639 005	20 %	19 %	18 %	14 %		7 %		5 %	
	Ankaja	866 529	973 874	11 %	9 %	9 %	8 %	7 %	6 %		5 %	3 %
20 ^e année	Antsahalava	668 879	822 542	21 %	20 %	19 %	17 %	14 %	9 %	9 %	4 %	4 %
	Sahaviara	252 860	326 505	22 %	18 %	15 %	13 %	8 %	4 %		3 %	
	Sahamarirana	518 406	644 823	22 %	20 %	16 %	13 %	11 %	8 %		6 %	5 %
	Torotorofotsy	610 633	690 224	12 %	7 %	6 %	6 %	5 %	3 %			
	Sakalava	529 968	571 732	8 %	7 %	7 %	5 %		3 %		2 %	
	Ankaja	866 529	1 078 956	22 %	18 %	17 %	15 %	13 %	11 %		10 %	5 %
après-fermeture	Antsahalava	668 879	836 555	23 %	22 %	20 %	19 %	15 %	10 %	9 %	5 %	4 %
	Sahaviara	252 860	318 674	20 %	16 %	13 %	11 %	7 %	4 %		3 %	
	Sahamarirana	518 406	662 025	24 %	23 %	18 %	15 %	13 %	9 %		7 %	5 %
	Torotorofotsy	610 633	666 348	8 %	5 %	4 %	4 %	3 %	2 %			
	Sakalava	529 968	597 511	12 %	12 %	11 %	9 %		4 %		3 %	
	Ankaja	866 529	975 069	11 %	9 %	9 %	8 %	7 %	6 %		5 %	3 %

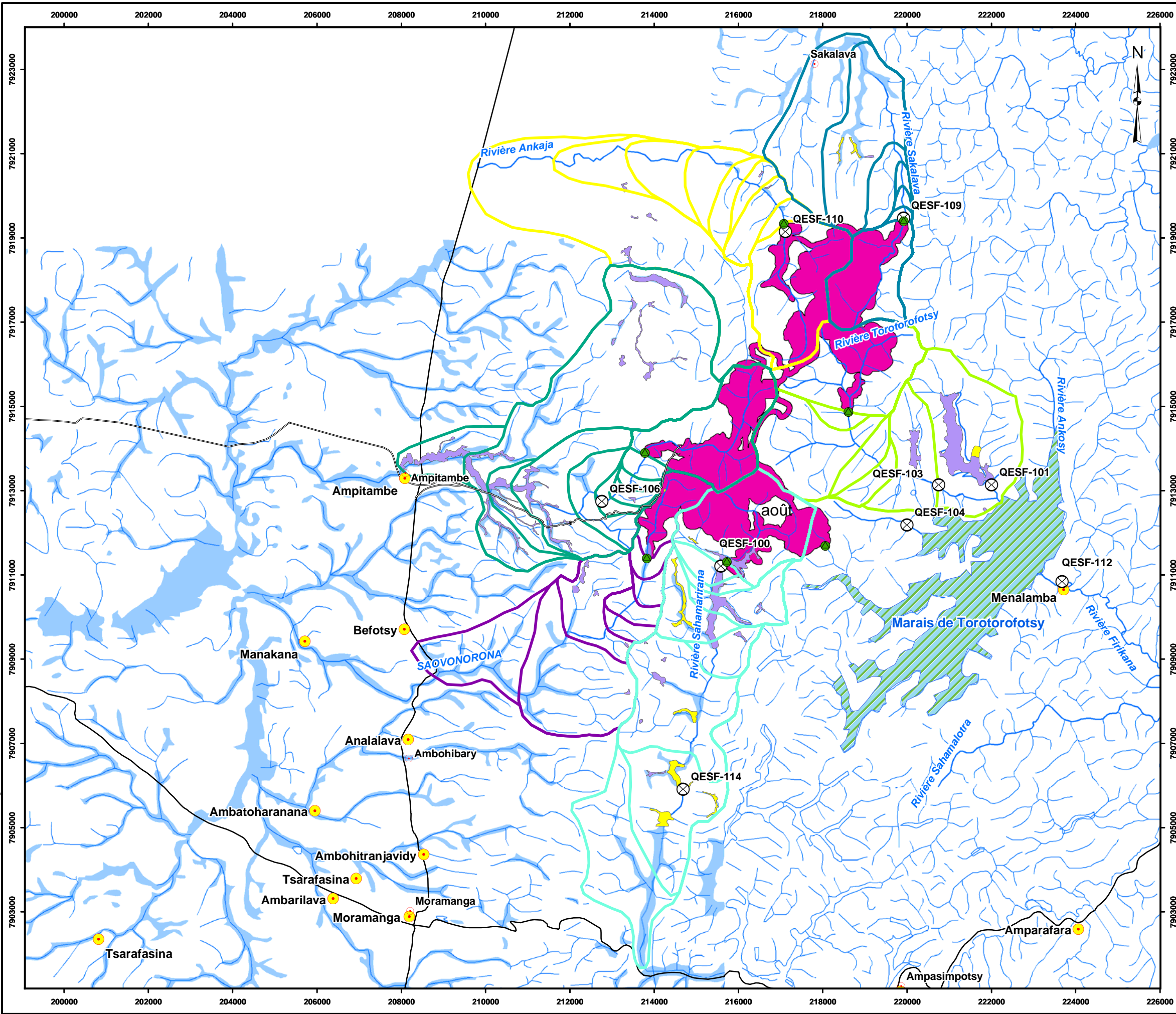
Note: Les espaces blancs indiquent les emplacements non-inclus dans le modèle hydrologique.

Tableau 3.8-9 Changements dans les débits mensuels moyens à diverses distances en aval des bassins de rétention des eaux de ruissellement

Scénario	Bassin versant	0 (exutoires des bassins de rétention)		Distance en aval des bassins (m)								
		Débit de référence (m³/mois)	Débit d'aménagement (m³/mois)	500	1 000	1 500	2 000	3 000	5 000	6 500	7 500	10 000
4 ^e année	Antsahalava	302 493	303 910	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Sahaviara	114 353	116 374	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %	0 %		0 %	
	Sahamarirana	234 444	235 835	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %		0 %	0 %
	Torotorofotsy	276 152	276 152	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %			
	Sakalava	239 672	239 672	0 %	0 %	0 %	0 %		0 %		0 %	
10 ^e année	Ankaja	391 878	395 578	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %		0 %	0 %
	Antsahalava	302 493	335 040	10 %	9 %	9 %	8 %	6 %	4 %	4 %	2 %	2 %
	Sahaviara	114 353	128 619	9 %	8 %	6 %	5 %	3 %	2 %		1 %	
	Sahamarirana	234 444	258 178	9 %	8 %	7 %	5 %	5 %	3 %		2 %	2 %
	Torotorofotsy	276 152	290 982	5 %	3 %	3 %	2 %	2 %	1 %			
15 ^e année	Sakalava	239 672	248 855	4 %	4 %	3 %	3 %		1 %		1 %	
	Ankaja	391 878	393 040	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %		0 %	0 %
	Antsahalava	302 493	337 715	11 %	10 %	9 %	9 %	7 %	5 %	4 %	2 %	2 %
	Sahaviara	114 353	132 519	12 %	10 %	8 %	7 %	4 %	2 %		2 %	
	Sahamarirana	234 444	264 951	11 %	11 %	8 %	7 %	6 %	4 %		3 %	3 %
20 ^e année	Torotorofotsy	276 152	288 298	4 %	2 %	2 %	2 %	2 %	1 %			
	Sakalava	239 672	266 591	11 %	10 %	10 %	8 %		4 %		3 %	
	Ankaja	391 878	421 990	7 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %		3 %	2 %
	Antsahalava	302 493	339 663	11 %	11 %	10 %	9 %	7 %	5 %	5 %	2 %	2 %
	Sahaviara	114 353	134 929	14 %	11 %	9 %	8 %	5 %	2 %		2 %	
après-fermeture	Sahamarirana	234 444	268 082	13 %	12 %	9 %	8 %	7 %	4 %		3 %	3 %
	Torotorofotsy	276 152	299 909	8 %	5 %	4 %	4 %	3 %	2 %			
	Sakalava	239 672	245 858	2 %	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %		1 %	1 %
	Ankaja	391 878	451 341	14 %	11 %	11 %	9 %	8 %	7 %		6 %	3 %
	Antsahalava	302 493	378 323	23 %	22 %	20 %	19 %	15 %	10 %	9 %	5 %	4 %
	Sahaviara	114 353	144 117	20 %	16 %	13 %	11 %	7 %	4 %		3 %	
	Sahamarirana	234 444	299 394	24 %	23 %	18 %	15 %	13 %	9 %		7 %	5 %
	Torotorofotsy	276 152	301 349	8 %	5 %	4 %	4 %	3 %	2 %			
	Sakalava	239 672	270 218	12 %	12 %	11 %	9 %		4 %		3 %	
	Ankaja	391 878	440 964	11 %	9 %	9 %	8 %	7 %	6 %		5 %	3 %

Note: Les espaces blancs indiquent les emplacements non inclus dans le modèle hydrologique.

I:/2003/03-1322/03-1322-172/mxd/Surface_Water/Fig3.8-1_mine_runoff_basins_French.mxd



LÉGENDE

- AGGLOMÉRATION
- EXUTOIRE DU BASSIN DE RÉTENTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT
- ⊗ STATION DE SUIVI HYDROMÉTRIQUE
- CONDUITE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU
- ROUTE
- COURS D'EAU OU RIVIÈRE
- SAISONNIÈREMENT INONDÉ OU EAU LIBRE
- MARAI DE TOROTOROFOTSY
- EMPREINTE DE PERTURBATION AU SOL TOTALE

BASSINS

- ANTSAHALAVA
- SAHAVIARA
- TOROTOROFOTSY
- SAKALAVA
- ANKAJA
- SAHAMARIRANA

VÉGÉTATION

- VÉGÉTATION HERBACÉE DE MARAIS
- RIZIÈRES

RÉFÉRENCE

Image mosaïque Landsat 7 : prise en avril/Sept 2001
Référence : WGS 84 Projection : UTM Zone 39S

2 0 2 4
ÉCHELLE 1:90 000 KILOMÈTRES

PROJET		PROJET AMBATOVY																					
TITRE		BASSIN DE RÉTENTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT DE LA MINE																					
		<table><tr><td>PROJET No.</td><td>03-1322-172.7000</td><td>ÉCHELLE TELLE QUE MONTREE</td><td>REV. 0</td></tr><tr><td>DESSINÉ</td><td>DC</td><td>02 mars 2005</td><td></td></tr><tr><td>SIG</td><td>TN</td><td>11 août 2005</td><td></td></tr><tr><td>VERIF.</td><td>GJ</td><td>13 fév. 2006</td><td></td></tr><tr><td>REV.</td><td>DM</td><td>13 fév. 2006</td><td></td></tr></table>		PROJET No.	03-1322-172.7000	ÉCHELLE TELLE QUE MONTREE	REV. 0	DESSINÉ	DC	02 mars 2005		SIG	TN	11 août 2005		VERIF.	GJ	13 fév. 2006		REV.	DM	13 fév. 2006	
PROJET No.	03-1322-172.7000	ÉCHELLE TELLE QUE MONTREE	REV. 0																				
DESSINÉ	DC	02 mars 2005																					
SIG	TN	11 août 2005																					
VERIF.	GJ	13 fév. 2006																					
REV.	DM	13 fév. 2006																					

FIGURE: 3.8-1

Niveaux d'eau et vitesses d'écoulement

Les changements dans les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement ont été estimés à cinq emplacements pour des conditions d'exploitation et d'après-fermeture en fonction des débits prévus à chaque emplacement. Les emplacements coïncident avec les stations de suivi hydrométrique où des relevés sur la coupe transversale des chenaux, des courbes hauteur-débit et des données sur les niveaux d'eau sont disponibles. Les changements prévus dans les caractéristiques hydrauliques des débits de janvier sont répertoriés dans les tableaux 3.8-10 et 3.8-11.

La hauteur d'eau moyenne aux cinq emplacements au cours de l'exploitation connaît une hausse de 1 à 13 % (1 à 8 cm), alors que la vitesse moyenne d'écoulement augmente de 0 à 20 % (0 à 0,2 m/s). Les stations de suivi hydrométrique QESF-100, 109 et 110 sont situées à environ 500 m en aval des bassins de rétention dans leurs bassins respectifs. La station QESF-106 est située à environ 2 km en aval du bassin de rétention de ruissellement au nord d'Ambatovy et la station QESF-114 est localisée à environ 5 km en aval du bassin de rétention de ruissellement au sud d'Ambatovy.

Influence des eaux souterraines sur les débits des eaux de surface

Les activités minières devraient réduire l'infiltration vers les eaux souterraines dans les secteurs perturbés, et entraîner l'assèchement du substratum rocheux fracturé où les fosses sont aménagées. L'exhaure de la mine réduira le flux de l'eau souterraine vers les cours d'eau récepteurs ainsi que la quantité d'eau souterraine qui s'écoule vers les emplacements en aval. Comme en fait état la section 3.7 du volume B, les apports en eau souterraine au débit de base devraient être réduits de 7 % dans les secteurs amont des bassins versants de la rivière qui alimentent les marais de Mokaranana et de Torotorofotsy. Les changements dans les apports en eau souterraine n'ont pas été clairement pris en considération dans le modèle hydrologique; toutefois, si elles sont jugées souhaitables sur le plan de la qualité de l'eau, les eaux d'exhaure des fosses pourront être évacuées dans les bassins de rétention des eaux de ruissellement et, par conséquent, tout manque d'eau souterraine en aval pourra être compensé par un rejet de plus grands volumes de ruissellement excédentaire.

Tableau 3.8.10 Changements dans les hauteurs et les vitesses de l'eau de janvier aux stations de suivi hydrométrique ^(a) – Exploitation – Année 20

Bassin	Station	Référence					Exploitation					Exploitation – Pourcentage de changement				
		Débit (m ³ /s)	Superficie d'écoulement (m ²)	Hauteur moyenne (m)	Hauteur maximale (m)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit (m ³ /s)	Superficie d'écoulement (m ²)	Hauteur moyenne (m)	Hauteur maximale (m)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit (m ³ /s)	Superficie d'écoulement (m ²)	Hauteur moyenne (m)	Hauteur maximale (m)	Vitesse moyenne (m/s)
Sahamarirana	QESF-100	0,22	10,39	1,14	1,70	0,02	0,27	11,07	1,14	1,78	0,02	23 %	7 %	0 %	5 %	0 %
Sahamarirana	QESF-114	0,63	2,77	0,92	1,18	0,23	0,67	2,84	0,95	1,20	0,24	6 %	3 %	3 %	2 %	4 %
Antsahalava	QESF-106	0,33	1,06	0,39	0,52	0,31	0,39	1,19	0,44	0,57	0,33	18 %	12 %	13 %	10 %	6 %
Ankaja	QESF-110	0,35	6,27	0,96	1,55	0,06	0,43	6,31	0,97	1,57	0,07	23 %	1 %	1 %	1 %	17 %
Sakalava	QESF-109	0,21	1,16	0,20	0,37	0,18	0,22	1,16	0,20	0,37	0,19	5 %	0 %	0 %	0 %	6 %

^(a) Les caractéristiques d'écoulement aux stations de suivi hydrométrique.

Tableau 3.8.11 Changements dans les hauteurs et les vitesses de l'eau de janvier aux stations de suivi hydrométrique ^(a) – Fermeture

Bassin	Station	Référence					Après-fermeture					Après-fermeture – Pourcentage de changement				
		Débit (m ³ /s)	Superficie d'écoulement (m ²)	Hauteur moyenne (m)	Hauteur maximale (m)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit (m ³ /s)	Superficie d'écoulement (m ²)	Hauteur moyenne (m)	Hauteur maximale (m)	Vitesse moyenne (m/s)	Débit (m ³ /s)	Superficie d'écoulement (m ²)	Hauteur moyenne (m)	Hauteur maximale (m)	Vitesse moyenne (m/s)
Sahamarirana	QESF-100	0,22	10,39	1,14	1,70	0,02	0,27	10,76	1,18	1,74	0,03	23 %	4 %	4 %	2 %	50 %
Sahamarirana	QESF-114	0,63	2,77	0,92	1,18	0,23	0,68	2,87	0,96	1,21	0,24	8 %	4 %	4 %	3 %	4 %
Antsahalava	QESF-106	0,33	1,06	0,39	0,52	0,31	0,39	1,19	0,44	0,57	0,33	18 %	12 %	13 %	10 %	6 %
Ankaja	QESF-110	0,35	6,27	0,96	1,55	0,06	0,39	6,29	0,97	1,56	0,06	11 %	0 %	1 %	1 %	0 %
Sakalava	QESF-109	0,21	1,16	0,20	0,37	0,18	0,23	1,21	0,20	0,38	0,19	10 %	4 %	0 %	3 %	6 %

^(a) Les caractéristiques d'écoulement aux stations de suivi hydrométrique.

Conduite de la rivière Mangoro

La rivière Mangoro sera la source primaire d'approvisionnement en eau de la mine. Pendant la saison des pluies, les prélèvements à partir de la rivière Mangoro peuvent être réduits de manière significative si le ruissellement local excédentaire (site de la mine) permet de combler les besoins en eau de la mine. Comme l'illustre le tableau 3.8-12, les besoins en eau de la mine, soit environ 1000 m³/h (0,28 m³/s), représentent moins de 0,3 % du débit annuel moyen de la rivière Mangoro, et moins de 1,5 % du débit en conditions d'étiage. Ces conditions d'étiage sont fondées sur les débits journaliers minimaux, mais peuvent aussi être utilisées pour caractériser la période de sécheresse au cours de laquelle les débits d'étiage sont maintenus sur une période prolongée. En ce qui a trait aux débits journaliers maximaux, le prélèvement d'eau pour la mine représenterait moins de 0,1 % de l'eau disponible de la rivière Mangoro.

Tableau 3.8.12 Changements dans le débit de la rivière Mangoro attribuables au prélèvement d'eau pour la mine

Débit	Débit de la rivière Mangoro (m ³ /s)	Prélèvement d'eau pour l'approvisionnement de la mine (m ³ /s)	Prélèvement
mois le plus sec (Octobre)	22,5	0,28	1,2 %
annuel	88,9	0,28	0,3 %
débit journalier minimal: 2 ans	23,3	0,28	1,2 %
débit journalier minimal: 5 ans	21,3	0,28	1,3 %
débit journalier minimal: 10 ans	20,2	0,28	1,4 %
débit journalier maximal: 2 ans	440	0,28	<0,1 %
débit journalier maximal: 5 ans	810	0,28	<0,1 %
débit journalier maximal: 10 ans	1 210	0,28	<0,1 %

La conduite de la rivière Mangoro, tel que proposé, mesure environ 23 km et traverse sept cours d'eau de petite à moyenne taille entre la rivière et le site de la mine. La construction et l'exploitation du corridor de la conduite et de la route d'accès connexe peuvent entraîner des augmentations locales du ruissellement en raison de la perturbation du sol, mais ces changements ne devraient pas être mesurables pour les plans d'eau récepteurs. Pendant la période de construction, des changements à court terme pourraient être observés dans les vitesses d'écoulement et les hauteurs d'eau aux lieux des franchissements des cours d'eau, là où la conduite est enfouie. Aucun changement n'est prévu pendant l'exploitation et après la fermeture.

3.8.5.6 Résultats de la question clé H-2: Quel effet la mine aura-t-elle sur les concentrations en matières solides des plans d'eau?

Site de la mine

Les sols latéritiques autour du site de la mine sont fortement altérés et érodables. La perturbation du sol, l'excavation et le défrichement associés aux activités minières devraient engendrer des concentrations élevées de matières solides en suspension dans les eaux de ruissellement de ce secteur, particulièrement lors des fortes pluies saisonnières. Des mesures de lutte contre l'érosion, notamment la stabilisation des pentes et la construction à la fois de clôtures anti-érosion et de fossés de dérivation, seront utilisées afin de gérer la génération de matières solides et leur transport. Des installations de gestion de l'eau ont également été conçues pour retenir toutes les eaux de ruissellement dans une série de bassins de rétention et de clarification avant qu'elles ne soient rejetées dans l'environnement. Les bassins ont été dimensionnés de façon à retenir des eaux de pluies décennales d'une durée de 24 heures et à favoriser la décantation des matières solides en suspension en vue de respecter les normes de la Banque mondiale sur la qualité de l'eau, à savoir une limite de 50 mg/L selon les débits prévus pour un tel événement.

La sédimentation naturelle se produira dans les bassins de rétention et, en conditions normales, devrait produire des concentrations de matières solides à la sortie inférieures à la norme de 50 mg/L. Pour des événements plus extrêmes, un flocculant sera requis pour accroître les taux de décantation et la quantité de matières solides enlevées du ruissellement en vue de respecter les normes sur les effluents. Le flocculant sera ajouté dans le bassin de rétention tandis que la décantation se poursuivra ensuite dans le bassin de clarification en aval. Les bassins de clarification sont dimensionnés d'après des tests qui indiquent que la floculation occasionne un temps de décantation 10 fois plus rapide.

Les pluies plus fortes que les pluies décennales de 24 heures provoqueront des volumes et des débits élevés. Les temps de rétention des bassins dans ces conditions pourraient être inférieurs aux temps de floculation-décantation naturels, entraînant alors le transport des matières solides en suspension vers les cours d'eau récepteurs d'une concentration supérieure à 50 mg/L. Les concentrations entrantes de matières solides en suspension, en provenance aussi bien du secteur de la mine que des secteurs naturels, devraient être élevées dans ces conditions en raison d'une forte érosion et d'un ruissellement élevé. Ces phénomènes ont constitué une source de préoccupation lors des séances de consultation tenues en septembre 2005, au cours desquelles l'adéquation des mesures d'atténuation proposées était soulevée (section 6, volume A). Compte tenu de cette préoccupation et de la vulnérabilité de l'environnement en aval, une

modélisation supplémentaire des sédiments a été réalisée afin de quantifier les niveaux de sédiments qui quittent les bassins lors d'événements plus importants que les pluies décennales d'une durée de 24 heures, en accordant une attention particulière au secteur de Torotorofotsy. Les résultats seront fournis dans un *addenda* à l'EIE dès qu'ils seront disponibles.

Conduite de la rivière Mangoro

Pendant la construction de la conduite de la rivière Mangoro, des augmentations localisées des concentrations en matières solides sont prévues dans les cours d'eau récepteurs, malgré la mise en œuvre de mesures de lutte contre l'érosion. Avant la réhabilitation, des matières solides devraient être générées à partir du couloir de la conduite et aux points de traversée des cours d'eau. De saines pratiques de gestion seront adoptées afin de réduire le plus possible les niveaux de sédiments. Des exemples de pratiques typiques sont donnés à la section 3.8 du volume C. Grâce à ces saines pratiques de gestion le long du tracé et des mesures précises de lutte contre l'érosion aux franchissements des cours d'eau (voir section 3.8, volume C), aucun changement significatif n'est prévu sur les concentration en matières solides des plans d'eau récepteurs au cours de l'exploitation et à la fermeture.

3.8.5.7 Résultats de la question clé H-3: Quel effet la mine aura-t-elle sur l'hydrologie et la charge solide du marais de Torotorofotsy?

La rivière Torotorofotsy constitue la principale entrée d'eau du marais de Torotorofotsy et représente environ 15 km² (25 %) de la superficie drainée totale (60 km²) du marais. Le gisement d'Anamalay est situé dans les secteurs amont du bassin versant de la rivière Torotorofotsy. Vers la 15^e année d'exploitation, un petit bassin de rétention des eaux de ruissellement sera construit à côté du remblai situé au sud-est d'Ambatovy. Ce bassin dispose d'une petite surface de drainage d'environ 20 ha, dont la majorité constitue un secteur réhabilité. Le reste du bassin versant du marais de Torotorofotsy n'est pas touché par l'aménagement de la mine.

Pendant la saison des pluies, les débits de la rivière Torotorofotsy, à l'entrée du marais, devraient augmenter jusqu'à 3 % au cours de l'exploitation de la mine en raison des changements dans les caractéristiques de ruissellement du bassin supérieur. Comme le décrit la section 3.7 du volume B, l'exhaure de la mine devrait aussi entraîner une réduction d'environ 7 % des apports en eau souterraine dans les bassins supérieurs. L'augmentation locale de 3 % des débits de surface représente moins de 1 % du débit entrant total du marais. Au cours de l'exploitation, aucun changement des débits n'est prévu pendant la saison sèche.

Après la fermeture, les débits de la rivière Torotorofotsy devraient augmenter d'environ 2 %, à la fois pendant la saison des pluies et la saison sèche, par rapport aux conditions de référence en raison des changements à long terme des caractéristiques du ruissellement sur le site de la mine. Pour cette période, l'augmentation du débit vers les marais en provenance de toute la superficie de drainage est estimée à moins de 1 %.

Sous des conditions normales d'exploitation, l'eau et les sédiments en provenance du bassin versant supérieur de la rivière Torotorofotsy seront gérés par les bassins de rétention et de clarification des eaux de ruissellement de la mine Analamay Sud. Sous ces mêmes conditions, les eaux de rejet de ces bassins devraient respecter la norme de 50 mg/L de matières solides en suspension pour un événement décennal. Un exercice de modélisation a été entrepris afin de quantifier et mieux comprendre les concentrations des matières solides en suspension associées aux événements de précipitation extrêmes.

3.8.6 Analyse des impacts

3.8.6.1 Impacts résiduels

Au cours de l'exploitation, les changements les plus importants concernant les écoulements fluviaux devraient intervenir vers la fin de la phase d'exploitation lorsque les activités minières, les zones de stockage et les secteurs réhabilités sont les plus importants. Les changements les plus significatifs dans les débits se produisent en janvier (cas le plus défavorable) et, pour la plupart des bassins au cours de la 20^e année, les débits se situent de 15 à 20 % au-dessus des conditions de référence pour le premier 1,5 km en aval des digues (les augmentations dans les bassins versants Torotorofotsy et Sakalava représentent moins de 7 %). En ce qui concerne les conditions moyennes évaluées sur une base mensuelle, les changements dans les débits sont de l'ordre de 10 % à une distance de 1,5 km en aval des bassins. À partir des données fournies au tableau 3.8-8, l'intensité des impacts est considérée comme moyenne dans les conditions les plus défavorables et faibles dans des conditions moyennes. En général, les débits de janvier augmenteront de 5 à 10 % pour des distances de 5 à 7,5 km en aval des bassins (c.-à-d. impact faible) et de moins de 5 % (c.-à-d. impact négligeable) au-delà de 7,5 km. Les augmentations des débits en janvier à l'intérieur des superficies de drainage de Torotorofotsy et de Sakalava sont légèrement inférieures et l'on prévoit de faibles impacts entre 1 et 3 km en aval du bassin de rétention, puis des impacts négligeables au-delà de ce point. En ce qui concerne les débits moyens, l'intensité des impacts est de moins de 10 % (faible conséquence sur l'environnement) au-delà de 1,5 km et de moins de 5 % (conséquence négligeable sur l'environnement) au-delà des limites suivantes: 3 km pour le bassin Sahaviara, 5 km pour les bassins Antsahalava et Sahamarirana, 1 km pour

le bassin Torotorofotsy, 500 m pour le bassin Sakalava, et enfin 8 km pour le bassin Ankaja.

Après la fermeture (tous les mois), une augmentation de 10 à 22 % des débits est prévue dans le secteur Ambatovy (bassins versants Antsahalava, Sahaviara et Sahamarirana) jusqu'à une distance de 5 km en aval des bassins de rétention. Ces impacts moyens deviennent négligeables à une distance d'environ 7,5 km des bassins. Les impacts observés dans le secteur Analamay (bassins versants Sakalava et Ankaja) sont considérés moyens immédiatement en aval des bassins (augmentation de 12 %), faibles à une distance de 1,5 km, et négligeables à environ 5 km. Les impacts des changements de débit dans la rivière Torotorofotsy sont jugés faibles pour le premier 1,5 km en aval du bassin et négligeables au-delà de ce point.

Les changements concernant les niveaux d'eau ont été évalués à cinq emplacements autour du site de la mine. En raison des changements relativement faibles à ces emplacements, les effets à l'intérieur du secteur local d'étude sont aussi prévus de niveau faible et résultent en une faible conséquence sur l'environnement.

Le prélèvement d'eau de la rivière Mangoro, qui alimente la mine, devrait avoir un impact négligeable sur les débits et les niveaux d'eau de la rivière même en périodes de débit minimal et moyen.

Les apports en matières solides devraient être élevés pendant les périodes de construction et d'exploitation en raison de l'aménagement de la mine et des activités minières qui y seront menées. Cependant, le transport des matières solides jusqu'aux plans d'eau récepteurs sera contrôlé par des mesures de lutte contre l'érosion et de gestion du débit solide, ainsi que par une décantation à l'intérieur des bassins de rétention et de clarification. Des conditions normales d'exploitation aux conditions de pluies décennales, la concentration en matières solides se situera sous la limite de 50 mg/L. Ces impacts sont d'une intensité allant de faible à moyenne et, en raison de leur portée locale et de leur durée moyenne, représentent de faibles conséquences sur l'environnement.

Pour des épisodes de fortes pluies plus importants que l'événement de projet, les concentrations en matières solides des eaux qui sont versées dans les cours d'eau récepteurs peuvent excéder la limite de 50 mg/L. Les concentrations élevées seront toutefois diluées par les débits en aval. Les impacts pourraient être importants en terme d'intensité au niveau des exutoires des bassins. Du fait de la portée locale, de la courte durée et de la faible fréquence, la conséquence sur l'environnement est jugée moyenne. Compte tenu de la nature vulnérable du

milieu récepteur en aval, une modélisation supplémentaire des sédiments a été élaborée afin d'estimer et mieux comprendre l'incidence des concentrations en matières solides issues des eaux rejetées des bassins lors de fortes pluies. Les résultats seront fournis dans un *addenda* à l'EIE dès qu'ils seront disponibles.

Le bassin de rétention du ruissellement dans les cours supérieurs de la rivière Torotorofotsy sera géré de façon à minimiser les changements dans les débits se dirigeant vers le marais de Torotorofotsy. Les débits de la rivière Torotorofotsy à l'entrée du marais augmenteront d'environ 3 % au cours de l'exploitation et d'environ 2 % après la fermeture. Ces changements sont considérés négligeables. Dans des conditions normales d'exploitation, la concentration en matières solides des eaux rejetées à la rivière Torotorofotsy en provenance du secteur de la mine sera limitée à 50 mg/L, conformément aux normes. Les changements sont donc considérés négligeables à faibles concernant la charge solide globale dirigée vers le marais. Les impacts associés aux événements extrêmes n'ont pas été évalués qualitativement et font présentement l'objet d'une étude pour divers événements de pluies extrêmes.

Les impacts résiduels sont présentés dans le tableau 3.8-13.

Tableau 3.8-13 Classification des impacts résiduels sur l'hydrologie

Phase	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
enjeu: changements des écoulements et des niveaux d'eau des plans d'eau récepteurs							
construction/ exploitation	négative	saison des pluies: moyenne jusqu'à 5 km; faible à négligeable au-delà de 5 km saison sèche: négligeable moyenne: moyenne jusqu'à 1,5 km; faible à négligeable au-delà de 1,5 km	locale locale locale	moyen terme	oui	élevée (conditions moyennes)	saison des pluies: faible (jusqu'à 5 km); faible à négligeable (au-delà de 5 km) saison sèche: négligeable moyenne: faible (jusqu'à 1,5 km); faible à négligeable (au-delà de 1,5 km)
fermeture	négative	bassins Ambatovy (sud): moyenne jusqu'à 5 km; faible à négligeable au-delà de 5 km bassins Analamay (nord): moyenne (jusqu'à 1,5 km); faible (de 1,5 à 5 km); négligeable (au-delà de 5 km)	locale locale	long terme	non	élevée (conditions moyennes)	bassins Ambatovy (sud): faible (jusqu'à 5 km); faible à négligeable (au-delà de 5 km) bassins Analamay (nord): faible à négligeable (au-delà de 1,5 km)
enjeu: changements des concentrations en matières solides des plans d'eau récepteurs ^(a)							
construction/ exploitation	négative	faible à moyenne	locale	court terme	oui		faible
exploitation	négative	conditions de projet: faible à moyenne événements extrêmes: moyenne à forte	locale	moyen terme court terme	oui	élevée (conditions moyennes) faible	faible moyenne
fermeture	négative	Négligeable à faible	locale	long terme	non	élevée (conditions moyennes)	faible
enjeu: changements sur l'hydrologie et les concentrations en matières solides du marais de Torotorofotsy							
construction/ exploitation	négative	débits: négligeable sédiments: faible en conditions normales; moyenne à forte lors d'événements extrêmes ^(b)	locale	moyen terme moyen terme court terme	oui	élevée (conditions moyennes) élevée (conditions moyennes) Faible	négligeable (débits) à faible (sédiments) en conditions normales négligeable à moyenne lors d'événements extrêmes
fermeture	négative	débits: négligeable sédiments: faible	locale	long terme	non	élevée (conditions moyennes)	négligeable à faible

^(a) Changements dans les concentrations en matières solides immédiatement en aval des bassins de rétention des eaux de ruissellement; la concentration en matières solides des cours d'eau récepteurs diminuera à mesure que la distance en aval augmentera en raison de la dilution provoquée par l'eau tribulaire.

^(b) Un changement d'intensité élevée est fondé sur l'hypothèse de la pire éventualité; la collecte de données et la modélisation sont couramment utilisées afin de mieux comprendre les concentrations en matières solides lors d'événements extrêmes.

3.8.6.2 Niveau de confiance des prévisions

À l'exception de l'évapotranspiration, les variables climatiques fondamentales ayant une incidence sur l'hydrologie de référence sont bien comprises. Les données climatiques locales recueillies sur le site de la mine sont limitées et peuvent susciter de l'incertitude dans la compréhension de l'hydrologie en terme de réponse aux précipitations et de génération de ruissellement. Dans le but d'accroître le niveau de confiance, des bases de données climatiques plus élaborées provenant d'endroits voisins ont également été utilisées en vue de caractériser l'hydrologie locale. En raison de la complexité du régime des eaux souterraines, l'interaction entre l'eau de surface et l'eau souterraine dans le secteur du projet n'est pas bien comprise (volume I, annexe 7.1).

Les niveaux d'impact sont fondés sur un modèle hydrologique qui évalue les conditions mensuelles moyennes en fonction des estimations raisonnables des précipitations et du ruissellement annuels. Le niveau de confiance des prévisions associées aux débits du modèle est considéré moyen. La gestion des dérivations et des rejets des bassins joue un rôle essentiel en terme de confiance des prévisions.

Le niveau de confiance des prévisions associées aux concentrations en matières solides est élevé pour des conditions de débit normal jusqu'à des conditions de débit de projet. Malgré certaines incertitudes relatives aux événements extrêmes plus importants que les pluies de projet, le niveau de confiance des prévisions (conséquences moyennes sur l'environnement) s'échelonne de moyen à élevé en raison de la courte durée et de la portée locale de l'événement.

3.8.6.3 Surveillance

Une surveillance continue du climat et de l'écoulement sera mise en place dans les bassins affectés afin d'aider à déterminer la variabilité du débit. Ces données seront utilisées afin de s'assurer que les directives opérationnelles des bassins de rétention répondent aux besoins en aval et permettent de minimiser les impacts. Les rejets des bassins et les débits des cours d'eau en aval seront couramment vérifiés. De plus, un contact régulier sera instauré avec les utilisateurs en aval pour solliciter les commentaires sur le degré d'acceptabilité et de disponibilité des débits.

Tout au long du projet, l'efficacité des mesures de lutte contre l'érosion, de stabilité des pentes et de succès de la réhabilitation sera suivie de près. Les matières solides en suspension et les autres paramètres importants de qualité des eaux rejetées des bassins de rétention seront aussi surveillés afin de s'assurer qu'ils respectent les normes sur la qualité de l'eau. Les concentrations en

matières solides des débits entrants seront également suivies de près afin d'optimiser les dosages de flocculants et ainsi assurer une décantation adéquate dans les bassins de clarification.

3.8.7 Conclusions

Au cours de la construction et de l'exploitation, et après la fermeture, le secteur de la mine aura une conséquence sur l'environnement variant de faible à négligeable pour les écoulements en saison des pluies au niveau des emplacements en aval. La conséquence sera négligeable pour les débits en saison sèche.

Dans les conditions d'exploitation et après la fermeture, la mine aura une conséquence sur l'environnement variant de faible à négligeable pour les concentrations en matières solides dans les cours d'eau récepteurs. En cas de débit extrême en cours d'exploitation, le niveau de conséquence sur l'environnement pourrait être moyen.

La mine devrait entraîner une conséquence sur l'environnement allant de faible à négligeable relativement aux débits et aux concentrations en matières solides dans le marais de Torotorofotsy.

3.9 QUALITE DE L'EAU

3.9.1 Introduction

Cette section présente l'évaluation environnementale des effets de la mine sur la qualité des eaux et des sédiments selon les Termes de référence du projet Ambatovy (le projet), qui sont décrits au volume H, annexe 1.

Le projet comprendra la mise en opération d'une mine de nickel latéritique provenant de deux gisements désignés comme les secteurs d'Ambatovy et d'Analamay. L'aménagement de la mine impliquera divers degrés de perturbation du sol, tels le défrichement, l'excavation et le compactage du sol. L'aménagement de la mine comportera aussi la construction de routes, bâtiments, aires de stationnement et de stockage, haldes de stériles et d'une installation de préparation du minerai qui contiendra une usine de préparation et un bassin ou réservoir de stockage d'eau. Ces perturbations entraîneront l'augmentation des débits de ruissellement dans le secteur jusqu'à ce que les activités de réhabilitation et de revégétalisation soient complétées. L'augmentation du ruissellement causera probablement une augmentation de l'érosion et le débit solide dans les cours d'eau situés en aval. Les variations dans les concentrations de matières solides en suspension résultant des augmentations potentielles de l'érosion sont abordées à la section 3.8 de ce volume (Hydrologie).

Au cours de l'exploitation, la qualité de l'eau de ruissellement provenant des différents types de terrains dans le secteur de la mine pourrait être différente de la qualité de l'eau de ruissellement en conditions de référence. Tout le ruissellement provenant du site sera contrôlé. La majorité du ruissellement provenant du secteur de la mine sera dirigée vers des bassins de rétention et de clarification puis sera déversée dans les cours d'eau et plans d'eau situés plus en aval. Ces rejets pourraient affecter la qualité de l'eau des plans d'eau récepteurs en aval. Tout ruissellement qui n'est pas dirigé vers les bassins sera détourné vers l'usine de préparation du minerai ou vers le pipeline de pulpe qui transporte le minerai extrait vers l'usine de traitement, tel que décrit aux volumes C (pipeline de pulpe) et D (usine de traitement).

L'aménagement et l'exploitation de la mine peuvent aussi provoquer des changements à la qualité des sédiments. L'augmentation des concentrations de certaines substances (par ex., métaux et matières organiques) dans la colonne d'eau peut accentuer le phénomène d'adsorption de ces substances dans les sédiments et entraîner des changements à la qualité des sédiments. De plus, si elle n'est pas atténuée, l'érosion accrue pourrait entraîner des changements aux

concentrations de ces substances dans les sédiments de fond des cours d'eau et plans d'eau récepteurs.

3.9.2 Secteur d'étude

Le secteur local d'étude de la qualité de l'eau est le même que le secteur d'étude de l'hydrologie présenté au volume A, figure 7.2.1. Ce secteur couvre l'étendue probable d'aménagement de la mine et celle où la qualité de l'eau et des sédiments sera probablement affectée. Le secteur local d'étude comprend les zones suivantes:

- six bassins versants principaux de la mine (c.-à-d. les rivières Antslahalava, Sahaviara, Torotorofotsy, Sakalava, Sahamarirana et Ankaja)
- l'emplacement de la conduite de la prise d'eau sur la rivière Mangoro
- le marais de Torotorofotsy

3.9.3 Résumé de l'étude de référence

3.9.3.1 Qualité de l'eau

D'après les échantillons d'eau prélevés durant la saison sèche et la saison des pluies en 2004, la qualité de l'eau aux environs du secteur de la mine est caractérisée par des valeurs de pH de 6,8 à 7,2 et des valeurs d'oxygène dissous généralement près du point de saturation. Les températures de l'eau varient normalement entre 18 et 24°C, bien que des températures plus élevées aient été observées dans certains cours d'eau et plans d'eau.

Les eaux dans le secteur de la mine varient de très douces à moyennement douces. D'après les taux d'alcalinité observés, certains plans d'eau seraient possiblement sensibles à l'acidification. Les niveaux de nutriments étaient généralement faibles pour les paramètres azotés, incluant les nitrates, les nitrites, l'azote total Kjeldahl (NTK) et l'azote ammoniacal, et généralement inférieurs aux limites de détection pour le phosphate total.

En général, il n'y a pas de patrons saisonniers nets pour la majorité des paramètres de la qualité de l'eau mesurés dans le secteur de la mine. De plus, à part quelques exceptions, il ne semble pas y avoir de variations spatiales nettes pour ces paramètres. Les exceptions possibles comprennent le magnésium et le chrome (en saison sèche), qui semblent avoir des concentrations plus élevées aux

stations en aval des gisements d'Ambatovy et d'Analamay qu'aux stations qui en sont plus éloignées.

D'après le système de classification pour la qualité des eaux de surface de Madagascar (tableau 3.9-1), la plupart des cours d'eau et plans d'eau dans le secteur de la mine sont de classe A (usages multiples possibles). Aucune station n'a été classifiée comme étant excessivement contaminée (hors classes) dans le secteur de la mine. Quelques paramètres, notamment l'arsenic, le plomb et le nickel, présentaient des concentrations supérieures aux valeurs recommandées dans les directives de l'Organisation mondiale de la santé (OMS 2004) pour la qualité de l'eau de boisson.

Tableau 3.9-1 Système de classification de Madagascar pour la qualité des eaux de surface

Facteurs	Classe A	Classe B	Classe C	Hors classes
Définition des classes	Bonne qualité: usages multiples possibles	Qualité moyenne: loisirs possibles, baignade pouvant être interdite	Qualité médiocre, baignade interdite	Contamination excessive: aucun usage possible à part la navigation
Facteurs biologiques				
oxygène dissous (mg/L)	OD \geq 5	3 < OD < 5	2 < OD \leq 3	OD < 2
demande biochimique en oxygène sur 5 jours (DBO ₅)	DBO ₅ \leq 5	5 < DBO ₅ \leq 20	20 < DBO ₅ \leq 70	DBO ₅ > 70
demande chimique en oxygène (DCO)	DCO \leq 20	20 < DCO \leq 50	50 < DCO \leq 100	DCO > 100
présence de bactéries pathogènes	Non	non	non	oui
Facteurs physiques et chimiques				
couleur (échelle Pt-Co)	couleur < 20	20 \leq couleur \leq 30	couleur < 30	n.a.
température de l'eau (°C)	température < 25	25 \leq température < 30	30 \leq température < 35	température > 35
pH	6,0 \leq pH \leq 8,5	5,5 < pH < 6,0 ou 8,5 < pH \leq 9,5	pH \leq 5,5 ou pH \geq 9,5	n.a.
matières en suspension (MES) (mg/L)	MES < 30	30 \leq MES < 60	60 \leq MES < 100	MES > 100
conductivité (μ S/cm)	conductivité \leq 250	250 < conductivité \leq 500	500 < conductivité \leq 3000	conductivité > 3000

Echelle Pt-Co = unité sur l'échelle platino-cobalt (ou échelle Hazen).

n.a. = ne s'applique pas.

Madagascar n'a pas de lignes directrices sur la qualité de l'eau visant à protéger la vie aquatique. En l'absence de lignes directrices nationales, les lignes directrices internationales établies par d'autres juridictions, y compris le Canada (Conseil canadien des ministres de l'Environnement [CCME] 2003) et les Etats-Unis (United States Environmental Protection Agency [USEPA] 2004), ont été utilisées pour réaliser une évaluation préliminaire des niveaux de référence en ce qui concerne la qualité de l'eau dans le secteur de la mine. Lorsque les lignes

directrices du CCME et de l'USEPA pour la protection de la vie aquatique diffèrent, les données sur la qualité de l'eau du site ont été comparées à la ligne directrice la plus sévère. Les lignes directrices sud-africaines pour la protection des écosystèmes aquatiques (Department of Forest and Water Affairs 1996) ont été aussi utilisées comme point de référence dans l'évaluation des résultats, puisqu'il s'agit d'un l'ensemble de lignes directrices pour l'évaluation de la qualité de l'eau à la fois reconnu à l'échelle régionale et établi par la juridiction étrangère la plus rapprochée du secteur de la mine.

Les résultats de l'évaluation préliminaire montrent que les concentrations de plusieurs métaux, y compris l'aluminium, l'arsenic, le chrome, le cuivre, le fer, le plomb, le mercure, le nickel et le zinc, dépassaient parfois les valeurs des lignes directrices pour la vie aquatique de l'USEPA ou du CCME. Cependant, étant donné que les lignes directrices canadiennes et américaines ne tiennent pas compte des conditions écologiques locales qu'on retrouve à Madagascar, les dépassements des lignes directrices devraient être traités avec prudence. D'ailleurs, il n'est pas rare que les recommandations des lignes directrices ne soient pas respectées dans les juridictions mêmes où elles ont été établies, à cause de considérations climatiques, géologiques ou hydrogéochimiques propres à un site.

3.9.3.2 Qualité des sédiments

Les sédiments dans le secteur de la mine varient en qualité d'une texture fine dominante à une texture grossière dominante. Les différences dans les caractéristiques physiques des sédiments se traduisent en différences par rapport à des paramètres de qualité clés, y compris le carbone organique, les nutriments et les métaux. Cependant, à cause de l'insuffisance de l'échantillonnage des sédiments effectué jusqu'à maintenant, il n'est pas possible de dégager des tendances nettes concernant les variations spatiales de leurs caractéristiques.

Madagascar n'a pas de lignes directrices sur la qualité des sédiments. En l'absence de telles lignes directrices, les résultats d'analyses des échantillons de sédiments du site ont été comparés aux lignes directrices du Canada (CCME 2003) et des Etats-Unis (U.S. National Oceanographic and Atmospheric Association 1999). Les dépassements des concentrations recommandées dans les lignes directrices d'autres juridictions devraient être traités avec prudence parce que celles-ci ne tiennent pas compte des conditions écologiques locales. De plus, les lignes directrices n'ont été établies que pour quelques paramètres, dont l'arsenic, le cadmium, le cuivre, le plomb, le mercure, le nickel et le zinc. Parmi les paramètres de qualité des sédiments pour lesquels des lignes directrices existent, seulement deux, le cuivre et le nickel présentaient des dépassements.

Des détails supplémentaires concernant les conditions de référence sont fournis au volume I, section 9.1.

3.9.4 Portée des enjeux

Dans l'ensemble, les préoccupations des parties prenantes et des autorités réglementaires, au sujet de la qualité de l'eau, sont centrées sur les utilisations de l'eau et les processus écologiques (volume A, section 6). Les utilisateurs de l'eau en aval, de même que la vie aquatique, pourraient être affectés négativement par des changements à la qualité de l'eau associés aux activités de construction, d'exploitation et de fermeture du projet. Dans les bassins versants entourant le projet, les principaux usages de l'eau comprennent : l'usage domestique, d'irrigation agricole (principalement les rizières) et pour les ressources écologiques.

Les éléments suivants, concernant le secteur de la mine, auraient le potentiel d'affecter la qualité de l'eau des cours d'eau et plans d'eau de surface près du site de la mine:

- préparation et défrichement du site
- émissions atmosphériques provenant de l'usine de préparation du minerai, des équipements de la mine et des véhicules
- détournement et perturbation des réseaux de drainage naturels
- lixiviation des métaux des haldes et piles de stockage
- percolation provenant du secteur de la mine
- rejet des eaux de ruissellement provenant des bassins de rétention et de clarification qui sont utilisés pour gérer l'eau dans le secteur de la mine
- rejets et déversements accidentels
- activités de fermeture et de réhabilitation

Les liens entre les activités du projet et les effets sur la qualité de l'eau et des sédiments sont fournis au volume H, annexe 9. Les effets potentiels sur la qualité de l'eau peuvent survenir durant toutes les phases du projet, y compris la construction, l'exploitation et après la fermeture.

La question clé au sujet de la qualité de l'eau et des sédiments est:

Question clé QESF-1 Quels seront les impacts du site de la mine sur la qualité de l'eau et des sédiments?

3.9.5 Evaluation des impacts

Le secteur de la mine proposé est situé sur la ligne de partage des eaux de six bassins versants, soient ceux des rivières Antsahalava, Sahaviara, Torotorofotsy, Sakalava, Sahamarirana et Ankaja. Les bassins versants des rivières Sahaviara et Sahamarirana drainent le secteur du gisement d'Ambatovy alors que les bassins versants des rivières Torotorofotsy, Sakalava et Ankaja drainent le secteur du gisement d'Analamay.

Des bassins de rétention et de clarification seront aménagés pour chacun des six bassins versants afin d'assurer la collecte des sédiments et ainsi de réduire la charge en sédiments transportés par ruissellement et provenant des zones affectées par la mine. Pour chacun des bassins versants, l'eau sera acheminée vers un bassin de rétention puis vers le bassin de clarification avant d'être rejetée dans les cours d'eau et plans d'eau récepteurs. Les eaux de ruissellement proviendront de divers lieux d'origine : les secteurs non perturbés, les secteurs exploités, les secteurs des empilements de résidus ou autres secteurs perturbés (c.-à-d. routes et bâtiments) situés dans le secteur de la mine. Or, les eaux fortement affectées provenant des puisards de fosses actives seront acheminées de préférence vers l'usine de préparation du minerai. Les sous bassins associés aux diverses distances en aval sont illustrés dans la section Hydrologie (volume B, figure 3.8-1).

Les liens d'impact suivants ont été évalués en rapport aux changements à la qualité de l'eau et des sédiments:

Prélèvement d'eau dans la rivière Mangoro

L'eau sera pompée de la rivière Mangoro pour subvenir aux besoins d'eau de la mine (usine de préparation de la pulpe). La construction de la prise d'eau comportera des mesures de lutte contre l'érosion afin de minimiser la quantité de solides (sédiments) entrant dans la rivière Mangoro. En se basant sur les prévisions de l'évaluation hydrologique, une réduction maximale de 0,5% des débits annuels moyens et une réduction maximale de 1,4% en périodes sèches (débit journalier minimal sur 10 ans) sont prévues à l'emplacement de la prise d'eau dans la rivière Mangoro. A la lumière de ces prévisions et considérant les mesures de lutte contre l'érosion, l'impact du prélèvement d'eau pour les besoins de la mine sur la qualité de l'eau et des sédiments dans la rivière Mangoro sera négligeable.

Impact des émissions atmosphériques sur la qualité de l'eau de surface

Les émissions atmosphériques provenant de la combustion de combustibles fossiles dans le secteur de la mine contiendront des dioxydes d'azote et de soufre. Ces émissions atmosphériques pourraient causer l'acidification (abaissement du pH) des étangs naturels situés dans le secteur non perturbé de la mine. Cependant, les données disponibles à ce jour sur la qualité de l'eau dans ces étangs naturels sont insuffisantes pour permettre l'évaluation de leur potentiel d'acidification. Des programmes additionnels de suivi des étangs seront réalisés avant la phase de construction, incluant la caractérisation des aires de protection de la végétation azonale qui sont localisées sur place.

L'acidification des cours d'eau récepteurs autour de la mine n'est pas prévue compte tenu des valeurs de pH de référence (6,8 à 7,2) et des prévisions pour l'alcalinité (21 à 45 mg/L en CaCO_3). Par conséquent, le potentiel d'acidification des cours d'eau récepteurs n'a pas été évalué plus avant.

Percolation

Il est possible que la qualité des eaux d'infiltration en provenance des secteurs de la mine, durant l'exploitation et après la fermeture, soit différente en comparaison des conditions de référence, quant aux concentrations dans l'eau souterraine. Cependant, tel que décrit dans la section 3.7 portant sur l'hydrogéologie (volume B), les volumes d'eau d'infiltration générés devraient être minimes. À la lumière des connaissances actuelles sur le réseau d'écoulement des eaux souterraines, les eaux d'infiltration n'affecteront probablement pas la qualité des eaux de surface et des sédiments dans les cours d'eau et les plans d'eau récepteurs en aval.

Rejets ou déversements accidentels

Il est possible que les rejets ou déversements accidentels puissent affecter la qualité de l'eau et des sédiments et limiter les usages de l'eau en aval en fonction du type de matériau rejeté, des conditions météorologiques, de l'intensité, de la durée et de l'emplacement du déversement ou rejet. Bien qu'aucun scénario de rejet ou de déversement accidentel n'ait été évalué dans la section de l'étude portant sur la qualité de l'eau, des mesures d'atténuation ont été identifiées afin de réduire et de minimiser les effets de tels événements (voir section 3.9.5.4). De plus, des systèmes de gestion environnementale seront élaborés et mis en oeuvre afin de minimiser les possibilités de rejet ou déversement accidentel, de caractériser les changements à la qualité de l'eau et des sédiments et de réduire les effets anticipés si un tel événement devait se produire.

Fortes pluies

Lors d'événements de fortes pluies, il est possible que des émissions de substances soient occasionnées qui pourraient affecter la qualité de l'eau en aval des secteurs de la mine. L'érosion accrue provoquée par de forts ruissellements peut augmenter les solides en suspension et la charge de fond dans les cours d'eau et plans d'eau situés en aval. A l'exception des MES, les paramètres de la qualité de l'eau seront dilués considérablement à cause des grands volumes d'eau impliqués. Ce processus de dilution résultera vraisemblablement en la diminution des concentrations de la plupart des paramètres de la qualité de l'eau. Des travaux de terrain et d'évaluation supplémentaires sont en cours afin de mieux quantifier les effets de l'augmentation des charges solides pouvant être occasionnée par des tempêtes.

Rejet de l'eau des bassins durant l'exploitation

Les bassins de rétention et de clarification assureront la collecte de l'eau de ruissellement dans les six principaux bassins versants dans le secteur de la mine. Une portion de la superficie de chacun des six bassins versants demeurera non perturbée, et les eaux de ruissellement provenant de cette portion conservera les caractéristiques de la qualité de l'eau de référence. Cependant, il est possible que la qualité des eaux de ruissellement provenant des zones perturbées soit différente des conditions de référence. Ces zones comprendront : les secteurs exploités, les piles de stockage et les haldes, les secteurs réhabilités, les secteurs des bassins et autres secteurs perturbés (par ex., routes, bâtiments et autres installations annexes de la mine). Ce lien d'impact a été évalué au moyen d'un modèle de bilan massique, tel que décrit ci-après dans la section décrivant les méthodes d'évaluation d'impact (section 3.9.5.1).

Rejet de l'eau des bassins après la fermeture

Après la fermeture de la mine, il est possible que la qualité des eaux de ruissellement provenant des secteurs réhabilités soit différente des conditions de référence. Par conséquent, il est possible que les effets sur la qualité de l'eau en aval du secteur de la mine associés aux eaux de ruissellement perdurent même après la fermeture de la mine.

Sédiments

Les changements à la qualité de l'eau, notamment en ce qui concerne les métaux et nutriments qui ont une propension à être adsorbés sur les sédiments, peuvent occasionner des changements à la qualité des sédiments des cours d'eau et plans d'eau récepteurs. Ce lien d'impact a été évalué plus avant au moyen du modèle

de qualité des sédiments, tel que décrit ci-après dans les méthodes d'évaluation des impacts (section 3.9.5.1).

3.9.5.1 Méthodes d'évaluation

L'évaluation de la qualité de l'eau et des sédiments a été établie selon un processus itératif avec incorporation de mesures d'atténuation évolutives. Ce processus itératif d'évaluation a été maintenu jusqu'à ce que les valeurs prévues de la qualité de l'eau et des sédiments liées aux activités d'exploitation de la mine deviennent inférieures aux valeurs seuils des lignes directrices applicables pour la santé humaine et pour la protection de la flore, de la faune et de la vie aquatique. L'évaluation des effets de la qualité de l'eau et des sédiments reliés à l'exploitation de la mine sur les récepteurs biologiques est décrite au volume B. L'évaluation des effets sur la santé humaine et sur la flore, la faune et la vie aquatique a été réalisée en se basant sur les prévisions de la qualité de l'eau et des sédiments décrites plus loin à la section 3.9.5.4.

Dans le modèle de bilan massique, les concentrations des paramètres de la qualité de l'eau ont été calculées pour le même ensemble de nœuds d'évaluation et aux mêmes temps (instantanés) pour lequel les débits ont été prévus (volume B, section 3.8). Pour chacun des six bassins versants, la qualité de l'eau a été prévue à divers nœuds d'évaluation situés entre 0 et 10 000 mètres en aval des bassins de clarification. Ces nœuds d'évaluation fournissent des conditions représentatives de la qualité de l'eau et des sédiments dans le secteur local d'étude selon les scénarios de conditions de référence, d'exploitation et de post-fermeture. Les nœuds d'évaluation tenaient également compte des emplacements où les débits de référence et prévus étaient disponibles, tel que décrit dans la section Hydrologie (Volume B, section 3.8).

Pour chaque bassin versant, l'évaluation a été effectuée à intervalles mensuels pour six instantanés de scénarios. Les scénarios qui ont été considérés sont les conditions de référence, quatre instantanés en période d'exploitation (année 4, année 10, année 15 et année 20) et après la fermeture. Ces instantanés de scénarios sont cohérents avec les scénarios utilisés dans la section Hydrologie (volume B, section 3.8).

Qualité de l'eau

Un modèle de bilan massique a été utilisé pour prévoir les changements à la qualité de l'eau résultant du rejet de l'eau des bassins de clarification dans l'environnement récepteur durant l'exploitation et après la fermeture. La qualité de l'eau de aux conditions de référence était fondée sur des données mesurées.

Les variations dans les concentrations en MES sont abordées spécifiquement au volume I, annexe 9.2.

Les hypothèses de modélisation de la qualité de l'eau reposent sur la conception de projet actuelle. L'équipe d'étude environnementale a travaillé de près avec l'équipe de conception d'ingénierie à élaborer des hypothèses raisonnables et suffisamment détaillées afin de permettre une simulation de la qualité de l'eau à incrément de temps mensuel. Certains aspects de l'ingénierie et, par conséquent, certaines hypothèses spécifiques, pourraient changer suite à la réalisation de l'ingénierie détaillée. Cependant, des mesures d'atténuation feront en sorte que tout impact sur la qualité de l'eau ou des sédiments demeure dans les limites décrites dans la présente évaluation.

Les hypothèses de modélisation fondées sur la conception actuelle comprennent:

- conditions de mélange complet
- comportement conservatif de toutes les substances chimiques (c.-à-d. aucune atténuation dans les bassins de clarification et aucune transformation géochimique dans les eaux de surface)
- un maximum de 25% de toutes les fosses de mine seront exposées en tout temps
- les niveaux des matières en suspension (MES) dans les étangs seront de moins de 50 mg/L jusqu'à une pluie décennale
- les concentrations dans les eaux de ruissellement et les eaux réceptrices sont telles qu'indiquées au tableau 3.9-2
- couverture végétale sur les secteurs réhabilités afin d'empêcher les eaux de ruissellement d'entrer en contact avec le minerai ou les stériles
- la qualité des eaux de ruissellement des secteurs réhabilités et recouverts sera équivalente à la qualité des eaux de ruissellement de référence
- la qualité de l'eau naturelle non perturbée représente les conditions de référence

Les débits associés à chaque type de terrain dans le secteur de la mine et à chaque nœud d'évaluation sont basés sur les résultats de la discipline hydrologie (volume B, section 3.8). Les détournements des eaux de ruissellement provenant des secteurs actifs de la mine, des haldes de stériles et des piles de stockage de minerai seront nécessaires durant la phase d'exploitation de la mine afin de réduire les charges solides dans les bassins de clarification localisés au sein des trois bassins versants du secteur minier d'Analamay. Dans les scénarios

modélisés, les règles de fonctionnement suivantes ont été considérées pour le détournement des eaux de ruissellement:

- La source d'eau primaire pour l'usine de préparation du minerai est la rivière Mangoro.
- Si nécessaire, les écoulements provenant des secteurs de la mine active, des haldes de stériles et des piles de stockage de minerai seraient transférés directement dans l'usine de préparation du minerai plutôt que dans l'un des six bassins de clarification.
- Si les débits des cours d'eau récepteurs doivent être réduits encore davantage après le détournement de tout le ruissellement provenant des secteurs de la mine active, des haldes de stériles et des piles de stockage de minerai, l'eau du bassin de clarification sera dirigée vers l'usine de préparation du minerai afin de réduire davantage le débit en aval.
- Tout le ruissellement provenant de la pile d'homogénéisation (qui peut contenir jusqu'à 100% de saprolite à faible teneur en magnésium) sera détourné vers l'usine de préparation du minerai.

Les renseignements sur la qualité de l'eau de ruissellement de divers secteurs ainsi que la source de ces renseignements utilisés pour la modélisation sont résumés au tableau 3.9-2. La qualité de l'eau dans les cours d'eau récepteurs est fondée sur les concentrations moyennes de référence des substances dans les cours d'eau à l'intérieur du secteur de la mine en saison des pluies et en saison sèche. La saison des pluies et la saison sèche correspondent aux mois de décembre à mars et avril à novembre, respectivement, ce qui correspond aux saisons définies dans l'évaluation hydrologique.

Tableau 3.9-2 Résumé des données sur la qualité de l'eau utilisées pour l'évaluation

Secteur	Description	Source
secteurs de la mine	qualité prévue de l'eau de ruissellement provenant des secteurs exploités de la mine	évaluation géochimique (volume B, section 3.2)
secteurs des stériles	qualité prévue de l'eau de ruissellement provenant des secteurs des stériles	évaluation géochimique (volume B, section 3.2)
secteurs non perturbés	concentrations moyennes de référence dans les cours d'eau du secteur de la mine	qualité de l'eau aux conditions de référence (volume I, annexe 9.1)
secteurs perturbés (autres que les secteurs de la mine et des résidus miniers)	concentrations de référence pour les échantillons ayant des MES maximums.	qualité de l'eau aux conditions de référence (volume I, annexe 9.1)
secteurs réhabilités	concentrations moyennes de référence dans les cours d'eau du secteur de la mine	qualité de l'eau aux conditions de référence (volume I, annexe 9.1)
secteur des bassins	des concentrations nulles ont été utilisées pour représenter les concentrations des paramètres de qualité de l'eau dans les précipitations	ne s'applique pas

Tous les paramètres de qualité de l'eau (ou « variables »), pour lesquels des données suffisantes étaient disponibles, ont été modélisées pour le secteur de la mine (tableau 3.9-3). Les valeurs de pH n'ont pas été prévues dans le modèle de bilan massique. Cependant, la fourchette possible des valeurs de pH à l'exutoire des six bassins versants a été évaluée pour les scénarios de référence, d'exploitation et de post-fermeture en utilisant les données provenant des sources d'information énumérées au tableau 3.9-2.

Tableau 3.9-3 Paramètres de la qualité de l'eau évalués

Groupe	Variables
conventionnel	alcalinité totale
ions majeurs	calcium, chlorure, fluorure, magnésium, potassium, sodium, sulfate
nutriments	azote ammoniacal, nitrate et nitrite
métaux totaux	aluminium, antimoine, arsenic, baryum, bore, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, fer, plomb, manganèse, mercure, molybdène, nickel, sélénium, silicium, thallium, étain, uranium, vanadium et zinc

Qualité des sédiments

Les changements à la qualité des sédiments ont été prévus à partir des lignes directrices de l'USEPA (1999) pour le calcul des concentrations de sédiments benthiques. Les équations proposées par l'USEPA (1999) permettent d'estimer, pour une substance donnée présente dans un plan d'eau, la proportion de cette substance qui se retrouvera dans les sédiments, au moyen des coefficients de partition chimique, de la porosité des sédiments, des concentration en MES, de la profondeur de l'eau et de la profondeur des sédiments benthiques. Les changements dans la qualité des sédiments durant l'exploitation et après la fermeture ont été calculés à partir des prévisions de qualité de l'eau.

Les calculs de qualité des sédiments sont basés sur l'hypothèse que la charge solide des cours d'eau et plans d'eau en aval sera négligeable à cause de la mise en œuvre de mesures d'atténuation efficaces. Lorsque disponibles, les concentrations en substances chimiques dans les sédiments aux conditions de référence ont été utilisées pour calibrer le modèle de qualité des sédiments. Les équations et données d'entrée du modèle sont fournies au volume I, annexe 9.2.

Les variations de concentrations dans les sédiments ont été évaluées pour l'aluminium, l'antimoine, l'arsenic, le cadmium, le cobalt, le cuivre, le fer, le plomb, le manganèse, le mercure, le nickel, le sélénium, le thallium, le vanadium et le zinc. Ces métaux ont été évalués dans le modèle de qualité de l'eau, et on disposait donc de données sur la qualité des sédiments aux conditions de référence pour calibrer des équations de qualité des sédiments. Les données sur la qualité des sédiments aux conditions de référence n'étaient pas disponibles pour le chrome; cependant, les variations de la concentration de chrome dans les sédiments benthiques associés au projet ont été évaluées en raison d'une augmentation non négligeable de la concentration de ce métal dans la colonne d'eau par rapport aux conditions de référence.

3.9.5.2 Critères d'évaluation

Comparaison avec les concentrations de référence et les lignes directrices

Les concentrations maximales prévues pour la saison des pluies et la saison sèche durant l'exploitation et après la fermeture ont été comparées aux concentrations de référence correspondantes. Pour la phase d'exploitation et après la fermeture, une augmentation des concentrations maximales prévues résultant en un dépassement des concentrations de référence correspondantes par une marge de 10% ou plus sera considérée non négligeable. Etant donné que les limites de détection des données de référence de la saison des pluies et de la saison sèche sont très différentes, les concentrations prévues pour la saison des pluies n'ont

été comparés qu'aux données de référence de la saison des pluies et les concentrations prévues pour la saison sèche n'ont été comparés qu'aux données de référence de la saison sèche. Les concentrations prévues qui sont considérablement plus élevées que les concentrations de référence ont été comparées aux directives pour la qualité de l'eau de boisson et aux lignes directrices pour la protection de la vie aquatique. Les directives de l'Organisation mondiale de la santé (OMS 2004) pour la qualité de l'eau de boisson et les lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques (Department of Forest and Water Affairs 1996) ont été utilisées aux fins de comparaison.

Toutes les concentrations prévues de chrome sont représentatives des concentrations en chrome total. Cependant, lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques sont, en ce qui concerne le chrome, basées sur le chrome hexavalent et le chrome trivalent. Bien que l'approche la plus prudente consiste à supposer que tout le chrome soit sous forme hexavalente, il est plus probable que le chrome se retrouvera sous les deux formes possibles, soient le chrome trivalent et le chrome hexavalent. Par conséquent, les résultats pour le chrome total ont été comparés aux lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques, et pour le chrome trivalent et pour le chrome hexavalent.

Les résultats prévus pour la qualité des sédiments ont été comparés aux concentrations de référence et aux lignes directrices canadiennes sur la qualité des sédiments (CCME 2003). Les lignes directrices canadiennes ont été utilisées comme base de comparaison parce qu'il n'existe aucune ligne directrice sur la qualité des sédiments approuvée localement ou régionalement.

La comparaison entre les concentrations de référence et les lignes directrices est présentée au volume I, annexe 9.1.

Caractérisation des changements à la qualité de l'eau

Six paramètres clés jugés représentatifs ont été choisis pour caractériser les changements potentiels à la qualité de l'eau dans le secteur de la mine, soit le cadmium, le chrome, le cobalt, le plomb, le nickel et le zinc. Le cadmium, le chrome, le plomb et le zinc ont été choisis parce que les résultats prévus dans les scénarios d'exploitation pour ces quatre paramètres dépassaient les concentrations de référence par une marge de 10% ou plus et étaient supérieurs aux lignes directrices sud-africaines. Le cobalt et le nickel ont aussi été choisis parce qu'il s'agit des métaux d'intérêt du minerai.

Les concentrations prévues à l'exutoire des bassins de clarification et aux nœuds d'évaluation en aval pour ces six paramètres clés sont présentées pour chaque bassin versant. Les effets des changements prévus sur les récepteurs biologiques sont évalués séparément au volume B pour la flore (section 4.1), la faune (section 4.2), les poissons et les ressources aquatiques (section 4.3) et la santé humaine et écologique (section 5.4).

3.9.5.3 Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation suivantes, reposant sur la conception actuelle de la mine, ont été intégrées au modèle de la qualité de l'eau:

- mise en oeuvre de systèmes de lutte contre l'érosion et des sédiments
- utilisation de bassins de décantation et de clarification (avec capacité de traitement par floculation) avant le rejet en aval
- hypothèse qu'un maximum de 25% de la surface de chacune des fosses est exposée à tout moment durant l'exploitation, ce qui signifie que 75% de la surface restante est soit non perturbée, soit réhabilitée
- si nécessaire, détournement des eaux de ruissellement provenant des secteurs de la mine en activité, des haldes de stériles et piles de stockage de minerai vers l'usine de préparation du minerai
- réhabilitation progressive des secteurs de la mine et des résidus par revégétalisation
- mise en place d'un plan durable de réhabilitation des réseaux de drainage lors de la fermeture

Les systèmes de lutte contre l'érosion et des sédiments qui seront conçus minimiseront le débit solide en suspension et le transport des substances chimiques adsorbées dans les réseaux hydrographiques en aval. L'utilisation de flocculants dans les bassins de rétention et de clarification réduira aussi les quantités de matières en suspension (MES) et de substances chimiques adsorbées dans les bassins avant le rejet en aval.

Les eaux de ruissellement qui ont été en contact avec la saprolite à faible teneur en magnésium (SFTM) seront probablement caractérisées par des concentrations élevées en chrome comparativement aux eaux de ruissellement (aux conditions de référence) provenant des secteurs non perturbés. La stratégie d'exploitation de la mine vise à réduire la quantité de ruissellement entrant en contact avec la SFTM en minimisant la quantité de SFTM exposée dans le secteur d'exploitation. Il est considéré qu'un maximum de 25% de la surface d'une fosse

d'exploitation sera en activité à tout moment, alors que 75% de la surface restante sera recouverte (réhabilitée ou non perturbée).

Les eaux de ruissellement caractérisées par de fortes concentrations des paramètres clés seront détournées des secteurs d'exploitation, des haldes de stériles et des piles de stockage de minerai vers l'usine de préparation du minerai, ce qui minimisera les rejets dans les eaux réceptrices en aval du secteur de la mine.

La réhabilitation progressive des secteurs d'exploitation et de stockage minimisera la portion de secteurs perturbés qui pourraient contribuer aux rejets dans les eaux de ruissellement. Du paillis et des sols provenant du site mais ne contenant pas de résidus miniers seront utilisés pour former la couche de base qui assurera la croissance de la végétation. La revégétalisation sera réalisée en utilisant de nombreuses espèces à croissance rapide convenant à un large éventail de conditions. A mesure que la végétation deviendra plus dense, cette couche de sol et de végétation créera une barrière entre l'eau de ruissellement et le minerai ou les stériles.

La réhabilitation du paysage, incluant le rétablissement d'un réseau de drainage et d'un couvert végétal durables, sera réalisée après la fermeture. Le paysage qui sera aménagé durant la phase post-fermeture sera caractérisé par des pentes et des canaux de drainage qui minimiseront l'érosion et le débit solide dans les plans d'eau récepteurs situés en aval.

Outre les mesures d'atténuation décrites précédemment, les autres mesures pour la protection de la qualité de l'eau sont : la création d'aires d'entreposage et de manutention des stériles, l'application d'un plan de gestion des stériles et l'élaboration d'un plan d'intervention d'urgence. Toutes ces mesures seront intégrées dans le système de gestion environnemental pour l'exploitation (volume H, annexe 6).

3.9.5.4 Résultats

Qualité de l'eau

Les prévisions du modèle pour tous les scénarios, bassins versants, nœuds du modèle et mois de l'année considérés sont présentées aux tableaux 9.2-3 à 9.2-12 du volume I, annexe 9.2. Ces résultats ont été utilisés pour l'évaluation des effets sur la santé humaine et sur la flore, la faune et la vie aquatique.

Au cours de la période post-fermeture, les concentrations maximales prévues pour tous les paramètres sont égales ou inférieures aux concentrations de

référence. Par conséquent, la qualité de l'eau après la fermeture n'est pas étudiée plus avant dans la présente section. Les concentrations maximales prévues dans chacun des six bassins versants pour les scénarios d'exploitation ont été comparées aux concentrations de référence, aux directives sur la qualité de l'eau de boisson et aux lignes directrices pour la protection de la vie aquatique (tableaux 9.2-3 à 9.2-12 du volume I, annexe 9.2). Pour les scénarios d'exploitation, les concentrations prévues pour six paramètres (nitrate, fluorure, sodium, sulfate, baryum et chrome) à l'exutoire des bassins de clarification sont plus élevées que les concentrations de référence durant la saison sèche (tableau 3.9-4). Cependant, les concentrations prévues pour ces six paramètres sont inférieures aux directives pour l'eau de boisson. Les concentrations prévues pour le chrome dépassent les lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques; les effets de ce dépassement sur les récepteurs biologiques sont évalués de façon plus détaillée tel que décrit ci-avant à la section 3.9.5.2 (Critères d'évaluation).

En saison sèche et en phase d'exploitation, les concentrations prévues pour quinze paramètres à l'exutoire des bassins de clarification sont supérieures aux concentrations de référence (tableau 3.9-4). Les concentrations prévues pour ces quinze paramètres sont toutes inférieures aux directives pour l'eau de boisson, alors que les concentrations prévues pour quatre paramètres (cadmium, chrome, plomb et zinc) sont en excès des lignes directrices sud-africaines pour l'écosystème aquatique. Cependant, les augmentations prévues des concentrations en zinc, cadmium et plomb sont minimales. De plus, le bruit de fond géochimique contribue de façon appréciable aux concentrations de cadmium et de plomb qui sont en excès des valeurs des lignes directrices sud-africaines. Les effets sur les récepteurs biologiques de l'augmentation prévue des concentrations des paramètres de la qualité de l'eau sont évalués de façon plus détaillée, tel que décrit à la section 3.9.5.2 (Critères d'évaluation).

Tableau 3.9-4 Comparaison entre les concentrations maximales prévues et les concentrations de référence et lignes directrices sud-africaines

Bassin	Antsahalava		Sahaviara		Sahamarirana		Torotorofotsy		Sakalava		Ankaja	
Saison	Pluies	Sèche	Pluies	Sèche	Pluies	Sèche	Pluies	Sèche	Pluies	Sèche	Pluies	Sèche
nitrate (NO ₃)	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nitrite (NO ₂)	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-	-	-	-
fluorure (F)	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sodium (Na)	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sulfate (SO ₄)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
antimoine (Sb)	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓
arsenic (As)	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓
baryum (Ba)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
cadmium (Cd)	-	•	-	-	-	-	-	•	-	•	-	•
chrome (Cr) ¹	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
chrome (Cr) ²	✓	•	✓	✓	•	•	•	•	•	•	•	•
plomb (Pb)	-	-	-	-	-	-	-	•	-	•	-	•
molybdène (Mo)	nd	✓	nd	✓	nd	✓	nd	✓	nd	✓	nd	✓
sélénium (Se)	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓
thallium (Tl)	nd	✓	nd	✓	nd	✓	nd	✓	nd	✓	nd	✓
uranium (U)	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓
zinc (Zn)	-	•	-	•	-	•	-	✓	-	✓	-	✓

- Ne dépasse ni la concentration de référence (moins de 10% de différence entre la concentration de référence et la concentration maximale prévue) ni la valeur seuil des lignes directrices sud-africaines.
- ✓ Dépasse la concentration de référence par une marge de 10% ou plus (variations reliées au projet).
- Dépasse la concentrations de référence et dépasse aussi la valeur seuil des lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques (Department of Water Affairs and Forestry 1996).
- nd Les données de référence pour ce paramètre n'étaient pas disponibles pour la saison des pluies.
- ¹ Comparaison avec les lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques pour le chrome hexavalent.
- ² Comparaison avec les lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques pour le chrome trivalent.

Le chrome est le paramètre présentant la plus forte augmentation des concentrations prévues occasionnées par des activités reliées au projet. Les sources les plus importantes de chrome sont les eaux de ruissellement provenant des secteurs de la mine et des secteurs des stériles. Les concentrations prévues en chrome dans les eaux réceptrices sont plus élevées dans les bassins versants du secteur d'Analamay que dans les bassins versants d'Ambatovy. Les concentrations prévues en chrome dans les eaux de ruissellement du secteur d'Analamay variaient entre 0,36 et 0,41 mg/L comparativement aux concentrations dans le secteur d'Ambatovy qui se situent entre 0,02 et 0,11 mg/L (volume B, section 3.2).

La portée géographique en aval des concentrations prévues qui sont en excès des lignes directrices sud-africaines a été examinée aux tableaux 9.2-3 à 9.2-12 du volume I, annexe 9.2. Durant la phase d'exploitation, les concentrations prévues

en chrome à l'exutoire des bassins de clarification des six bassins versants sont inférieures aux directives de l'OMS pour l'eau de boisson mais supérieures aux lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques, en adoptant l'hypothèse prudente que tout le chrome est sous la forme hexavalente. Cependant, dans les bassins versants d'Ambatovy, les concentrations prévues en chrome sont inférieures aux lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques pour le chrome hexavalent à des distances variant de 1,5 à 6,5 km en aval des bassins de clarification, à cause de la dilution exercée par les secteurs non perturbés des bassins versants. Dans les bassins versants d'Analamay, les concentrations prévues en chrome sont en excès des lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques pour le chrome hexavalent à la plupart des nœuds d'évaluation situés à des distances variant entre 5 et 10 km en aval des bassins de clarification. La portée géographique en aval des dépassements prévus de la ligne directrice pour le chrome trivalent est moindre que la portée des dépassements prévus pour la forme hexavalente. Les effets sur les récepteurs biologiques de l'augmentation prévue des concentrations en chrome sont évalués plus avant, tel que décrit dans la section 3.9.5.2 (Critères d'évaluation).

Les concentrations de référence en cadmium et en plomb sont en excès des lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques et il est prévu que les deux paramètres n'augmentent que de façon minime durant l'exploitation, respectivement dans quatre et trois bassins versants, à cause des eaux de ruissellement provenant de secteurs perturbés. Les concentrations prévues en cadmium et en plomb dans les eaux de ruissellement provenant des secteurs de la mine et des stériles sont inférieures aux concentrations de référence et, par conséquent, ne contribuent pas à l'augmentation prévue. Les effets sur les récepteurs biologiques de l'augmentation prévue des concentrations en cadmium et en plomb sont évalués plus avant, tel que décrit à la section 3.9.5.2 (Critères d'évaluation). Les concentrations en cadmium et en plomb décroissent jusqu'aux niveaux de référence dans le scénario post-fermeture.

Dans les bassins versants d'Ambatovy, les concentrations prévues en zinc augmentent de façon minime et sont supérieures aux lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques à l'exutoire des bassins. Les concentrations prévues diminuent sous les valeurs des lignes directrices applicables à 7,5 km, 3 km et 2 km en aval des exutoires des bassins versants de l'Antsahalava, de la Sahaviara et de la Sahamarirana, respectivement, pour les scénarios d'exploitation. Les effets sur les récepteurs biologiques de l'augmentation prévue des concentrations en zinc sont évalués plus avant, tel que décrit à la section 3.9.5.2 (Critères d'évaluation). Les concentrations en zinc décroissent jusqu'aux niveaux de référence dans le scénario post-fermeture.

Les concentrations prévues en nickel et en cobalt sont faibles pour tous les scénarios et dans tous les bassins versants. Les concentrations prévues pour ces deux métaux diminuent durant l'exploitation comparativement aux niveaux de référence. Les concentrations prévues en nickel et en plomb pour le scénario post-fermeture décroissent jusqu'aux niveaux de référence.

Les variations des concentrations des paramètres de qualité de l'eau dans la rivière Torotorofotsy ont été utilisés comme guide afin d'évaluer les effets liés au projet sur le marais de Torotorofotsy. La rivière Torotorofotsy est le principal tributaire en amont du marais qui pourrait potentiellement être affecté par le projet. Les changements à la qualité de l'eau dans la rivière Torotorofotsy pour les six paramètres clés représentatifs sont résumés au tableau 3.9-5.

Tableau 3.9-5 Concentrations des paramètres clés de la qualité de l'eau dans la rivière Torotorofotsy et dans le marais de Torotorofotsy (valeurs observées et prévues)

Paramètre	Unités	Directives de l'OMS pour la qualité de l'eau de boisson ^(a)	Lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques ^(b)	Niveau de référence (rivière Torotorofotsy)		Prévisions: exploitation (rivière Torotorofotsy)		Prévisions: post-fermeture (rivière Torotorofotsy)		Niveau de référence (marais de Torotorofotsy)	
				Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
cadmium (Cd)	mg/L	0,003	0,00015 ^(c,d)	0,0005	0,0050	0,0005	0,0050	0,0005	0,0050	<0,001	<0,01
chrome (Cr)	mg/L	0,05 ^(e)	0,014/0,024 ^(f,g)	0,006	0,008	0,018	0,019	0,006	0,008	<0,003	0,010
cobalt (Co)	mg/L	-	-	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,010
plomb (Pb)	mg/L	0,01	0,000475 ^(c,g,h)	0,005	0,050	0,005	0,050	0,005	0,050	<0,01	<0,1
nickel (Ni)	mg/L	0,4 ^(e)	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,003	0,010
zinc (Zn)	mg/L	0,02 ^(d)	0,0036 ^(g)	0,003	0,014	0,003	0,014	0,002	0,014	<0,001	<0,01

^(a) Directives de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) 2004 pour la qualité de l'eau de boisson, 2ème édition. Genève, Organisation mondiale de la santé. Les résultats en caractères gras dépassent les concentrations de référence par une marge de 10% ou plus et sont supérieures aux lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques.

^(b) South African Water Quality Guidelines, Volume 7: Aquatic Ecosystems (1996). Department of Water Affairs and Forestry.

^(c) Basée sur un niveau d'alcalinité inférieur à 60 mg/L.

^(d) Basée sur la plus sévère des deux lignes directrices suivantes : 0,0003 mg/L (générale) et 0,00015 mg/L (espèces de poisson adaptées à l'eau froide).

^(e) Ligne directrice provisoire: bien qu'il existe des évidences de risque, les informations disponibles relatives aux effets sur la santé sont limités.

^(f) Les lignes directrices sud-africaines présentées pour le chrome concernent le chrome hexavalent (0,014mg/L) et le chrome trivalent (0,024 mg/L); voir texte.

^(g) Les lignes directrices sud-africaines pour ce métal sont basées sur la fraction dissoute.

^(h) Basée sur un taux de saturation en solution d'au moins 80%.

- aucune ligne directrice.

Durant la phase d'exploitation, les concentrations maximales prévues en chrome dans la rivière Torotorofotsy et le marais de Torotorofotsy sont plus élevées que les concentrations de référence. Par conséquent, les activités liées à

l'exploitation de la mine peuvent contribuer à la présence de chrome dans le marais. Toutefois, les concentrations résultantes dans le marais seraient inférieures aux directives de l'OMS pour l'eau de boisson puisque les concentrations maximales prévues en chrome dans la rivière Torotorofotsy sont inférieures à celles-ci. Les valeurs prévues dans la rivière Torotorofotsy sont en excès des lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques pour le chrome hexavalent, mais non pour le chrome trivalent. Les dépassements possibles dans le marais de Torotorofotsy seraient de plus faible intensité à cause de la dilution par les autres sources d'eau se déversant dans le marais. Les effets sur les récepteurs biologiques d'une augmentation potentielle de la concentration en chrome dans le marais sont évalués plus avant, tel que décrit à la section 3.9.5.2 (Critères d'évaluation).

Les concentrations prévues à l'exutoire du bassin de clarification se déchargeant dans la rivière Torotorofotsy pour deux autres paramètres de la qualité de l'eau, le cadmium et le plomb, sont supérieures aux concentrations de référence mais de façon minime, et sont aussi supérieures aux lignes directrices sud-africaines pour les écosystèmes aquatiques. Cependant, les concentrations prévues pour ces deux métaux décroissent jusqu'aux niveaux de référence sur une distance de moins de 5000 m en aval de l'exutoire du bassin, ce qui demeure en amont du marais de Torotorofotsy. Par conséquent, aucune variation des concentrations en cadmium et en plomb dans le marais de Torotorofotsy n'est prévue. Après la fermeture, les concentrations prévues en cadmium et en plomb sont égales ou inférieures aux niveaux de référence à l'exutoire du bassin de clarification se déchargeant dans la rivière Torotorofotsy. Les concentrations prévues pour les autres paramètres clés de la qualité de l'eau durant l'exploitation et après la fermeture sont semblables aux concentrations de référence correspondantes dans la rivière Torotorofotsy et le marais de Torotorofotsy. Par conséquent, le projet n'occasionnera que des variations négligeables des concentrations pour ces paramètres de la qualité de l'eau dans le marais de Torotorofotsy après la fermeture.

Tel que décrit à la section 3.9.5.1, considérant les volumes d'eau relativement peu importants pompés de la rivière Mangoro pour l'usine de préparation du minerai, et grâce à des mesures de lutte contre l'érosion, la construction et l'opération de la prise d'eau n'entraîneront qu'une charge additionnelle négligeable dans la rivière. De plus, les écoulements provenant des secteurs de la mine n'atteindront pas la rivière. Par conséquent, aucun changement à la qualité de l'eau dans la rivière Mangoro, qui serait relié au projet, n'est prévu.

Qualité des sédiments

Les prévisions de la qualité des sédiments correspondant au changement maximum dans les concentrations de la colonne d'eau sont présentées au tableau 9.2-13 de la pièce jointe 1, inclus à l'annexe 9.2 du volume I. Ces résultats ont été fournis aux équipes disciplinaires chargées de l'évaluation de la santé humaine, du milieu aquatique et de la faune.

Les concentrations maximales prévues pour les paramètres de la qualité de l'eau dans les sédiments benthiques dans tous les bassins versants des rivières n'augmentent pas au-dessus des niveaux de référence après la fermeture de la mine. Les prévisions de la qualité des sédiments pour la phase d'exploitation indiquent une augmentation des concentrations en arsenic, sélénium et thallium dans les sédiments jusqu'à des niveaux dépassant de façon minime les concentrations de référence. La concentration maximale prévue en arsenic dans les sédiments benthiques est largement inférieure aux Recommandations provisoires pour la qualité des sédiments (RPQS) (CCME 2002). Le sélénium et le thallium ne figurent pas dans ces recommandations (tableau 3.9-6), de sorte qu'aucune comparaison n'est présentée pour ces paramètres. Les concentrations prévues en chrome montrent une augmentation d'environ 1 mg/kg. On n'a pu effectuer une comparaison des valeurs absolues de la concentration en chrome dans les sédiments avec les recommandations du CCME puisque aucune donnée de référence n'était disponible. Cependant, une augmentation prévue dans la concentration en chrome de 1 mg/kg est considérée comme négligeable relativement au maximum de 37,3 mg/kg recommandé pour ce composé dans les RPQS.

Tableau 3.9-6 Comparaison entre les concentrations maximales prévues dans les sédiments durant la phase d'exploitation et les lignes directrices correspondantes

Paramètre	Résultat prévu supérieur aux concentrations de référence	Résultat prévu supérieur aux recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments	
		RPQS ^(a)	CEP ^(b)
aluminium	-		
antimoine	-		
arsenic	✓	X	x
baryum	-		
bore	-		
cadmium	-		
chrome	✓*	x*	x*
cobalt	-		
cuivre	-		
plomb	-		
manganèse	-		
mercure	-		
nickel	-		
sélénium	✓	PDA	PDA
thallium	✓	PDA	PDA
vanadium	-		
zinc	-		
fer	-		

(a) Concentration produisant un effet probable (CCME 2003).

(b) Recommandations provisoires pour la qualité des sédiments (CCME 2003).

- Ne dépasse ni la concentration de référence (différence de moins de 10% entre la concentration de référence et la concentration maximale prévue) ni la valeur seuil des lignes directrices.

✓ Dépasse la concentration de référence par une marge de 10% ou plus (variations reliées au projet).

* Les concentrations de référence n'étant pas disponibles pour le chrome, il a été supposé que les concentrations maximales prévues étaient supérieures aux concentrations de référence. Si une augmentation de 1 mg/kg devait entraîner une augmentation des concentrations au-dessus des RPQS, il en résulterait une augmentation de moins de 10% par rapport aux concentrations de référence.

cellule vide la valeur prévue n'a pas été comparée aux lignes directrices quand les activités liées au projet résultent en une différence de moins de 10% entre la concentration maximale prévue et la concentration de référence.

PDA pas de directive applicable.

Il est probable que les variations des concentrations dans les sédiments du marais de Torotorofotsy seront moindres que les changements maximums prévus décrits ci-dessus. L'augmentation prévue des concentrations dans les sédiments est de

moins en moins importante en aval du bassin de clarification situé dans le bassin versant de la rivière Torotorofotsy. Par conséquent, les variations de la qualité des sédiments du marais de Torotorofotsy devraient être moins importantes que les variations maximums prévues pour les sédiments de la rivière Torotorofotsy. De même que pour les autres bassins versants de rivière, les variations de la qualité des sédiments du marais de Torotorofotsy seraient négligeables durant les conditions post-fermeture, puisque les changements prévus pour la rivière Torotorofotsy seraient également négligeables.

3.9.6 Analyse des impacts

3.9.6.1 Niveau de confiance des prévisions

Les principales sources possibles d'incertitude dans l'évaluation de la qualité de l'eau et des sédiments concernent : les débits de surface et l'écoulement souterrain, la qualité des eaux d'infiltration et la qualité des eaux de ruissellement aux conditions de référence. Les niveaux de confiance des prévisions des débits de surface et de l'écoulement souterrain sont moyens et faibles, respectivement, tel qu'exposé au volume B, sections 3.8 et 3.7. La qualité des eaux aux conditions de référence n'est pas bien définie dans le secteur de la mine; cependant, on estime que l'effet de ceci sur les prévisions relatives aux variations de la qualité de l'eau et des sédiments sera de moyen à faible. Les niveaux de confiance des prévisions sur la qualité des eaux de ruissellement provenant des secteurs de la mine et des stériles sont de faibles à moyens tel qu'exposé au volume B, section 3.2.

Le nombre d'ensembles de données pour une année d'échantillonnage des cours d'eaux varie entre huit et dix pour chacune des saisons (saison des pluies et saison sèche). Les conditions de référence relatives à la qualité de l'eau de surface de l'ensemble du secteur local d'étude est établi de façon adéquate pour la saison sèche, ce qui confère aux données un niveau de certitude moyen. Les résultats analytiques de la qualité de l'eau de surface en saison des pluies sont affectés de limites de détection analytiques élevées. Ainsi, les concentrations utilisées dans le modèle de la qualité de l'eau pour caractériser les conditions de référence en saison des pluies sont potentiellement plus élevées que les concentrations réelles, résultant en des prévisions plus prudentes de la qualité des eaux de surface dans ce cas.

Les hypothèses prudentes suivantes ont été utilisées dans l'évaluation de la qualité de l'eau:

- aucune atténuation des paramètres de la qualité de l'eau dans les bassins de rétention ou de clarification, à l'exception des matières en suspension

- aucune transformation géochimique ou décantation dans les eaux réceptrices
- chrome total se présentant sous la forme hexavalente uniquement

Le niveau de confiance des prévisions dépend également de l'efficacité des mesures d'atténuation proposées, y compris les mesures de lutte contre l'érosion, de gestion des eaux et de réhabilitation durable. Les méthodes d'atténuation proposées, telles les bassins de décantation et la floculation pour enlever les matières en suspension, sont utilisées couramment et sont reconnues comme étant efficaces. Les méthodes de réhabilitation proposées reposent aussi sur des pratiques courantes et sont reconnues comme étant efficaces dans la réduction des effets de l'exploitation minière sur la qualité de l'eau et des sédiments après la fermeture. De plus, la mise en œuvre de ces mesures est relativement simple. Par conséquent, le niveau de confiance est considéré élevé à moyen relativement à l'efficacité des mesures d'atténuation.

Le niveau de confiance des prévisions pour cette évaluation dans son ensemble est considéré moyen considérant : le niveau de certitude variant de faible à élevé concernant les données d'entrée des modèles de la qualité de l'eau et des sédiments, les hypothèses prudentes intégrées aux modèles et l'efficacité démontrée des mesures d'atténuation proposées.

3.9.6.2 Surveillance

Un programme de suivi régulier de la qualité de l'eau et des sédiments sera institué pour s'assurer que les mesures de contrôle opérationnel fonctionnent correctement, que les systèmes situés en aval soient protégés et que tous les effets imprévus soient identifiés. L'objectif poursuivi par l'identification des effets imprévus et des causes qui y sont associées est de permettre une gestion adaptative ou encore une atténuation rapide et efficace de ces impacts.

De plus, avant la phase de construction, les étangs et mares naturels situés dans le secteur non perturbé de la mine seront étudiés de façon plus détaillée afin de déterminer leur sensibilité à toute acidification potentielle résultant des émissions atmosphériques.

Durant les phases d'exploitation et de post-fermeture, des échantillons d'eau et de sédiments seront prélevés périodiquement à l'exutoire de chacun des six bassins de clarification, en aval le long des cours d'eau récepteurs et dans le marais de Torotorofotsy. Durant la phase de construction de la prise d'eau dans la rivière Mangoro, les taux de matières en suspension dans la rivière seront également surveillés.

3.9.6.3 Conclusions

A la lumière de l'évaluation présentée dans la présente section, les conclusions suivantes ont été dégagées:

- Les eaux de ruissellement provenant des secteurs de la mine et des stériles et acheminées vers les bassins de clarification constitueront une source de chrome et, à un degré moindre, de charge en zinc dans les cours d'eau récepteurs durant la phase d'exploitation du projet.
- Grâce à diverses mesures d'atténuation élaborées lors des phases de conception et d'exploitation, le projet n'entraînera pas une augmentation des concentrations en chrome à des niveaux excédant les directives de l'OMS pour l'eau de boisson dans les plans d'eau récepteurs situés en aval des secteurs de la mine.
- Le chrome est le paramètre faisant l'objet de préoccupations les plus importantes, les charges reliées au projet durant la phase d'exploitation pouvant augmenter les concentrations de ce paramètre dans tous les bassins versants par rapport aux concentrations de référence et à des niveaux dépassant la ligne directrice sud-africaine pour la protection de la vie aquatique la plus exigeante (c.-à-d. celle basée sur la forme hexavalente).
- Les plus fortes concentrations de chrome seront observées dans les bassins versants drainant le secteur d'Analamay.
- Durant la phase d'exploitation du projet, il est possible que les concentrations en zinc dans les eaux des bassins versants du secteur Ambatovy (Antsahalava, Sahaviara et Sahamarirana) dépassent de façon minime les concentrations de référence et la ligne directrice sud-africaine pour la protection de la vie aquatique.
- La qualité de l'eau dans le marais de Torotorofotsy durant la phase d'exploitation du projet sera semblable à la qualité de l'eau aux conditions de référence à cause de la dilution non négligeable de l'eau rejetée à l'exutoire du bassin de clarification dans le bassin versant de Torotorofotsy.
- Lors de la phase post-fermeture, la qualité des eaux réceptrices de tous les bassins versants du secteur de la mine retournera aux niveaux de référence suite à la mise en oeuvre de mesures de réhabilitation durables et de mesures d'atténuation efficaces.
- En raison du volume d'eau relativement peu important pompé de la rivière Mangoro pour l'usine de préparation du minerai, et grâce à des mesures de lutte contre l'érosion mises en place à l'emplacement de la prise d'eau, la qualité de l'eau et des sédiments dans la rivière Mangoro ne subira que des changements négligeables.

- La qualité des sédiments des cours d'eau et plans d'eau récepteurs durant la phase d'exploitation et après la fermeture de la mine demeurera semblable aux niveaux de référence observés, grâce à des mesures de lutte contre l'érosion efficaces, à l'action des bassins de décantation et à la mise en place de mesures de réhabilitation durables.
- Une évaluation des effets de la qualité de l'eau sur la santé humaine et écologique est présentée à la section 5.4 du présent volume.

3.10 ASPECTS ESTHETIQUES

3.10.1 Introduction

Cette section présente l'évaluation des impacts environnementaux de la mine sur les aspects esthétiques. Conformément aux termes de référence du projet Ambatovy (le projet), le panorama de la mine est décrit et les impacts potentiels sur les habitations voisines et les points de vue fréquentés sont évalués.

3.10.2 Secteur d'étude

Le secteur local d'étude des aspects esthétiques de la mine est un périmètre de 5 km autour des sites de perturbation majeure de la mine, tel qu'illustré dans le volume A, figure 7.2-1. Ce secteur d'étude a été établi de façon à inclure le territoire où la mine est assez proche pour constituer un élément majeur du paysage local.

3.10.3 Résumé de l'étude de référence

Les deux gisements sont situés dans une zone densément boisée. Ils sont constitués des vestiges d'un plateau érodé. Le plateau est bordé à l'ouest par la vaste plaine alluviale de la Rivière Mangoro et à l'est par le complexe de marais de Torotorofotsy – Mokaranana et des collines couvertes de forêts. À l'heure actuelle, les vues de la région de la mine de toutes les directions sont dominées par une végétation luxuriante. Toutefois, en observant de près la surface des gisements d'Ambatovy et d'Analamay, on constate que la végétation y est rabougrie et de composition différente. Le gisement d'Analamay en particulier est couvert d'une végétation clairsemée en raison de feux récents. Le secteur de la mine est visible depuis plusieurs endroits dans le paysage environnant, entre autres des sommets des collines (y compris celles du le Parc national Mantadia), de routes telles que la Route nationale (RN) 44 et de petites villes et zones agricoles.

Pour être considérés dans cette évaluation, les points de vue clés doivent être accessibles au public pendant les activités du projet et doivent se situer dans le panorama du projet. Les points de vue clés sont présentés au tableau 3.10-1. Les perspectives de référence depuis les points de vue M1 à M5 sont présentées dans le volume I, annexe 11.1, pièce jointe 1, photos 4 à 8.

D'autres détails concernant les conditions de référence sont fournis au volume I, annexe 11.1.

Tableau 3.10-1 Points de vue clés: site de la mine

Numéro du point de vue	Nom du point de vue	Coordonnées GPS (Zone UTM 39S)	Observateurs potentiels	Caractéristiques de la perspective de référence
M1	marais de Torotorofotsy	E 222731 N 7910838	résidents locaux et écotouristes	relativement naturelle et non perturbée; épais couvert végétal
M2	rn44	E 208407 N 7913684	résidents locaux, voyageurs et touristes	corridor influencé par l'activité humaine avec forte utilisation des terres; vues de la forêt primaire au loin
M3	route d'accès à la mine	E 210854 N 7912564	résidents locaux	partiellement perturbée et défrichée pour utilisation humaine; îlots de forêt primaire visibles
M4	vue du nord-ouest au corridor de la route d'accès à la mine et à la zone agricole	E 213954 N 913870	résidents locaux	zone en avant-plan défrichée pour utilisation humaine; zone d'arrière-plan consistant en forêts zonales primaires ou secondaires et en forêts azonales
M5	vue du sud-est au corridor de la route d'accès à la mine et à la zone agricole	E 214088 N 913007	résidents locaux	zone en avant-plan défrichée pour utilisation humaine; zone d'arrière-plan consistant en forêts zonales primaires ou secondaire et en forêts azonales

Note: GPS = système de positionnement global; UTM = grille Mercator transverse universelle.

3.10.4 Portée des enjeux

Lors des séances de consultation publique, la principale question soulevée à propos de l'aspect esthétique était la suivante: comment les transformations de l'aspect esthétique affecteront-elles le tourisme? Cette question a été soulevée à la fois par les résidents locaux, lors de rencontres avec la commune de Ambohibary, et par l'Association nationale pour la gestion des aires protégées (ANGAP). Les transformations potentielles qui seront visibles aux résidents locaux et aux touristes et autres visiteurs comprennent:

- le débroussaillage et la modification de la morphologie du terrain, suite à l'établissement de piles de stockage, d'étangs, de digues et de fosses
- la production de poussière visible en période sèche, ainsi que des émissions de carburants fossiles visibles localement
- l'éclairage nocturne
- la présence de bâtiments, d'installations et d'infrastructures dont certains seront visibles de l'extérieur du secteur de la mine

La question clé en ce qui a trait aux aspects esthétiques est la suivante:

Question clé AE-1 Quels seront les effets de la mine sur les aspects esthétiques?

La plupart des effets visuels auront lieu durant les phases de construction et d'exploitation du projet, tel qu'illustré dans le diagramme de liens relatif aux aspects esthétiques (volume H, annexe 9).

3.10.5 Evaluation des impacts

Pendant les phases de construction et d'exploitation, la végétation sera défrichée, des éléments du paysage seront modifiés, des bâtiments industriels seront construits et de la poussière ainsi que des panaches visibles seront produits depuis le site de la mine. Après la fermeture, la plupart des sources d'impact visuel disparaîtront, mais la morphologie du terrain restera altérée.

3.10.5.1 Méthodes d'évaluation

L'information topographique, des photographies et des observations sur le terrain ont servi à décrire les perspectives actuelles. Les données topographiques de référence et les modèles de la topographie du projet ont servi à tracer des cartes d'élévation numériques à partir desquelles des panoramas ont été générés. Des points de vue clés permettant une perspective de « pire éventualité » depuis des endroits proches de la mine ont été choisis et des perspectives vues du sol à partir des modèles topographiques ont été générées. Les perspectives futures ont été comparées aux perspectives de référence.

Une vue en plan générale du site de la mine à la phase d'aménagement complet du site (année 27) a été produite afin de créer une impression visuelle d'ensemble du projet à l'intention des lecteurs. Cette vue n'est cependant pas représentative d'une perspective typique visible par les résidents locaux ou les touristes et elle n'a donc pas servi à l'évaluation des impacts visuels.

3.10.5.2 Critères d'évaluation

Les critères utilisés pour évaluer les aspects esthétiques sont présentés au tableau 3.10-2.

Tableau 3.10-2 Critères de description des impacts sur les aspects esthétiques

Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence
positive: les changements au paysage donneront un aspect plus naturel négative: le paysage perd de son aspect naturel	négligeable: aucun effet mesurable sur l'aspect esthétique faible: les points de vue clés permettent de voir peu ou au loin les effets du projet moyenne: les points de vue clés donnent une perspective directe mais non écrasante sur les effets du projet forte: les points de vue clés donnent des perspectives rapprochées et écrasantes des effets du projet (représentant une grande partie du paysage visible)	locale: effet restreint au secteur local d'étude régionale: effet s'étendant au-delà du secteur local d'étude	court terme: <3 ans moyen terme: 3 à 30 ans long terme: >30 ans	réversible ou irréversible	faible: rarement visible moyenne: visible par intermittence élevée: visible en permanence

3.10.5.3 Mesures d'atténuation

Le projet sera conçu de façon à éviter les impacts directs des aménagements miniers sur le marais de Torotorofotsy, minimisant ainsi les effets visuels pour les touristes visitant la région.

Pendant la construction et l'exploitation, les luminaires seront dirigés vers les installations et seront orientés à l'opposé des habitations, villages et aires de conservation voisins afin de réduire les effets sur l'humain et la faune.

A la fermeture du projet, les bâtiments seront démolis et les résidus de démolition seront éliminés de façon appropriée.

Des mesures de réhabilitation seront mises en place pendant les phases d'exploitation et de fermeture. La conception des talus et des mesures de lutte contre l'érosion permettra de réduire l'érosion à court et à long terme. La morphologie post-fermeture du terrain sera étudiée afin de maintenir une continuité de la morphologie et des bassins versants entre les terrains non perturbés et les secteurs restaurés. La revégétalisation avec des espèces natives permettra de fondre les paysages affectés dans la forêt restée intacte.

3.10.5.4 Résultats

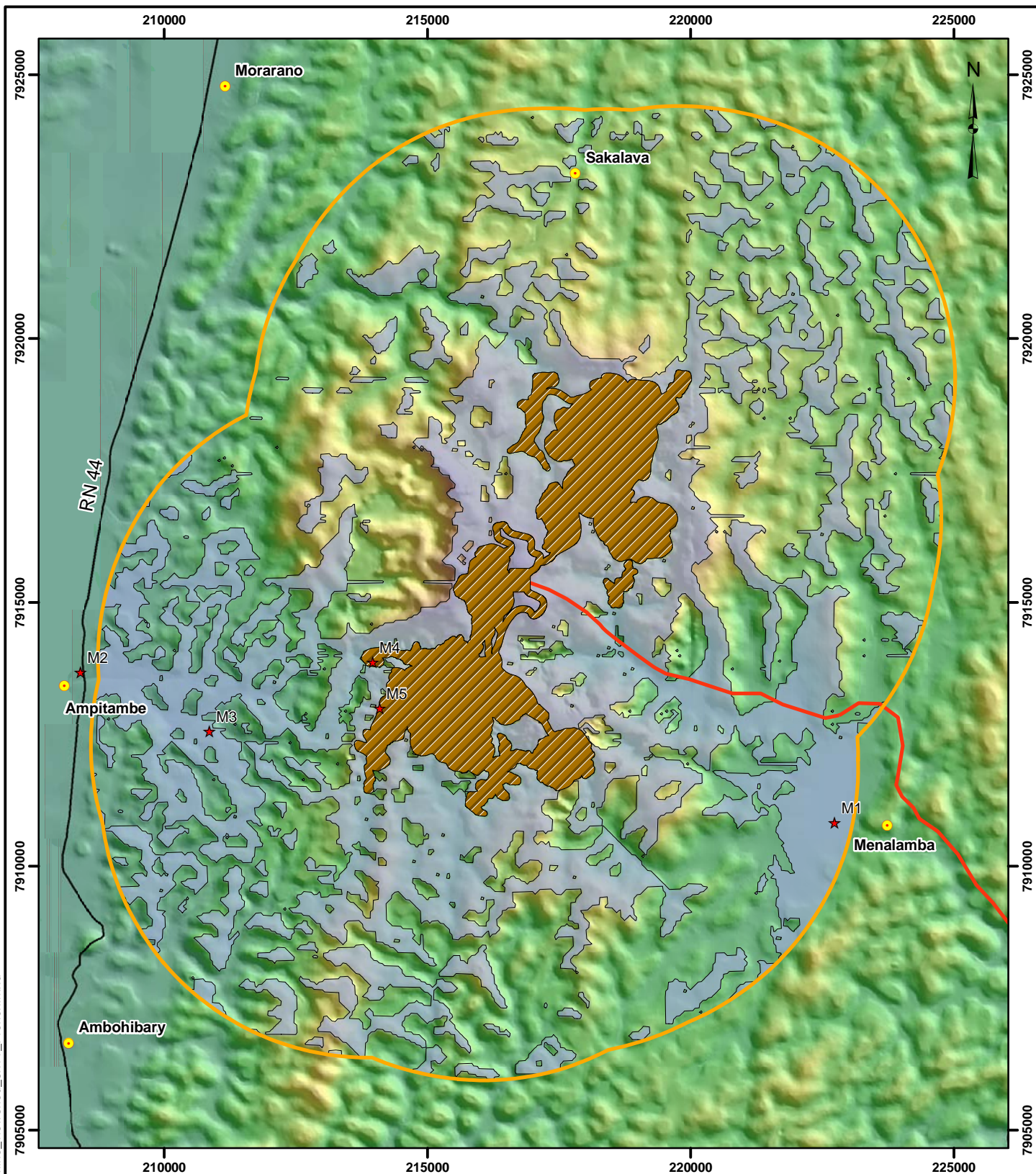
Une évaluation du panorama au moment où la mine atteindra son extension topographique maximale (instantané de l'année 20) est présentée à la figure 3.10-1. Cette évaluation du panorama démontre qu'à l'intérieur de la zone d'étude (tout le territoire dans un rayon de 5 km de la mine), environ le tiers de cette zone offrira des vues potentielles sur le développement minier. Cette estimation est toutefois prudente car elle ne tient pas compte des effets de la végétation qui est relativement dense dans presque tout le secteur local d'étude et qui bloquera la vue à plusieurs endroits.

L'analyse du panorama montre qu'il sera possible de voir la mine depuis le site Ramsar du marais de Torotorofotsy et de certaines sections de la route d'accès à la mine. Cependant, en tenant compte de la couverture forestière, il est attendu que ces perspectives ne représenteraient pas d'impact visuel majeur. Bien que le panorama s'étende au-delà du secteur local d'étude, il est prévu que les effets à plus de 5 km du projet (tels que ceux sur la RN44) soient négligeables puisque le projet ne sera qu'un élément mineur à l'horizon.

Les groupes susceptibles de voir le secteur de la mine comprennent les résidents locaux, les passants empruntant la RN44 et les touristes, particulièrement ceux visitant le marais de Torotorofotsy. L'effet visuel de la mine sur les personnes variera grandement selon leurs perceptions individuelles, ce qui pourrait affecter leur plaisir et leur appréciation des qualités esthétiques de la nature dans ce secteur. Les perceptions des effets esthétiques des observateurs dans la zone de visibilité où ils se trouvent pourraient être affectées par:

- le paysage environnant, incluant la morphologie du paysage, la végétation et le degré de transformation dans son ensemble
- le type de perturbations visibles, dont la forme, la texture, la couleur, la dimension et le degré de contraste par rapport au paysage environnant
- la distance entre l'observateur et l'impact
- l'orientation du point de vue, la fréquence et la durée d'observation
- la perception de l'observateur de ce qui est attrayant ou déplaisant, et ses attentes quant à ce qui devrait ou non se voir à cet endroit

I:\2003\03-1322\03-1322-172\mxd\visual\mine_viewshed_8x11_French.mxd



LÉGENDE

- AGGLOMERATION
- ★ POINT DE VUE
- ROUTE
- TRACÉ APPROXIMATIF DU PIPELINE DE PULPE
- ▨ SITE DE LA MINE
- CHAMP DE VISIBILITÉ
- ZONE D'ÉTUDE DES ASPECTS ESTHÉTIQUES

2 0 2 4
ECHELLE: 1:100 000 KILOMÈTRES

RÉFÉRENCE

Référence : WGS 84 Projection : UTM Zone 39S

PROJET

PROJET AMBATOVY

TITRE

ANALYSE DU PANORAMA DU SITE DE LA MINE



PROJET No. 03-1322-172			ECHELLE TELLE QUE MONTREE	REV. 0
DESSINE	GJ	13 sep. 2005		
SIG	TN	25 oct. 2005		
VERIF.	GJ	09 fév. 2006		
REV.	DM	09 fév. 2006		

FIGURE: 3.10-1

L'excavation du minerai retirera en moyenne 40 m et au maximum 90 m de la partie supérieure des quelques collines constituant le gisement de minerai. Des aires de stockage en piles et des digues artificielles seront aménagées. Certaines de ces transformations de la topographie pourraient être visibles depuis quelques points de vue extérieurs à la mine, tels que la RN44, le site Ramsar de Torotorofotsy et les points surélevés dans le Parc national de Mantadia. Cependant, les sommets correspondant au gisement n'ont pas une importance particulière dans le paysage et les distances de vue à partir de la RN44 et du Parc national de Mantadia seront grandes, ce qui diminuera l'intensité des impacts à ces endroits.

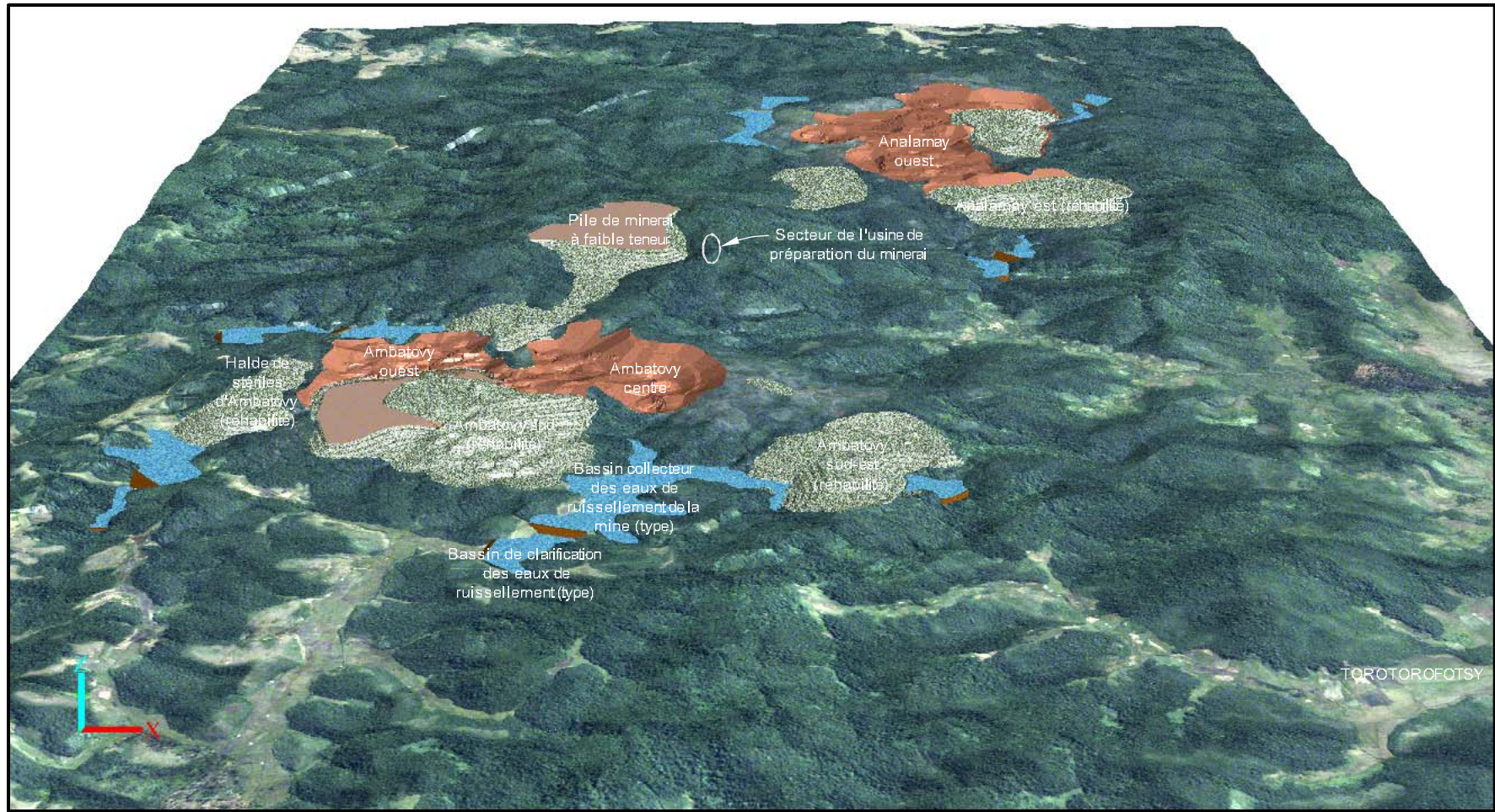
Une vue en plan schématique de la topographie future du site de la mine à l'année 20 (aménagement complet) est présentée à la figure 3.10-2.

Une perspective affectée depuis le point de vue M1 (tableau 3.10-1) est montrée à la figure 3.10-3. Ce point de vue se trouve dans un secteur du marais de Torotorofotsy accessible aux touristes. La vue en direction de la mine montre que de très petites parties de la topographie de la mine seront visibles depuis le marais, dont une digue du secteur d'extraction Analamay ouest et le site de l'usine de préparation du minerai. Compte tenu de la topographie et de la distance, ces impacts seront minimes.

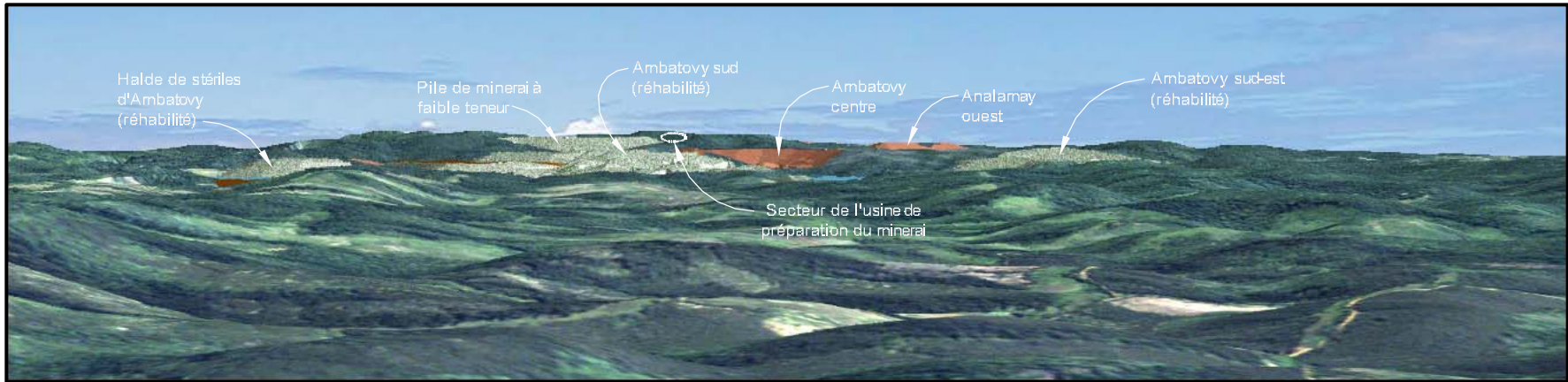
Une perspective affectée depuis le point de vue M3 (tableau 3.10-1) est montrée à la figure 3.10-4. Ce point de vue se trouve le long de la route d'accès à la mine, à proximité de zones fréquentées par les occupants locaux du territoire. Il y a plusieurs perspectives possibles sur la mine à partir de la route d'accès, mais celle-ci est typique et montre une partie de la mine Ambatovy sud après restauration (au centre), les secteurs en exploitation active d'Ambatovy centre et Analamay ouest (à droite du centre), ainsi que le secteur réhabilité Ambatovy sud-ouest (à droite). Ces perspectives sont cependant relativement éloignées et constituent un impact de faible intensité.

La visibilité d'un panache dépend de sa concentration en vapeur d'eau, de sa température, du débit d'échappement ainsi que de la température et de l'humidité ambiantes. La visibilité des panaches variera donc selon les saisons. Pendant au moins une partie de l'année, les panaches seront visibles dans les environs, y compris depuis le marais de Torotorofotsy.

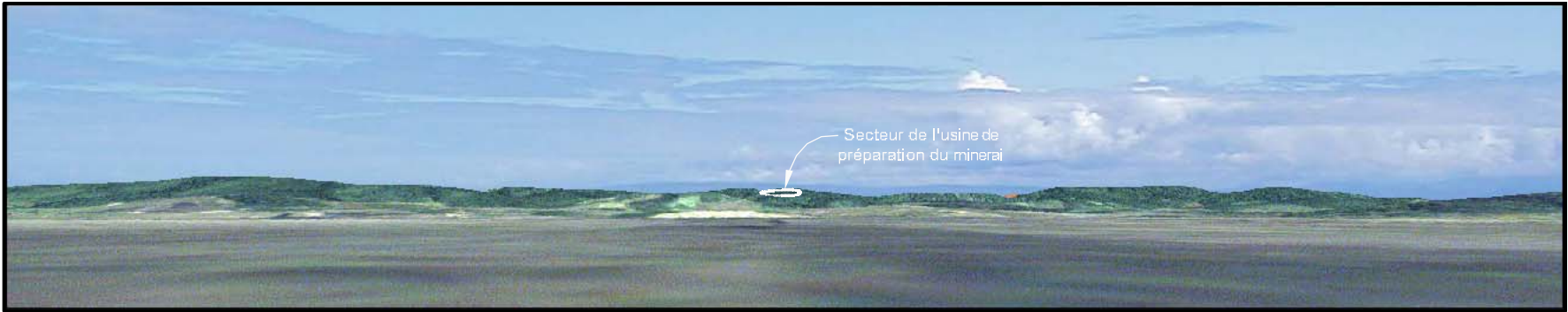
XPREF FILE(S): IMAGE FILE(S): Mining Area - Aerial View Looking North Mining Area - Perspective View Looking From Torotorofotsy Mining Area - Perspective View Looking West Tailings Area - Aerial View Looking West Tailings Area - Perspective View from Spine Road



Vue aérienne en direction nord



Vue en perspective en direction nord



Vue en perspective depuis Torotorofotsy

Légende:

- Secteur réhabilité
- Digue
- Plan d'eau
- Zone d'extraction active
- Pile de stockage active

PROJET AMBATOVY			
ASPECT VISUEL DU SECTEUR DE LA MINE ANNÉE 27 – FIN DE L'EXPLOITATION			
Knight Piésold CONSULTING	P/A NO. NB301-00116/4	REF.	REV.
	FIGURE 3.10-2		



PROJET

PROJET AMBATOVY

TITRE

VUE EN DIRECTION DU NORD-OUEST DEPUIS LE
POINT DE VUE M1 (TOROTOROFOTSY) APRÈS AMÉNAGEMENT
(ANNÉE 27 DE L'EXPLOITATION)



Golder
Associates

Calgary, Alberta

PROJET No. 03-1322-172			AUCUNE ÉCHELLE	REV. 0
DESSINE	GJ	13 sep. 2005	FIGURE: 3.10-3	
SIG	TN	25 oct. 2005		
VERIF.	GJ	09 fév. 2006		
REV.	DM	09 fév. 2006		




PROJET

PROJET AMBATOVY

TITRE

VUE EN DIRECTION DU NORD-OUEST DEPUIS LE
POINT DE VUE M3 (ROUTE D'ACCÈS À LA MINE) APRÈS
AMÉNAGEMENT (ANNÉE 27 DE L'EXPLOITATION)



Golder
Associates

Calgary, Alberta

PROJET No. 03-1322-172		AUCUNE ÉCHELLE	REV. 0
DESSINE	GJ 13 sep. 2005	FIGURE: 3.10-4	
SIG	TN 25 oct. 2005		
VERIF.	GJ 09 fév. 2006		
REV.	DM 09 fév. 2006		

3.10.5.5 Analyse des impacts

Impacts résiduels

Les effets résiduels pendant chaque phase du projet, après la mise en œuvre des mesures d'atténuation, sont résumés au tableau 3.10-3.

Tableau 3.10-3 Effets potentiels et impacts résiduels sur les aspects esthétiques

Phase du projet	Effets potentiels	Mesures d'atténuation	Impacts résiduels
construction et exploitation	défrichement du terrain et transformation de la morphologie de la mine	réhabilitation progressive	modification de faible intensité du paysage visible depuis les points de vue clés
	changements dans les installations et les machines visibles	l'emplacement des activités est presque entièrement hors de la vue du public	impact négligeable sur les points de vue clés
	changements dans la pollution lumineuse	luminaires efficacement dirigés et orientés loin des observateurs	impact négligeable sur les points de vue clés
	changements dans les émissions et poussières visibles	mesures de contrôle des poussières	effets de faible intensité potentiellement visibles à grande distance
fermeture	défrichement du terrain et transformation de la morphologie de la mine	terrassment et revégétalisation pour donner un aspect naturel au terrain	modification d'intensité faible et à long terme du paysage visible
	changements dans les installations et les machines visibles	démantèlement et enlèvement des installations et de la machinerie	aucun

Il y aura du défrichement et des transformations de la morphologie du terrain tout au long des phases de construction et d'exploitation. Une réhabilitation progressive sera entreprise dès la phase d'exploitation et sera complétée après la fermeture. Parmi les éléments morphologiques de la mine qui pourraient être visibles, on compte la mine à ciel ouvert avec ses parois abruptes, les haldes de stériles et les systèmes de bassins. L'intensité des impacts visuels de la morphologie du terrain est considérée comme moyenne durant l'exploitation et faible après la fermeture.

La portée géographique de ces impacts est locale car la topographie escarpée bloque la vue de la plupart des zones à l'extérieur du secteur local d'étude. Les impacts les plus prononcés (pendant l'exploitation) sont de durée moyenne, alors que les impacts de plus faible intensité attribués à la morphologie du terrain réhabilité de la mine sont à long terme. Les impacts sur la morphologie du terrain sont irréversibles car le paysage ne sera pas remis dans son état initial. La fréquence d'observation est moyenne puisque les observateurs se trouveront par

intermittence à des points de vue spécifiques donnant sur le projet. Globalement, la conséquence sur l'environnement en termes d'effets visuels est faible pendant les phases de construction, d'exploitation et de fermeture.

La construction des installations minières aura un impact d'intensité négligeable car ces aménagements seront très difficilement visibles de l'extérieur du secteur même de la mine. Ces effets sont de portée locale, de durée moyenne (pendant la construction et l'exploitation seulement) et ils sont réversibles. La fréquence d'observation devrait être faible à cause du petit nombre de points de vue d'où les installations seront visibles. Globalement, la conséquence sur l'environnement des installations minières en termes d'effets visuels sera négligeable.

L'illumination nocturne constituera un impact de faible intensité car les mesures d'atténuation et des luminaires efficacement dirigés assureront que le site n'émettra que peu de lumière vers le ciel ou vers les habitations et villages voisins. Ces effets sont de portée locale, de durée moyenne (pendant la construction et l'exploitation seulement) et ils sont réversibles. La fréquence d'observation devrait être moyenne. Globalement, la conséquence sur l'environnement de l'éclairage sur les aspects esthétiques sera négligeable.

Les émissions visibles et les poussières auront un impact de faible intensité et des mesures d'atténuation telles que le contrôle de la poussière seront mises en place. Ces effets sont de portée régionale, car les panaches visibles pourraient être perçus à l'extérieur du secteur local d'étude. Les effets sont de durée moyenne (pendant la construction et l'exploitation seulement) et réversibles. La fréquence d'observation devrait être moyenne. Globalement, la conséquence des émissions visibles et des poussières sur l'environnement sera moyenne.

Une classification globale des impacts résiduels sur les aspects esthétiques de chaque enjeu clé à chaque phase du projet est présentée au tableau 3.10-4.

Tableau 3.10-4 Classification des impacts résiduels sur les aspects esthétiques

Phase	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversible	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
enjeu : effet de la morphologie de la mine sur les aspects esthétiques							
construction / exploitation	négative	moyenne	locale	moyen terme	non	moyenne	faible
fermeture	négative	faible	locale	long terme	non	moyenne	faible
enjeu : effet des installations minières sur les aspects esthétiques							
construction / exploitation	négative	négligeable	locale	moyen terme	oui	faible	négligeable
enjeu : effet de l'éclairage sur les aspects esthétiques							
construction / exploitation	négative	négligeable	locale	moyen terme	oui	moyenne	négligeable
enjeu : effet des émissions visibles et des poussières sur les aspects esthétiques							
construction / exploitation	négative	faible	régionale	moyen terme	oui	moyenne	moyenne

Niveau de confiance des prévisions

L'état de référence de la topographie du secteur local d'étude est bien connu et l'information détaillée au sujet du paysage futur et des installations à bâtir dans le secteur de la mine est disponible dans les descriptifs du projet et le plan de fermeture de la mine. Toutefois, les niveaux d'impacts dépendent aussi du succès des mesures d'atténuation proposées, dont les mesures de lutte contre l'érosion dans des conditions difficiles. Globalement, le niveau de confiance de cette évaluation est considéré comme moyen.

Surveillance

Aucun suivi spécifique n'est proposé quant aux aspects esthétiques. Le suivi de deux éléments qui ont des incidences importantes sur les effets visuels, soit l'efficacité des mesures de lutte contre l'érosion et la réhabilitation du terrain, est décrit au Volume B, Section 6.

3.10.6 Conclusions

La conséquence sur l'environnement de la mine concernant les aspects esthétiques sera moyen en raison des poussières et des émissions qui seront régulièrement visibles à l'extérieur du secteur local d'étude. Des effets de faible intensité seront dus à l'altération d'éléments du paysage visibles à une distance relativement réduite de la mine, notamment au site Ramsar de Torotorofotsy et dans les zones habitées le long de la route d'accès à la mine. Il est prévu que les installations de la mine et leur éclairage auront des conséquences négligeables

sur l'environnement, puisque ces effets devraient être très localisés et tempérés par des mesures d'atténuation. De façon générale, cette évaluation est prudente et les effets sur la plupart des observateurs seront minimes, car ils ne constateront pas de changements majeurs entre les perspectives modifiées et la situation actuelle. Les principaux effets seront vraisemblablement ressentis par les écotouristes dans le secteur de Torotorofotsy, qui ont des attentes précises quant aux paysages désirables dans la région et qui ne s'attendent pas à voir les panaches des cheminées ou des éléments de la morphologie du terrain modifié par une mine depuis le site Ramsar.

4.1 FLORE

4.1.1 Introduction

La présente section de l'étude d'impact environnemental (EIE) porte sur l'évaluation des effets potentiels du projet Ambatovy (le projet) sur la flore dans le secteur local d'étude de la mine. Conformément aux termes de référence (volume H, annexe 1), des données spécifiques ont été recueillies dans le secteur de la mine afin de traiter des questions suivantes:

- inventorier toutes les communautés végétales naturelles au cours de la saison sèche et de la saison des pluies afin de déterminer la richesse en espèces, la diversité des espèces et leur abondance relative
- cartographier et décrire la flore existante dans les secteurs à l'étude en terme de communauté végétale, en y incluant des considérations sur la structure et la composition de espèces
- décrire l'état actuel de perturbation de chaque type de communauté naturelle terrestre se trouvant dans le secteur d'étude
- évaluer de manière quantitative l'adéquation de l'échantillonnage réalisé dans le cadre de l'étude de référence
- caractériser la flore en fonction du type de communauté, en incluant l'évaluation de l'endémisme des espèces (dont les espèces localement endémiques)
- choisir des espèces clés comme indicateurs pour orienter l'étude; fournir les critères de sélection et expliquer les raisons motivant le choix de ces espèces ou le choix de taxons indicateurs d'ordre supérieur (p. ex. les orchidées)
- présenter les mesures d'atténuation et les mesures compensatoires à mettre en oeuvre pour réduire ou contrer les pertes au niveau de la flore et des divers types de communautés naturelles, y compris la réhabilitation forestière et l'identification de zones hors site présentant des communautés similaires renfermant potentiellement le même type d'assemblages d'espèces
- évaluer les impacts résiduels sur la flore (y compris le marais de Torotorofotsy) résultant du défrichement du site de la mine, de même que des impacts sur l'air et sur l'eau découlant des activités associées à la mine, que ce soit en cours d'exploitation ou après la fermeture
- fournir des détails quant aux activités de surveillance et de gestion de la flore impliquant la participation des parties intéressées

4.1.2 Secteur d'étude

Dans le secteur local d'étude de la mine, la zone principale d'étude des ressources terrestres englobe le complexe de gisements (gisements d'Ambatovy et Analamay), et les parties du marais de Torotorofotsy qui bordent le plateau et les bassins versants qui y sont associés (volume A, figure 7.2-1). Le secteur local d'étude de la mine inclut aussi l'empreinte de perturbation au sol de la conduite d'approvisionnement en eau et une zone tampon de 500 mètres (de chaque côté de la conduite) se poursuivant sur 23 km à l'ouest de la zone centrale du site jusqu'à la rivière Mangoro.

4.1.3 Résumé de l'étude de référence

Le texte qui suit fait le résumé des résultats de l'étude de référence sur la flore du secteur local d'étude de la mine. Ce résumé met l'accent sur les résultats qui ont de l'importance en ce qui a trait à l'évaluation des impacts du projet. Une description complète de la méthodologie, des analyses et des résultats de l'étude de référence se trouve dans le volume J (annexe 1.1).

4.1.3.1 Classification et cartographie de la végétation

La cartographie se fonde principalement sur des images satellite IKONOS à une résolution d'un mètre, dans les canaux noir et blanc, vraies couleurs et infrarouge, acquises le 11 août 2004. Des analyses de végétation et des opérations de validation sur le terrain ont aussi contribué à la classification.

Quinze types de végétation, couvrant une superficie de 22 893 ha, ont été identifiés dans le secteur local d'étude de la mine. Dix de ces types présentent un intérêt particulier des points de vue floristique et biologique:

- fourré azonal d'arbres sclérophylles
- forêt azonale d'arbres sclérophylles
- végétation azonale non forestière
- forêt de transition de type azonal
- forêt de transition
- forêt zonale
- eucalyptus et autres terres boisées
- forêt de bordure de marais
- couverture herbacée de marais
- mares temporaires

En comparant la configuration générale de la couverture végétale avec la nature géologique des secteurs à l'étude, il est apparu clairement que la végétation azonale, la végétation de transition de type azonale et la végétation de transition (en plus de la classe des mares temporaires) étaient associées de très près aux affleurements ultrabasiques d'Analamay et d'Ambatovy où elles se développaient. Cette zone centrale recouvre une superficie de 2874 ha.

4.1.3.2 Perturbations

Une gamme de perturbations différentielles et principalement anthropiques a été superposée à la classification des types de végétation à maturité. Ces perturbations comprennent : l'exploitation forestière sélective, l'exploitation forestière intensive, les feux et le défrichement agricole. D'autres perturbations observées dans le secteur local d'étude de la mine sont le résultat direct ou indirect d'activités de forage d'exploration (voies d'accès et plates-formes de forage) ayant eu lieu dans les 40 dernières années. La superficie totale perturbée par l'ensemble des programmes de forage est de 63,5 ha. La portion de ces perturbations se trouvant associée au projet a été estimée à 33,3 ha et représente environ 1 % de la végétation azonale et de transition du secteur de la mine.

4.1.3.3 Structure forestière

Les données sur la structure forestière ont été compilées par des para-botanistes en 1996, 1997 et 2004, principalement pour valider la classification et la cartographie de la végétation, ainsi que pour décrire la structure de peuplement forestier, la composition en espèces et les caractéristiques de la diversité parmi les habitats forestiers du secteur local d'étude de la mine. Ces données ont également servi à déterminer si les communautés végétales présentes à la surface des gisements d'Analamay et d'Ambatovy et à leur voisinage immédiat sont uniques par rapport aux autres types de végétation forestière de la forêt zonale des alentours.

Vingt-cinq transects totalisant plus de 8 km de longueur ont été établis en travers des six principaux types de végétation forestière du secteur local d'étude de la mine, soit : fourré azonale, forêt azonale, forêt de transition de type azonale, forêt de transition, forêt zonale et forêt de bordure de marais.

Les différences les plus manifestes parmi les types de forêts du secteur ciblé pour le projet se trouvent dans leur structure. En raison du stress hydrique causé par la cuirasse ferrallitique et le substratum de ferrallite, les arbres qui y poussent sont courts, la plupart sclérophylles et très vulnérables aux feux durant la saison sèche. Les principales variables structurales qui se démarquent au sein de ces types de peuplement forestier sont la hauteur de canopée, la densité d'arbres, la

surface terrière et le nombre d'espèces d'arbres. Les résultats comparatifs sont présentés à l'annexe 1.2 du volume J.

Le fourré azonale est le plus distinct. Non seulement diffère-il clairement de la forêt zonale et de la forêt de transition, mais il diffère également de la forêt azonale. Le fourré azonale se compose d'arbres plus bas, avec moins de tiges de diamètre mesuré à hauteur de poitrine au-dessus de dix centimètres ($DHP \geq 10 \text{ cm}$), ont une plus petite surface terrière et comportent moins d'essences ligneuses de $DHP \geq 10 \text{ cm}$ que les autres types de végétation.

Une analyse des communautés a également été réalisée pour les divers types de végétation forestière en fonction de la présence (ou de l'absence) d'espèces et leur abondance. Plusieurs conclusions découlent des résultats de cette analyse:

- les forêts de bordure de marais diffèrent fortement du fourré azonale et des forêts de transition de type azonale (c.-à-d. une dissimilarité de 98 % telle que définie dans le volume J, annexe 1.1)
- le fourré azonale, diffère fortement de la forêt zonale et de la forêt de transition (dissimilarité de 96 à 97 %)
- les habitats les plus semblables, soit la forêt zonale et la forêt de transition, présentent une dissimilarité de 42 % à 54 % en terme de composition des espèces et d'abondance
- la végétation azonale d'Ambatovy diffère de celle d'Analamay par 55 % à 59 %
- les variations à l'intérieur même d'un habitat sont moins grandes que celles observées d'un habitat à l'autre
- la forêt de transition occupe une position ambiguë entre la forêt zonale et la forêt azonale.

4.1.3.4 Endémisme

Après un examen approfondi des données disponibles sur la flore du site de la mine et d'autres sources connexes, les botanistes du Missouri Botanical Garden (MBG) ont établi que le secteur de la mine abritait 127 espèces préoccupantes. Une liste complète de ces espèces préoccupantes est fournie à l'annexe IV de la pièce jointe 5 de l'annexe J.1. De ce nombre, 53 espèces figurent actuellement aux annexes de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) et cinq sont sur la liste de l'Union mondiale pour la nature (UICN). Il s'y trouve aussi 68 autres espèces, dont la présence n'a été attestée pour l'instant que dans les secteurs d'Ambatovy et d'Analamay.

Des 127 espèces préoccupantes endémiques identifiées par le MBG, 69 (voir le tableau 4.1-1) sont endémiques localement au secteur du projet (espèces de priorités 1 et 2). De plus, 23 des 29 espèces de priorité 1 croissent au sein des types de végétation azonale. Toutefois plus de la moitié des spécimens récoltés n'ont pas encore été identifiés jusqu'à maintenant, de sorte que le travail se poursuit. Des inventaires ont eu lieu en 2005 et d'autres seront complétés en 2006, de façon à ce que les collectes se fassent sur une année complète et coïncident avec les périodes de floraison. Ces travaux additionnels viendront compléter l'identification des espèces se trouvant à l'intérieur de l'empreinte au sol de la mine et dans les zones de conservation de la végétation azonale prévues sur le site. Les autres espèces préoccupantes (celles qui ne seront pas trouvées au sein des zones de conservation du site) feront l'objet de recherche dans les secteurs environnants, y compris le Parc national de Mantadia et la zone de conservation de la végétation azonale hors site proposée (voir ci-dessous).

Tableau 4.1-1 Nombres d'espèces préoccupantes pour les divers degrés d'endémisme

Endémisme	Priorité	Nombre total d'espèces	Pourcentage du total des espèces prioritaires connues
empreinte de la mine proposée	1	29	23
secteur du projet	2	40	31
région du projet	3	7	6
Madagascar	4	31	24
inconnu		20	16
total des espèces		127	100

4.1.3.5 Autre flore unique

Un inventaire des aloès a été effectué en 1997 et 2004 dans les zones des gisements d'Ambatovy et d'Analamay par une équipe de para-botanistes. Toutes les espèces d'aloès de Madagascar sont endémiques au pays et sont inscrites aux annexes CITES. En outre, plusieurs d'entre elles présentent des aires de répartition restreintes, comme celle d'Ambatovy. A cause de la menace qui plane sur le genre aloès, un inventaire a été réalisé pour localiser le plus grand nombre possible de populations et de spécimens d'aloès à Ambatovy et Analamay. Au sein du secteur local d'étude de la mine, les spécimens et les populations d'aloès poussent uniquement sur les substrats de cuirasse ferrallitique dans des habitats ouverts. Au total, 137 spécimens ou populations d'*Aloe leandrii* ont été trouvés à Ambatovy et Analamay.

4.1.3.6 Richesse en espèces végétales et diversité

La richesse en espèces et la diversité ont été évaluées de plusieurs manières différentes. Les données de structure forestières dénotent entre 37 et 419 espèces d'arbres au diamètre supérieur ou égal à 5 cm parmi les types de végétation forestière du secteur local d'étude de la mine. Le plus grand nombre d'espèces a été recensé dans la forêt de transition et le plus petit nombre dans la forêt de bordure de marais (tableau 4.1-2). Les valeurs présentées sont influencées par l'effort d'échantillonnage.

La diversité des arbres a aussi fait l'objet d'une évaluation à l'échelle du paysage (c.-à-d. au sein du secteur local d'étude de la mine). La richesse en familles d'arbres (de DHP ≥ 5 cm), y a ainsi été estimée à 67, tandis que la richesse en espèces a été évaluée à 480.

Tableau 4.1-2 Richesse en espèces par type de végétation pour les placettes et sous-placettes forestières

Type de végétation	Superficie d'échantillonnage (ha)	Nombre cumulé d'espèces en fonction du diamètre ^(a)		Nombre total d'espèces
		≥ 10 cm	5 – 9,9 cm	
fouret azonal	1,16	104	61	165
forêt azonale	3,93	252	46	298
forêt de transition de type azonal	1,12	131	83	214
forêt de transition	2,92	267	152	419
forêt zonale	1,57	255	114	369
forêt de bordure de marais	0,12	37	-	37

^(a) Le nombre d'espèces indiqué est cumulé. Les espèces appartenant à la classe de diamètre ≥ 10 cm ont été comptées en premier, puis les espèces de la classe 5 à 9,9 cm ne figurant pas dans la classe ≥ 10 cm.

- Pas de données.

Des estimations antérieures, effectuées à la fin des années 1990 par Phelps Dodge, qui comprenaient les plantes herbacées et d'autres classes de végétation, indiquaient la présence de 105 familles et 1378 espèces dans le secteur local d'étude de la mine. Cela représente plus de 10 % du total estimé de 12 000 espèces présentes à Madagascar et constitue en l'occurrence un indicateur de la diversité de la végétation du secteur du projet.

La richesse en espèces de la flore de Madagascar a été estimée à 12 000 espèces, 1600 genres et 180 familles, ce qui classe l'île parmi les régions les plus diversifiées sur le plan biologique à l'échelle mondiale, au même rang que certaines portions du Brésil, du Zaïre (maintenant la République démocratique du

Congo), du Cameroun et du Mexique (Guillaumet, 1984; Mittermeier *et al.*, 1997).

4.1.3.7 Adéquation de l'échantillonnage

Données concernant la structure forestière

Des courbes aire-espèce ont été tracées à partir des arbres de DHP ≥ 10 cm pour la forêt zonale, la forêt de transition, la forêt azonale, le fourré azonal et l'ensemble des types de peuplement forestier. Aucune des courbes ne s'aplanit complètement parallèlement à l'axe des abscisses de manière asymptotique (c.-à-d. au maximum de la richesse en espèces), mais certaines s'en approchent. Le nombre prévu de nouvelles espèces, non encore découvertes, pour chaque placette supplémentaire varie entre moins de une à trois espèces, selon le type de végétation.

L'ensemble de données biologiques sur les espèces d'arbres de la présente EIE permet une évaluation quantitative des habitats du secteur local d'étude de la mine; il est donc considéré suffisant aux fins de l'EIE.

Echantillons d'herbier

L'équipe du MBG assignée à l'étude sur la flore a procédé à un inventaire floristique plus complet du secteur local d'étude de la mine incluant les arbres, les arbustes, les couches herbacées (dont les ptéridophytes), les lianes, les épiphytes (dont les orchidées) et les parasites. Cet inventaire a produit 2524 échantillons de plantes. Ajoutés aux 838 prélèvements effectués par des botanistes dans les secteurs d'Ambatovy et d'Analamay au cours des quelques dernières décennies, cela mettait un total de 3362 spécimens d'herbier à la disposition de l'équipe de travail pour analyse.

A ce jour, 1401 échantillons de cette vaste collection ont été identifiés au niveau de l'espèce (41,7 %), dont 494 proviennent du secteur local d'étude de la mine. Les travaux d'identification des échantillons restants se poursuivent.

Ce travail constitue l'un des inventaires les plus intensif et les plus complets entrepris à Madagascar au niveau du site et procure une base solide à l'évaluation de la flore des secteurs d'Ambatovy et d'Analamay. Des études floristiques supplémentaires sont prévues dans le cadre de la stratégie reliée aux mesures d'atténuation.

4.1.3.8 Zones de conservation azonales hors site

Une reconnaissance aérienne a été effectuée au nord-est d'Ambatovy en mars 2005 afin de recueillir de l'information sur plusieurs emplacements susceptibles de convenir à une zone de conservation azonale hors site. Les données géologiques avaient permis d'identifier 28 formations ultrabasiques dans la partie nord de la région d'étude. De ceux-ci, 14 se trouvent en dehors des habitats actuellement sous forêts et n'ont donc pas été considérés davantage. Des 14 sites visités, celui d'Ankera, au nord-est du Parc national de Mantadia, s'avère le plus prometteur en matière de végétation azonale hors site. Le survol a permis de constater que ce secteur n'est pas perturbé et qu'il présente la même apparence générale qu'Analamay. Un inventaire au sol de la végétation a été effectué à cet endroit à la fin du mois de septembre 2005 dans le but de vérifier la présence d'une cuirasse ferralitique et recueillir de l'information supplémentaire concernant la végétation. L'apparence générale de la forêt d'Ankera est caractérisée par une forêt dense et rabougrie de type azonale, reposant sur un épais tapis de mousse. La flore y est le résultat d'un régime de pluviométrie et d'humidité plus élevé et elle comporte davantage d'éléments de la forêt orientale par opposition à Ambatovy et Analamay où la flore du plateau est bien représentée. Le secteur d'Ankera présente de nombreuses caractéristiques d'importance similaires à celles du secteur du projet (volume J, annexe 1.1). D'autres inventaires de la flore seront réalisés à cet endroit afin de déterminer s'il est approprié de l'utiliser pour des mesures compensatoires hors site.

4.1.4 Portée des enjeux

Les séances de consultation publique ont constitué un des principaux outils pour préciser les questions environnementales relatives au projet. Ces réunions ont donné l'occasion aux communautés locales, aux organismes de conservation et aux organismes gouvernementaux de tous les niveaux d'exprimer leurs préoccupations environnementales et sociales. Les enjeux soulevés par le projet quant aux impacts sur la flore sont le résultat des séances de consultation publiques, des études d'impact environnemental antérieures concernant l'exploitation des ressources à Madagascar et ailleurs dans le monde, et finalement, des Termes de références (volume A, section 6; volume H, annexe 1). Les principaux enjeux en ce qui concerne la flore sont les suivants:

- la perte d'espèces végétales vulnérables, menacées ou localement endémiques, y compris les espèces non encore identifiées
- l'appauvrissement de la diversité des espèces végétales
- la perte ou l'altération d'habitats azonaux uniques ou d'éléments clés au sein des habitats

- la perte ou l'altération de la végétation zonale native
- les impacts sur les zones humides (dont le marais de Torotorofotsy) ou l'altération de leurs fonctions écologiques
- les impacts sur les zones de conservation
- les impacts sur la santé des végétaux
- l'envahissement par des espèces exotiques ou indésirables des emplacements où pousse une végétation native

Tout au long de l'EIE, des questions clés ont été utilisées pour élaborer des liens de cause à effet (volume A, section 7). Le diagramme illustrant les liens entre les activités du projet et les effets sur la flore est présenté au volume H, annexe 9. Les questions clés pour la flore sont les suivantes:

- | | |
|--------------------------|---|
| Question clé FL-1 | Quel effet la mine aura-t-elle sur la perte ou l'altération des communautés végétales, leur structure et leur diversité? |
| Question clé FL-2 | Quel effet la mine aura-t-elle sur la perte d'espèces végétales (extirpation et extinction)? |
| Question clé FL-3 | Quel effet la mine aura-t-elle sur l'introduction d'espèces exotiques ou indésirables? |

Parmi les activités reliées au projet, la construction de la mine, son exploitation et la réhabilitation du site au moment de la fermeture devraient apporter des modifications à la flore. Des pertes directes de communautés végétales (dont des aspects touchant à la structure forestière et à la diversité) se produiront par suite des activités de la mine. La flore et les communautés végétales risquent aussi de subir les effets indirects (dont une diminution de la vigueur des plantes et de leur productivité, ainsi que des possibilités de nécrose) causés par la présence de poussière diffuse et la dispersion de SO₂ et de NO_x, les variations dans le régime hydrologique et les changements dans la qualité de l'eau. Il est aussi possible qu'un envahissement par des espèces exotiques ou indésirables, conséquence indirecte du projet, ait un effet sur les communautés végétales naturelles. De plus, le projet pourrait avoir comme conséquence la perte d'espèces végétales, soit par extirpation ou par extinction.

Ces effets sont dus aux activités de construction et d'exploitation. On estime que les mesures d'atténuation et les activités entourant la fermeture de la mine auront des effets positifs sur la flore. Tous les effets découlant du projet sur la flore peuvent avoir une incidence d'ordre esthétique et des conséquences sur l'occupation du sol, sur la santé humaine, sur la faune, et celle de l'écosystème, ainsi que sur la biodiversité. Lorsque les enjeux entretiennent des liens entre eux

(p. ex. la perte de communautés végétales, de leur structure ou de leur diversité), ils font l'objet d'une analyse et d'une présentation communes afin d'éviter les répétitions. L'annexe 9 du volume H présente un diagramme des liens pour les questions touchant la flore.

4.1.5 Question clé FL-1: Quel effet la mine aura-t-elle sur la perte ou l'altération des communautés végétales, de leur structure et de leur diversité?

Pendant les phases de construction et d'exploitation, le défrichement perturbera directement la flore.

4.1.5.1 Méthodes d'évaluation

L'impact du projet, en ce qui a trait à la perte ou à l'altération de la flore, est évalué en fonction de la réduction de la superficie totale des types de végétation. Les effets directs découlent du défrichement effectué alors que les effets indirects sont liés aux émissions de poussière diffuse, de SO₂ et de NO_x, de même qu'aux variations des niveaux d'eau et aux changements dans la qualité de l'eau.

Effets des opérations de défrichement

L'empreinte de perturbation au sol du projet comprend la zone centrale de la mine (p. ex. les installations sur le site même, les routes, les fosses et les haldes de stériles) et la conduite d'approvisionnement en eau. L'empreinte de perturbation de la zone centrale de la mine englobe une zone tampon de 50 m pour tenir compte des effets de lisière sur la végétation. Quant à la conduite d'approvisionnement en eau, une zone tampon de 25 m y a été prévue pour la prise en compte des impacts de la construction (c.-à-d. une zone de déblais et de travail).

Les impacts potentiels du point de vue de la structure forestière et de la diversité sont évalués en fonction du changement total dans la superficie de chaque type de végétation. La structure forestière est définie selon la strate végétale dominante du type de végétation (c.-à-d. forêt, fourré ou végétation non forestière) et les conditions d'humidité (zones sèches ou zones humides). La diversité des végétaux a fait l'objet d'une démarche d'estimation prudente. Toutes les classes de végétation naturelles ont été classées comme ayant une diversité élevée et ont été évaluées en fonction de la perte de superficie.

Les évaluations d'impact couvrent la période allant de la construction à l'exploitation, jusqu'à la phase de fermeture. On présume que les impacts les plus importants se produiront durant la construction et l'exploitation, et plus

particulièrement pendant la construction et dans les premiers stades d'exploitation, alors que les pertes directes d'habitats azonaux et de transition seront les plus grandes.

Effets des émissions atmosphériques

La poussière diffuse (matières en suspension) et la dispersion de dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x) ont été modélisées pour le secteur de la mine à partir des émissions produites par les groupes électrogènes diesel et les véhicules miniers ainsi qu'en fonction de la poussière soulevée par ces derniers (Climat et la qualité de l'air, volume B, section 3.4). Les émissions de SO₂ et de NO_x ont été évaluées par rapport aux directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) se rapportant aux effets écologiques sur la végétation terrestre. Ces directives sont encore plus sévères que celles concernant la qualité de l'air pour la protection de la santé humaine car des études ont démontré que les effets de certains polluants sur la végétation se produisent à des concentrations inférieures (OMS, 2000). Ni l'OMS ni la Banque mondiale n'ont produit de valeur guide pour la poussière. Une évaluation qualitative des effets de la poussière a donc été réalisée à partir de la littérature pertinente sur le sujet.

Le tableau 4.1-3 donne les valeurs utilisées pour la caractérisation des effets écologiques à long terme du SO₂ et des NO_x sur la végétation. La valeur guide la plus sévère de l'intervalle proposé pour le SO₂ (10 microgrammes/m³) a été assignée aux lichens, pour lesquels des effets visibles se produisent en premier. Le milieu de l'intervalle s'applique à la végétation forestière naturelle (20 microgrammes/m³), alors que la valeur supérieure concerne les terres agricoles (30 microgrammes/m³).

Ces directives s'appuient sur la recherche et des données européennes. Il existe en conséquence une part d'incertitude en ce qui a trait à leur applicabilité au secteur du projet. Des effets néfastes pourraient se produire à des concentrations inférieures aux valeurs guides indiquées. Néanmoins, en l'absence de données pour les tropiques et Madagascar, les directives proposées constituent la meilleure référence disponible.

Tableau 4.1-3 Directives de l'Organisation mondiale de la santé concernant les effets de substances individuelles sur la végétation terrestre

Substance	Valeur guide	Période d'établissement de la moyenne
SO ₂	10 à 30 µg/m ³	annuelle
NO _x	30 µg/m ³	annuelle

Source: OMS (2000).

Effets des variations du régime hydrologique

L'étude sur l'hydrologie (volume B, section 3.8) traite des impacts résiduels et présente les changements prévus des niveaux d'eau des zones humides et des cours d'eau. L'information contenue dans cette étude a servi pour évaluer les impacts potentiels sur la végétation du secteur local d'étude de la mine. Il n'existe pas de lignes directrices s'appliquant aux effets sur la végétation des changements d'ordre hydrologique. Une démarche qualitative a donc été adoptée.

Effets des changements dans la qualité de l'eau

L'étude sur la qualité de l'eau (volume B, section 3.9) traite des impacts résiduels et présente les changements prévus en matière de qualité de l'eau dans les zones humides et les cours d'eau. L'information contenue dans cette étude a servi pour évaluer les impacts potentiels sur la végétation du secteur local d'étude de la mine.

Il existe des directives concernant la qualité de l'eau pour la protection de la santé humaine (OMS, 2004) et des écosystèmes aquatiques (Department of Water Affairs and Forestry, 1996). La première édition de ces directives visant la protection du milieu aquatique ne met toutefois pas l'accent sur les effets concernant la végétation des milieux riverains et des zones humides. Par conséquent les méthodes employées pour l'évaluation des impacts sur la végétation des zones humides demeurent largement qualitatives, tout en respectant le contexte des directives pour la qualité de l'eau de boisson.

4.1.5.2 Critères d'évaluation

Les impacts résiduels ont été établis sur la base d'un système de classification tenant compte de l'orientation, l'intensité, la portée géographique, la durée, la réversibilité et la fréquence de l'impact étudié, tel que décrit au volume A (section 7.4). L'évaluation de la conséquence globale sur l'environnement globale est basé sur les critères d'intensité, de portée géographique et de durée, tel que précisé au volume A (section 7.4).

Le tableau 4.1-4 présente les critères de description utilisés pour les communautés végétales, leur structure et leur diversité.

Tableau 4.1-4 Critères de description des impacts sur les communautés végétales, leur structure et leur diversité

Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence
neutre: aucun changement ^(a) dans les communautés végétales négative: changement dans les communautés végétales	négligeable: aucun effet mesurable dans les communautés végétales faible: < 10 % de variation dans les communautés végétales moyenne: variation de 10 à 20 % dans les communautés végétales forte: > 20 % de variation dans les communautés végétales	locale: effet restreint au secteur local d'étude régionale: effet s'étendant au-delà du secteur d'étude	court terme: < 3 ans moyen terme: 3 à 30 ans long terme: > 30 ans	réversible ou irréversible	faible: se produit une fois moyenne: se produit par intermittence élevée: se produit en continu

^(a) Changement en matière de structure ou de composition

4.1.5.3 Mesures d'atténuation

Plusieurs mesures d'atténuation sont envisagées dans le but de réduire l'intensité, la portée géographique et la durée des impacts directs du projet sur la flore dans le secteur local d'étude de la mine. Les principales mesures d'atténuation incluent:

- la création de zones de conservation de la végétation azonale sur les sites d'Ambatovy et d'Analamay, représentatives des types de végétation clés affectés par le projet
- l'identification d'une zone de protection de la végétation azonale hors site et la préservation de cette zone
- la réhabilitation progressive des zones perturbées à l'aide d'espèces natives (amélioration de la structure forestière et de la diversité végétale)
- la pose de clôtures aux endroits stratégiques, adjacents aux aires de protection de la végétation azonale, afin de limiter les dommages durant la construction et l'exploitation
- l'élaboration et la mise en œuvre d'un Plan de gestion forestière communautaire dans un secteur de la zone tampon autour de la mine, conçue dans l'optique d'une foresterie durable maintenant la

biodiversité par la conservation et la gestion de l'utilisation des ressources

- la mise en oeuvre de projets de réhabilitation hors site et de gestion forestière, veillant à ce que la superficie totale de la forêt restaurée ou protégée soit supérieure à la superficie perturbée par la mine
- la sensibilisation du personnel de la mine et de la population locale aux questions environnementales, venant appuyer et renforcer les initiatives de conservation et de gestion forestière

4.1.5.4 Résultats

Pertes directes de communautés végétales dans l'ensemble du secteur local d'étude de la mine

Les pertes directes de communautés de plantes natives par suite de la construction et de l'exploitation de la mine et de la conduite d'approvisionnement en eau couvriront 1800 ha (7 % du secteur local d'étude de la mine) (tableau 4.1-5). De cette superficie, 1326 ha correspondent à une perte de végétation azonale et de transition, ce qui représente 46 % de ces deux grandes classes. Des types de végétation azonale, 525 ha des superficies perdues seront composées de forêt azonale (63 % de ce type), 112 ha de fourré azonal (85 %), 347 ha de végétation azonale perturbée (83 %) et 4 ha de mares temporaires (87 %).

Pour ce qui est de la végétation zonale et des autres types présents dans le secteur local d'étude de la mine, les pertes directes subies par suite des activités de défrichement de la mine seront moindres que dans le cas des végétations azonales et de transition. Les pertes de forêt zonale s'élèveront à 371 ha dans le secteur d'étude du projet, soit 3 % de ce type de végétation. Un total de 5 ha de terres seront perdues aux dépens des plantations d'eucalyptus et autres terres boisées. Une superficie totale de 82 ha de couverture végétale herbacée de zones sèches et de végétation de pâturage sera perdue (2 % de cette classe). Treize hectares de végétation herbacée de marais/rizières seront aussi perdus (1 % de ce type de végétation). Enfin, 3 ha de rizières seront directement touchés par les activités liées au projet.

Tableau 4.1-5 Changement de la superficie des différents types de végétation suite au défrichement dans le secteur local d'étude de la mine

Type de végétation	Scénario de référence ^(a)	Scénario d'impact	Changement	Changement
	ha	ha	ha	%
types de végétation azonale et de transition				
forêt azonale	826	301	-525	-64
fourré azonale	133	21	-112	-84
végétation azonale perturbée	421	72	-347	-82
mare temporaire	5	1	-4	-80
<i>sous-total des types de végétation azonale</i>	<i>1384</i>	<i>396</i>	<i>-988</i>	<i>-71</i>
forêt de transition azonale sur substratum de gabbro	438	341	-97	-22
forêt de transition	1051	810	-241	-23
<i>sous-total des types de végétation de transition</i>	<i>1489</i>	<i>1151</i>	<i>-338</i>	<i>-23</i>
<i>sous-total des types de végétation azonale et de transition</i>	<i>2874</i>	<i>1548</i>	<i>-1326</i>	<i>-46</i>
types de végétation zonale et autres				
forêt zonale	12 527	12 156	-371	-3
eucalyptus et autres terres boisées	831	826	-5	-1
forêt de bordure de marais	36	36	0	0
bordure de marais non boisée (perturbée)	195	195	0	0
brûlis non forestier	2260	2260	0	0
couvert de végétation herbacée et pâturage	2709	2627	-82	-3
végétation herbacée de marais	102	102	0	0
végétation herbacée de marais / rizières	1012	999	-13	-1
rizières	305	302	-3	-1
village	29	29	-<1	-<1
eau	13	13	0	0
<i>sous-total des types de végétation zonale et autres</i>	<i>20 019</i>	<i>19 545</i>	<i>-474</i>	<i>-2</i>
total	22 893	21 093	-1800	-8

(a) Le scénario de référence exclut les perturbations dues à des campagnes d'exploration dont 33,3 ha sont attribués aux travaux reliés au projet et 30,2 ha sont attribués aux travaux de GENiM et Phelps Dodge Madagascar S.A.R.L. Ces perturbations, totalisant 63,5 ha, sont incluses en grande partie dans les estimations de pertes/altérations présentées (chevauchement entre les zones d'exploration et le site proposé pour la mine).

Note: En raison de l'arrondissement, les totaux et sous-totaux peuvent différer légèrement des valeurs attendues.

Le marais de Torotorofotsy ne subira aucun impact direct. Les types de végétation non affectés par la construction et l'exploitation de la mine comprennent:

- la forêt de bordure de marais
- les bordures de marais non boisées
- la végétation de brûlis non forestier
- la végétation herbacée de marais

La partie précédente faisait le sommaire des impacts directs sur la végétation. Le texte ci-après explique quant à lui les effets directs associés à chacun des gisements. Les impacts sont présentés séparément pour le gisement d'Ambatovy et d'Analamay. Ils ne s'ajoutent pas à la description faite plus haut; ils sont plutôt présentés de manière à clarifier la portée des impacts du projet au sein de chacun des secteurs, en grande proportion constitués de végétation azonale et de transition. Des zones de végétation englobant les types de végétation azonale et de transition ont été définies dans chacun des secteurs de gisement pour les fins de la présente EIE.

Pertes directes au sein des communautés végétales d'Ambatovy

Les impacts directs sur la végétation d'Ambatovy correspondent à 664 ha, soit 51 % de la végétation présente à ce gisement (une ventilation détaillée apparaît à l'annexe 1.2 du volume J). Les activités associées au projet entraîneront la perte d'un total de 307 ha de forêt azonale (70 % de ce type de végétation à Ambatovy) et de 58 ha (80 %) de végétation de type fourré azonale. Quant à la végétation azonale perturbée (en raison de feux ou de facteurs anthropiques passés), elle subira des effets directs sur une superficie de 77 ha dans le secteur d'Ambatovy (62 % de ce type de végétation). Le défrichement touchera 34 ha de forêt de transition de type azonale (19 %) et supprimera 181 ha de forêt de transition (39 %).

Pertes directes au sein des communautés végétales d'Analamay

Les impacts directs sur la végétation d'Analamay correspondent à 669 ha, soit 42 % de la végétation présente à ce gisement (une ventilation détaillée apparaît à l'annexe 1.2 du volume J). Les activités associées au projet entraîneront la perte d'un total de 218 ha de forêt azonale (56 % de ce type de végétation à Analamay) et de 55 ha (90 %) de végétation de type fourré azonale. Quant à la végétation azonale actuellement perturbée en raison de feux ou de facteurs anthropiques passés, elle subira des effets directs sur une superficie de 270 ha dans le secteur

d'Analamay (91 %). Le défrichement touchera 63 ha de forêt de transition de type azonal (24 %) et supprimera 60 ha de forêt de transition (10%).

Effets indirects sur les communautés végétales résultant des poussières et autres émissions atmosphériques

Les communautés végétales qui existent aujourd'hui dans le secteur local d'étude de la mine ont subi l'influence à la fois de facteurs naturels et de facteurs anthropiques. Parmi les principaux facteurs humains ayant directement ou indirectement affecté la structure et la composition des communautés végétales locales, on retrouve l'exploitation forestière, la culture sur brûlis, la culture du riz, la construction de routes et les activités d'exploration minière. Durant la construction et l'exploitation de la mine, il se peut que la végétation soit aussi affectée par un changement de la qualité de l'air occasionné par les gaz d'échappement des véhicules miniers, les poussières que ces derniers soulèvent et les émissions des installations de préparation du minerai (groupes électrogènes diesel). Toutes ces activités émettront du SO₂ et des NO_x et produiront des poussières diffuses, qui à leur tour risquent de nuire à la santé des végétaux. Une modélisation de ces émissions atmosphériques au site de la mine a été réalisée pour la durée de vie du projet. Elle est présentée dans la section 3.4 du volume B portant sur le climat et la qualité de l'air.

Les résultats de la modélisation atmosphérique utilisés pour évaluer les effets sur la végétation ont été jugés prudents. De façon générale il s'avère approprié d'évaluer les effets selon une approche prudente car elle présente les effets anticipés considérant le pire des scénarios. Cela a l'avantage de prévoir une marge de manœuvre pour les imprévus et les incertitudes; cependant, dans certain cas, une telle approche peut entraîner une surestimation des effets prévus. Les éléments des modèles atmosphériques ayant contribué à l'obtention de résultats prudents comprennent notamment:

- l'utilisation du modèle CALPUFF (qui produit des estimés prudents de par sa conception même)
- la supposition de base que tous les secteurs de la mine seront en activité pour toute la durée de vie de la mine (ce qui n'est pas le cas)
- la modélisation du pire scénario a été présentée, qui correspond à l'année où il y aura le maximum de consommation de diesel et la plus importante production de poussières

Le plan simplifié de la mine a servi de base aux modèles atmosphériques. Il a été supposé que tous les secteurs désignés pour l'exploitation minière, et ce sur l'entière durée de vie du projet, seraient en activité en tout temps. Cette

supposition de base a une influence sur l'évaluation qui a été faite des effets sur la végétation; elle implique en effet que le résultat obtenu correspond à la plus grande aire d'influence possible sur un nombre d'années maximal. Par exemple, selon le plan proposé, l'exploitation minière à Analamay ne devrait pas débiter avant l'année 10 (volume B, section 2). Il est donc fort probable que la végétation à divers endroits autour de l'empreinte au sol de la mine ne soit sujette aux émissions associées au projet que durant une certaine portion de la durée de vie de la mine.

Un autre aspect qui ajoute à la prudence des estimés est l'utilisation d'un modèle du pire scénario, qui affiche la plus grande consommation de combustible et la plus importante production de poussières pour une année. En conséquence, on prévoit qu'aucune des années réelles ne produira des valeurs plus élevées. De plus, les valeurs moyennes seront plus faibles sur toute la durée de vie de la mine. Cela revêt de l'importance quant à l'évaluation des effets potentiels sur la végétation, car les moyennes à long terme peuvent s'avérer de meilleurs indicateurs de changement que le pire scénario pour une seule année.

Poussières

Le dépôt sur la végétation de poussières issues de l'exploitation minière peut avoir divers effets, qu'ils soient physiologiques ou chimiques. De tels effets comprennent : la réduction du contenu en eau, une conductivité électrique accrue, une baisse des niveaux de chlorophylle, une respiration réduite, une moins bonne réception du rayonnement ou photosynthèse réduite, ainsi qu'une plus faible absorption du carbone (Spatt et Miller, 1981). Il est possible que des indices visibles de lésion apparaissent et, en général, que la productivité diminue.

Il existe plusieurs études traitant des effets de la poussière sur la végétation des régions tempérées. Il n'y a pas eu autant d'efforts de recherche concernant les effets de la poussière sur des communautés végétales considérées dans leur ensemble. Quant aux résultats des études effectuées sur des espèces particulières, ils varient et sont aussi affectés par d'autres facteurs. En conséquence, aucune norme n'a été fixée par les organismes réglementaires quant à la concentration à partir de laquelle la poussière affecte de manière significative les fonctions végétales.

Afin de dégager une ligne directrice de base pour la présente étude, les résultats d'études pertinentes ont été passés en revue. Une étude portant sur les effets de la poussière des abords de routes sur la végétation montre une réduction de la croissance d'*Abies alba* (sapin blanc européen) correspondant à des concentrations variant entre 25 et 100 microgrammes/m³ (bien que le plomb et les NO_x puissent aussi avoir contribué aux effets observés) (Braun et Fluckiger,

1987). Ces résultats se fondent sur l'étude d'une seule espèce et ils ont été obtenus en région tempérée. En l'absence de valeurs de référence (lignes directrices) plus rigoureuses, ils offrent cependant un estimé grossier pouvant servir à évaluer la propagation aérienne et le risque d'impacts sur la végétation du secteur local d'étude de la mine.

L'exactitude des effets prévus au site de la mine demeure dans le domaine de la spéculation; cela en raison du peu d'études sur le sujet pour des environnements tropicaux et en outre, l'absence d'étude réalisée à Madagascar. Si toutefois des effets se produisent, il est possible qu'ils se manifestent à certains endroits de la structure forestière, ou sur certains types de plantes et pas sur d'autres.

Il existe des évidences à l'effet que les plantes du tapis forestier seraient plus susceptibles à la présence de poussières, en raison du lessivage qui se produit au cours des périodes de pluie intense (Anthony, 2001). Durant la saison des pluies il ne devrait y avoir que des quantités négligeables de poussière en suspension dans l'air dans le secteur local d'étude de la mine.

Selon les études effectuées dans des régions tempérées, les plantes les plus sensibles sont les lichens, tout particulièrement les lichens épiphytes (Gilbert, 1976). La forme de croissance diffuse de plusieurs lichens présente des conditions propices à l'emprisonnement de la poussière. Ainsi, les lichens épiphytes peuvent subir des effets directs du dépôt de poussières (c.-à-d. des effets physiques) ou des effets indirects découlant de la modification de la chimie de l'écorce (Garty et Delarea, 1987). En raison de leur sensibilité, les lichens épiphytes ont été utilisés dans le cadre de la surveillance du dépôt de poussières contaminée et ses effets (Loppi and Pirintzos, 1999). Les bryophytes (mousses) ont eux aussi la capacité de capter et de retenir facilement la poussière sur leurs surfaces scabres, ce qui les prédispose également aux effets nuisibles de celle-ci (Richardson, 1981). Il est également possible que les orchidées épiphytes (dites « plantes aériennes » parce qu'elles poussent sur les branches d'arbres), qui captent l'humidité de l'air et piègent les nutriments, soient susceptibles elles aussi de subir les effets des poussières diffuses. Il existe de nombreuses espèces d'orchidées épiphytes dans le secteur local d'étude de la mine (p. ex. *Angraecum* sp.); plusieurs sont rares ou endémiques au secteur d'étude.

On en déduit donc que les plantes les plus sensibles aux effets de la poussière seraient celles qui poussent sur le tapis forestier, en particulier les lichens, ainsi que les mousses et les autres formes végétales qui tirent de l'air une partie de leurs besoins en humidité et en nutriments, comme les orchidées épiphytes.

Le niveau de poussière maximal au site de la mine a été modélisé pour des concentrations égales ou supérieures à la valeur guide de 20 microgrammes/m³, afin d'obtenir des estimés prudents des effets potentiels sur la végétation. Cette valeur guide est légèrement inférieure à la concentration la plus basse observée au bord de la route dans l'étude mentionnée plus haut (Braun et Fluckiger, 1987). Toutefois, étant donné que les formes végétales telles que les lichens, les mousses et vraisemblablement les orchidées épiphytes semblent plus sensibles à la poussière que d'autres formes de végétation, cette valeur limite légèrement inférieure apparaissait appropriée aux fins de la présente étude. Cette valeur a servi à quantifier l'étendue maximale de propagation aérienne où les effets potentiels de la poussière diffuse pourraient être observés.

Ainsi, après soustraction des effets directs du défrichement du site, la modélisation de propagation aérienne de poussière diffuse a permis d'établir que la superficie pour laquelle la concentration excède 20 microgrammes/m³ est de 1118 ha (5 % du secteur local d'étude de la mine). Selon les prévisions du modèle, la plus grande quantité de poussière dispersée atteindra la végétation de forêt zonale (853 ha, 4 % du secteur local d'étude de la mine). Dans les communautés plus rares (c.-à-d. les types de végétation azonale), il est prévu que la poussière se propagera sur une superficie maximale de 77 ha (6 % de tous les types de végétation azonale). Cela comprend 43 ha de forêt azonale, 8 ha de fourré azonal et 25 ha de végétation azonale perturbée. De plus, la poussière affecterait aussi un total de 113 ha de forêt de transition de type azonal et de 73 ha de forêt de transition.

Le modèle prévoit que la majorité de la poussière n'atteindra pas les zones de conservation de végétation azonale proposées. En ce qui concerne Ambatovy, aucune poussière ne devrait se retrouver dans la zone de conservation de végétation azonale, selon les prévisions. Dans le cas de celle d'Analamay, le modèle prévoit que des poussières se disperseront sur une superficie de 10 ha (soit 10 % de la zone de conservation d'Analamay).

Dioxyde de soufre et oxydes d'azote

Les émissions des opérations minières susceptibles d'affecter la santé de la végétation comprennent les oxydes de soufre et d'azote. Ces émissions atmosphériques peuvent avoir un effet sur la santé des végétaux, selon les concentrations, la sensibilité des plantes et les conditions environnementales (Halgren, n.d.; Whitmore et Freer-Smith, 1982; Freer-Smith, 1983; Mansfield *et al.*, 1987; Innes et Skelly, 1988). Les effets peuvent être de courte ou de longue durée. Les effets d'une exposition à court terme sont généralement restreints à une zone très localisée. Ils incluent la chlorose ou la nécrose de tissus végétaux, qui peuvent entraîner une diminution du taux de croissance ou, éventuellement, la mort des végétaux. Des travaux de recherche récents suggèrent que des

concentrations de pointe pendant une courte durée (c.-à-d. 24 h) n'entraînent pas d'impact significatif comparativement à des doses cumulées (OMS, 2000). Par conséquent, seuls les effets potentiels à long terme ont été évalués.

SO₂

La sensibilité des plantes à la fumigation au SO₂ est bien documentée. En effet, de nombreuses études de laboratoire et de terrain ont été menées sur des espèces particulières, de même que quelques autres concernant un écosystème complet. Il est connu que l'exposition à long terme d'écosystèmes terrestres à des émissions de SO₂ a un effet direct sur la productivité des plantes. Une telle exposition inhibe la photosynthèse, ce qui cause une baisse de la productivité et affecte la vigueur et la santé des végétaux (Bell et Clough, 1973).

La concentration utilisée pour l'évaluation des effets sur la végétation se situe entre 10 et 30 microgrammes/m³, selon les directives de l'OMS (OMS, 2000). La concentration la plus basse correspond au niveau auquel des effets sur les lichens peuvent commencer à apparaître. La végétation herbacée et ligneuse est en général moins sensible au SO₂ que les lichens. La valeur guide utilisée pour les plantes vasculaires est de 20 microgrammes/m³ (OMS, 2000).

La présente évaluation adopte une approche prudente. Les zones potentiellement affectées par les émissions de SO₂ ont été établies d'après la valeur guide la plus faible, soit 10 microgrammes/m³, ce qui donne une plus grande superficie de dispersion. Ainsi, la présente étude se concentre sur les effets potentiels subis par les plantes les plus sensibles du secteur local d'étude de la mine.

L'étendue prévue de la propagation aérienne du SO₂ de la mine à une concentration de 10 microgrammes/m³ a ainsi été estimée à 3 111 ha (soit 14 % du secteur d'étude de la mine), excluant les effets directs du défrichement du site. Cette aire de dispersion englobe toutes les zones de propagation de poussière diffuse obtenues par modélisation.

La plus grande quantité de SO₂ dispersée atteindra la végétation de forêt zonale (2 206 ha). Dans les communautés plus rares (c.-à-d. les types de végétation azonale), il est prévu que le SO₂ se propagera sur une superficie maximale de 325 ha (24 % de tous les types de végétation azonale). Cela comprend 252 ha de forêt azonale, 17 ha de fourré azonal et 56 ha de végétation azonale perturbée. De plus, le SO₂ couvrirait aussi une superficie totale maximale de 227 ha de forêt de transition de type azonal et de 456 ha de forêt de transition.

Comprise dans les chiffres donnés ci-dessus, une superficie de 96 ha (soit 100 %) de la zone de conservation d'Analamay se trouve à l'intérieur de la zone de

dispersion de SO₂ à des concentrations de 10 microgrammes/m³ et plus. Le SO₂ excède 30 microgrammes/m³ sur une superficie totale de 14 ha (soit 15 % de la zone de conservation). Quant à Ambatovy, un total de 101 ha (soit 48 %) de la zone de conservation se trouve à l'intérieur de la zone de dispersion de SO₂ à des concentrations de 10 microgrammes/m³ et plus. Le SO₂ excède 30 microgrammes/m³ sur une superficie totalisant 6 ha (3 %).

NO_x

Les NO_x contribuent à l'acidification ; en faibles concentrations, ils peuvent aussi produire un effet fertilisant (c.-à-d. favorisant la croissance) (Hutchinson et Meema, 1987; Diekmann et Dupré, 1997). L'effet fertilisant initial peut toutefois être nocif sur une longue période, alors que la quantité d'azote accumulée dépasse les capacités d'absorption des végétaux. Il se produit alors une saturation en azote et une eutrophisation (Diekmann et Dupré, 1997; Thimounier *et al.* 1994; Rosen *et al.* 1992). Ce phénomène est probablement moins sujet à se produire au site de la mine, en particulier dans les zones de végétation azonale et de transition, en raison de la nature acide des sols (étude de référence sur les sols, volume I, section 3.1).

Il se peut également que les plantes exposées à de faibles concentrations de NO_x présentent une moins bonne résistance au stress thermique, aux insectes et aux agents pathogènes (Hutchinson et Meema, 1987; Rosen *et al.*, 1992; Fangmier *et al.*, 1994). Il a de plus été démontré que l'exposition continue aux NO_x de plantes sensibles cause des lésions foliaires visibles (Taylor et MacLean, 1970).

La concentration minimale utilisée pour évaluer les effets sur la végétation est de 30 microgrammes/m³, selon les directives de l'OMS (OMS, 2000). L'étendue de la propagation aérienne des NO_x de la mine à une concentration supérieure à cette valeur a ainsi été estimée à 3 876 ha (soit 17 % du secteur d'étude de la mine), excluant les effets directs du défrichement du site. Cette aire de dispersion englobe toutes les zones de propagation obtenues par modélisation pour la poussière diffuse et le SO₂.

La plus grande quantité de NO_x dispersée atteindra la végétation de forêt zonale (2 551 ha). Dans les communautés plus uniques (c.-à-d. les types de végétation azonale), il est prévu que les NO_x se propageront sur une superficie maximale de 337 ha (24 % de tous les types de végétation azonale). Cela comprend 261 ha de forêt azonale, 17 ha de fourré azonal et 58 ha de végétation azonale perturbée. De plus, les NO_x couvriraient aussi une superficie maximale de 244 ha de forêt de transition de type azonal et de 554 ha de forêt de transition.

Comprise dans les chiffres donnés ci-dessus, une superficie de 96 ha (soit 100 %) de la zone de conservation d'Analamay se trouve à l'intérieur de la zone de dispersion des NO_x à des concentrations de 30 microgrammes/m³ et plus. Les NO_x excèdent 60 microgrammes/m³ sur une superficie totale de 88 ha (soit 92 % de la zone de conservation). Quant à Ambatovy, un total de 119 ha (soit 57 %) de la zone de conservation se trouve à l'intérieur de la zone de dispersion de NO_x à des concentrations de 30 microgrammes/m³ et plus. Les NO_x excèdent 60 microgrammes/m³ sur une superficie totalisant 64 ha (31 %) de cette zone de conservation.

Effets indirects sur les communautés végétales résultant des changements sur l'hydrologie et la qualité de l'eau

Hydrologie

Selon les résultats de l'étude hydrologique (volume B, section 3.8), il y aura une augmentation du ruissellement provenant du site de la mine durant la construction et l'exploitation et suivant la fermeture, comparativement aux conditions de référence. Cette augmentation est la conséquence directe des perturbations du terrain telles que les défrichements, l'excavation et le compactage des sols. Les eaux de surface s'écouleront en aval des bassins collecteurs du secteur de la mine par le réseau existant de chenaux et de cours d'eau vers les rizières et les marais locaux, dont le marais de Torotorofotsy. Cet accroissement des débits de surface se produira principalement au cours de la saison des pluies. Aucune modification significative de l'écoulement n'a été prévue pendant la saison sèche.

L'augmentation de l'écoulement de surface ne devrait pas causer de hausse des moyennes annuelles des niveaux d'eau des zones humides du secteur local. En effet, il n'y a pas d'apports hydrologiques supplémentaires aux bassins versants du site de la mine et il est possible, en appliquant une gestion dynamique des eaux, de combler les déficits en eau souterraine par l'augmentation des volumes d'eaux de ruissellement. L'eau amenée au site de la mine par la conduite d'approvisionnement, en provenance de la prise d'eau sur la rivière Mangoro, sera évacuée complètement du site par le pipeline de pulpe.

Il peut y avoir des périodes durant la saison des pluies où les augmentations de l'écoulement de surface entraîneront une hausse locale du niveau d'eau dans les cours d'eau menant aux zones humides, dont le marais de Torotorofotsy. Les estimés de ces hausses varient entre 1 et 9 cm au cours de la phase d'exploitation et après la fermeture, en fonction du sous-bassin concerné. Selon les prévisions, les augmentations du niveau d'eau dans le bassin versant de Torotorofotsy auront un effet négligeable sur les débits entrants totaux au marais de Torotorofotsy (volume B, section 3.8). Les débits seront en partie atténués par un bassin

collecteur des eaux de ruissellement positionné dans la partie supérieure de la rivière Torotorofotsy. Par conséquent, aucun effet néfaste n'est prévu sur les communautés végétales du marais de Torotorofotsy, considéré comme le plus grand écosystème de marais à l'état naturel de la partie orientale de Madagascar.

Au sein des autres zones humides locales, des impacts faibles sont prévus sur les niveaux des cours d'eau (volume B, section 3.8). Dans l'un des cas (c.-à-d. les zones humides entourant la rivière Sahamarirana, immédiatement au sud d'Ambatovy), cela se traduit par une augmentation du niveau d'eau du cours d'eau de 8 cm durant l'exploitation et de 9 cm pour la période post-fermeture. Il est peu probable que ces hausses relativement faibles du niveau d'eau à différentes phases de l'exploitation et de la fermeture de la mine aient un effet néfaste sur la végétation de bordure de marais. En effet, ce type d'écosystème, de par sa nature même, est adapté aux conditions humides. Il est toutefois possible que la composition en espèces des communautés des zones humides change, favorisant certaines espèces par rapport à d'autres. Ce phénomène dépendra de la tolérance d'espèces particulières des zones humides aux variations du niveau d'eau. Par exemple, les espèces ligneuses sont généralement plus sensibles aux écarts des cycles hydrologiques saisonniers et annuels que les espèces herbacées (Adamus et Brandt, 1990). Il ne faut cependant pas surestimer les impacts potentiels sur les plantes ligneuses, étant donné que les espèces de laïches et de graminées dominent la végétation des écosystèmes de zones humides. En outre, comme les probabilités de changement du niveau d'eau dans les zones humides sont faibles, de même que l'intensité de ces changements, il est prévu que tout effet potentiel sur la végétation sera également faible.

Qualité de l'eau

Les résultats de l'étude sur la qualité de l'eau (volume B, section 3.9) indiquent que durant la phase d'exploitation, et en raison des opérations minières, les concentrations en chrome dans le marais de Torotorofotsy subiront une augmentation au-delà des valeurs guides des lignes directrices sud-africaines sur la qualité de l'eau des écosystèmes aquatiques. Il est aussi possible que les concentrations en cadmium, en chrome, en plomb et en zinc excèdent les valeurs guides dans d'autres zones humides locales pendant la période d'exploitation. Toutefois, les concentrations ne dépasseront les valeurs guides des directives de l'OMS pour la qualité de l'eau de boisson (OMS, 2004). Après la fermeture, les concentrations prévues pour toutes les substances retourneront aux concentrations initiales de référence.

Certaines études ont démontré que les effets des métaux lourds sur les plantes peuvent mener à des lésions physiques et à des diminutions de la croissance, de l'activité physiologique et biochimique, ainsi que des fonctions végétales (Chen, 2003). D'autres études ont révélé que certaines espèces de plantes (p. ex. les

laïches) se protègent elles-mêmes des effets toxiques des métaux lourds bien qu'elles absorbent des quantités importantes de substances (Erickson *et al.*, 1996). Voici une brève description des effets toxiques connus du cadmium, du chrome, du plomb et du zinc sur les plantes vasculaires:

- Le cadmium est facilement absorbé par les plantes et il peut se révéler toxique pour celles-ci à des concentrations dans les sols inférieures à celles d'autres métaux lourds (EPA, 1981).
- Le chrome a la capacité de se bioaccumuler dans la végétation aquatique (Eisler, 1986).
- Le plomb se bioaccumule dans les macrophytes, y compris les plantes d'eau douce (Eisler, 1988b; Department of Water Affairs and Forestry, 1996); à des concentrations élevées, le plomb peut entraîner une baisse de croissance et une diminution de l'absorption d'eau (Eisler, 1988b).
- Le zinc est toxique pour les plantes en concentrations élevées, nuisant à leur croissance, leur survie et leur reproduction (Eisler, 1993).

A la longue, ces substances risquent d'affecter les plantes des zones humides locales, y compris celles du marais de Torotorofotsy. Toutefois, selon les prévisions, les concentrations en métaux lourds qui atteindront ces systèmes en provenance du site de la mine en cours d'exploitation seront faibles (c.-à-d. inférieures aux valeurs guides des directives pour la qualité de l'eau de boisson), bien qu'elles soient plus élevées que les lignes directrices établies pour la protection des écosystèmes aquatiques. Tous ces facteurs pris en compte, les effets potentiels sur la végétation des zones humides durant la période d'exploitation devraient être faibles. Aucun effet n'est prévu à la fermeture.

4.1.5.5 Evaluation des impacts

Impacts résiduels

Impacts résiduels des opérations de défrichement sur la végétation azonale et de transition

Les activités reliées à la construction et à l'exploitation de la mine occasionneront des pertes directes de végétation, particulièrement en ce qui concerne des types d'habitat rares. Il y aura une perte de 1326 ha de végétation de type azonale et de transition (un total de 46% de ces habitats au sein du secteur local d'étude de la mine). Ceci inclut les types de végétation suivants : forêt azonale (524 ha), fourré azonale (112 ha), végétation azonale perturbée (347 ha), mares temporaires (4 ha), forêt de transition de type azonale (87 ha) et forêt de transition (241 ha). L'intensité des pertes est jugée forte, de portée géographique locale, de longue durée et entraînant un niveau élevé de conséquence sur

l'environnement (tableau 4.1-6). L'excavation de la cuirasse ferrallitique et du substrat pisolitique qui supportent ces habitats engendrera des impacts essentiellement irréversibles.

Reconnaissant ces faits et comprenant la grande importance des types de végétation azonale et de transition pour les espèces rares et vulnérables de flore et de faune, et pour la biodiversité dans le secteur local, le promoteur propose un plan complet d'atténuation (sur le site et hors site) visant à préserver les éléments clés de l'habitat du paysage forestier. De plus, le promoteur travaillera avec les autorités malgaches, les collectivités et les organisations non gouvernementales (ONG) en vue d'élaborer un plan de gestion forestière durable à long terme pour la région entourant la mine. Compte tenu des tendances actuelles dans l'ensemble de Madagascar et localement, où l'on observe des pertes d'habitat causées par la coupe du bois pour la construction, le chauffage et la production de charbon, le plan d'atténuation proposé devrait contribuer positivement et à long terme au maintien des éléments clés de l'habitat et à l'utilisation durable de ressources, et ce, davantage que si on maintenait le statu quo (consulter aussi le volume B, section 5.3). Le texte qui suit décrit plus en détail les avantages du plan d'atténuation proposé.

Création de zones de conservation de la végétation azonale sur le site

Avant l'aménagement de la mine, deux zones de conservation de la végétation azonale totalisant 305 ha (11 % des types de végétation azonale et de transition du secteur local d'étude de la mine) seront établies sur le site dans les limites du complexe du gisement (tableau 4.1-7 et figure 4.1-1). Cette initiative sera menée en collaboration avec les communautés locales et le Ministère de l'environnement, et fera partie intégrante du Plan régional de gestion forestière (voir volume B, section 5.3). L'établissement de ces zones de conservation dans chacun des deux secteurs de gisement contribuera à assurer la représentation à long terme des principaux types de végétation azonale dans la région. Ces zones fourniront non seulement une protection aux plantes vulnérables et localement endémiques, mais aussi un habitat protégé pour la faune rare.

Tableau 4.1-6 Classification des impacts résiduels concernant la perte ou l'altération des communautés végétales, la structure forestière et la diversité

Elément	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
pertes ou altération des communautés de plantes							
forêt azonale	négative	forte	locale	long terme	irréversible	moyenne	élevée
fourré azonale	négative	forte	locale	long terme	irréversible	moyenne	élevée
habitat azonale perturbé	négative	forte	locale	long terme	irréversible	moyenne	élevée
mare temporaire	négative	forte	locale	long terme	irréversible	moyenne	élevée
forêt de transition de type azonale	négative	forte	locale	long terme	irréversible	moyenne	élevée
forêt de transition	négative	forte	locale	long terme	irréversible	moyenne	élevée
zones de conservation de la végétation azonale	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
forêt zonale	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
eucalyptus et autres terres boisées	neutre	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.
forêt de bordure de marais	neutre	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.
marais de Torotorofotsy	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
végétation herbacée de marais	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
pertes ou altération de la structure forestière							
forêts des zones sèches	neutre	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.
forêts des zones humides	neutre	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.
fourrés	négative	élevée	locale	long terme	irréversible	moyenne	élevée
zones sèches non forestières	neutre	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.
zones humides non forestières	négative	faible	locale	long terme	réversible	moyenne	faible
pertes ou altération de la diversité végétale							
forte diversité végétale	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	moyenne	moyenne

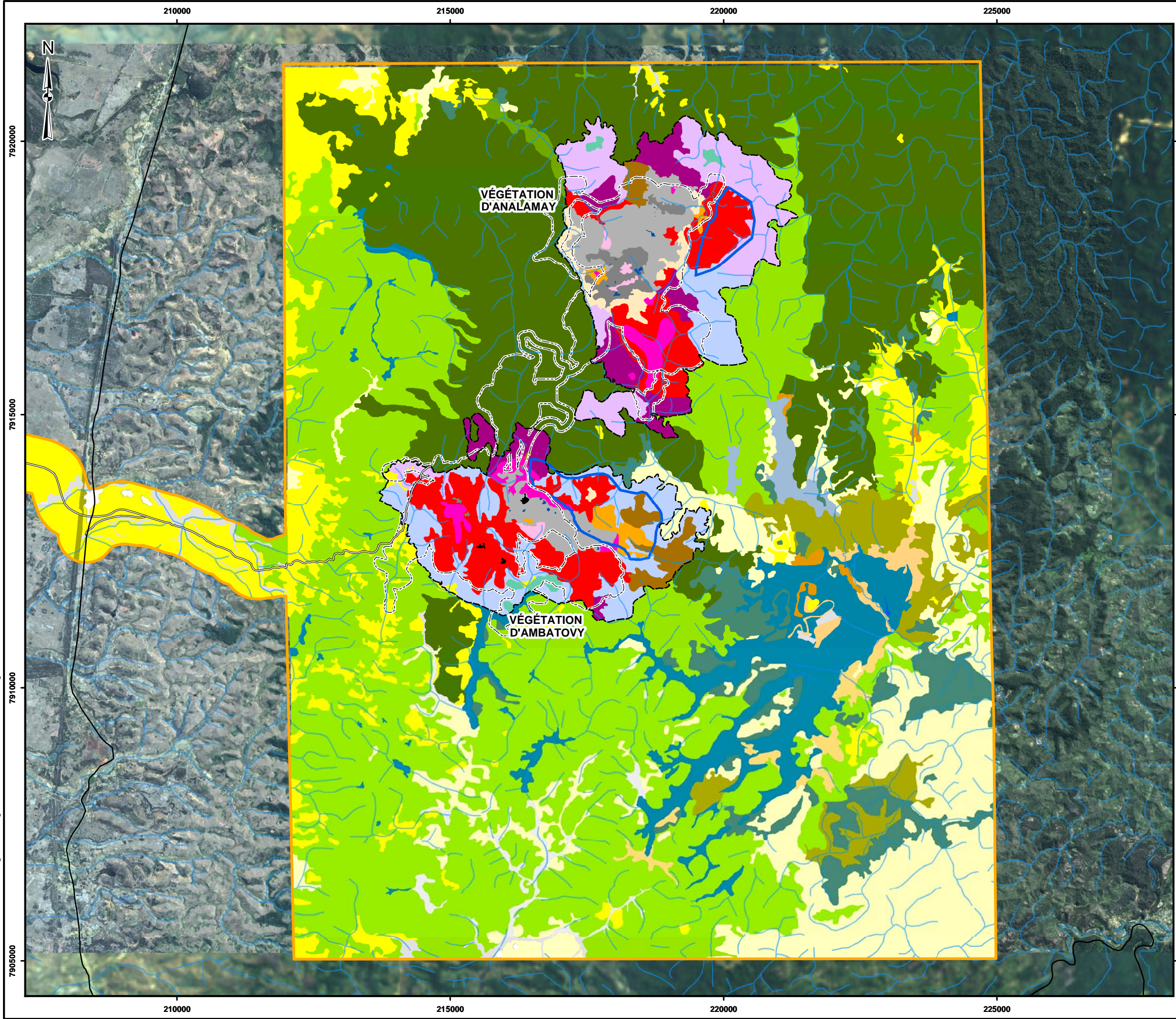
La superficie de la zone de conservation d'Ambatovy est d'environ 209 ha. Elle comporte au moins trois mares temporaires (0,18 ha), de la végétation azonale (113 ha) et de la forêt de transition (96 ha). Le long de certains segments à la

ligne de démarcation entre la mine et la zone de conservation d'Ambatovy, il existe une zone tampon supplémentaire, constituée de végétation azonale perturbée sur une superficie d'environ 10 ha. Vers l'est, la zone de conservation se trouve contiguë à la zone tampon définie par le plan de gestion forestière, au couloir Mantadia-Zahamena et au site Ramsar de Torotorofotsy.

La superficie de la zone de conservation d'Analamay est d'environ 96 ha. Elle se compose d'au moins trois mares temporaires (0,13 ha), de forêt azonale (81 ha) et de forêt de transition (15 ha). Cette zone de conservation est située à l'est de la mine et en est séparée par une zone tampon de végétation azonale supplémentaire et un ruisseau, formant en moyenne une bande d'une largeur d'environ 100 m. Cette zone tampon, si elle ne subit aucune perturbation, augmentera la superficie effective de la zone de conservation d'environ 15 hectares.

Afin d'aider à la protection de ces zones, pour qu'aucune activité minière non planifiée ne les perturbe, des clôtures et des panneaux seront érigés le long de certaines sections.

i:/2003/03-1322/03-1322-172/lrmd/Vegetation/Fig4.1-1_ConsAreas_MineSite_Veg_LEG1_French.mxd



LÉGENDE

VÉGÉTATION AZONALE

- FOURRÉ AZONAL
- FOURRÉ AZONAL PERTURBÉ
- FORÊT AZONALE
- FORÊT AZONALE PERTURBÉE
- FORÊT AZONALE BRÛLÉE
- HABITAT AZONAL PERTURBÉ (SUCCESSION I ET II)
- HABITAT AZONAL PERTURBÉ (VÉGÉTATION CLAIRSEMÉE)
- HABITAT AZONAL PERTURBÉ (AUCUNE VÉGÉTATION, DÉFRICHAGE POUR L'EXPLORATION)
- ETANG SAISONNIER

VÉGÉTATION DE TRANSITION DE TYPE AZONAL

- FORÊT DE TRANSITION DE TYPE AZONAL SUR SUBSTRATUM DE GABBRO
- FORÊT DE TRANSITION DE TYPE AZONAL PERTURBÉE SUR SUBSTRATUM DE GABBRO

VÉGÉTATION DE TRANSITION

- FORÊT DE TRANSITION
- FORÊT DE TRANSITION EXPLOITÉE
- FORÊT DE TRANSITION BRÛLÉE OU CULTURE SUR BRÛLIS

VÉGÉTATION ZONALE

- COUVERTURE HERBACÉE ET PÂTURAGE
- FORÊT MODÉRÉMENT EXPLOITÉE
- FORÊT GALERIE MODÉRÉMENT EXPLOITÉE
- FORÊT FORTEMENT EXPLOITÉE ET AUTRES PERTURBATIONS
- BRÛLIS FORESTIER
- BRÛLIS NON FORESTIER

VÉGÉTATION HERBACÉE DE MARAIS / RIZIÈRES

- RIZIÈRES
- VÉGÉTATION HERBACÉE DE MARAIS / RIZIÈRES
- VÉGÉTATION HERBACÉE DE MARAIS

VÉGÉTATION DE BORDURE DE MARAIS

- FORÊT DE BORDURE DE MARAIS
- BORDURE DE MARAIS NON BOISÉE (PERTURBÉE)

VÉGÉTATION EXOTIQUE

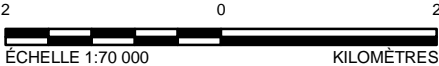
- EUCALYPTUS ET AUTRES TERRES BOISÉES

AUTRE

- COURS D'EAU
- ARROSER LE PIPE-LINE
- PLAN D'EAU
- ROUTE
- VILLAGE
- VÉGÉTATION AZONALE, DE TRANSITION OU DE TRANSITION DE TYPE AZONAL
- SECTEUR LOCAL D'ÉTUDE DE LA MINE
- EMPREINTE AU SOL PROPOSÉE DE LA MINE
- ZONE DE CONSERVATION PROPOSÉE

RÉFÉRENCE

Image IKONOS fournie par Space Imaging Inc. ; prise le 11 août 2004
Image mosaïque Landsat 7; prise en avril/sept. 2001
Référence: WGS 84 Projection: UTM Zone 39S



PROJET

PROJET AMBATOVY

TITRE

ZONES DE CONSERVATION DE VÉGÉTATION AZONALE
AU SEIN DU SECTEUR LOCAL D'ÉTUDE DE LA MINE



PROJET No. 03-1322-172	ÉCHELLE TELLE QUE MONTRÉE	REV. 0
DESSINÉ DN 26 juil. 2005		
SIG TN 20 oct. 2005		
VERIF. GJ 17 fév. 2006		
REV. DM 17 fév. 2006		

FIGURE: 4.1-1

Tableau 4.1-7 Zones de conservation de la végétation de types azonal et de transition dans le secteur local d'étude de la mine

Type de végétation	Végétation de référence ^(a)	Zones de conservation ^(b)	
	ha	ha	%
Ambatovy			
fourré azonal	72	6	8
forêt azonale	436	89	20
habitat azonal perturbé	124	18	15
mare temporaire	2	<1	9
forêt de transition de type azonal sur substratum de gabbro	181	35	19
forêt de transition	468	61	13
<i>sous-total Ambatovy</i>	<i>1 283</i>	<i>209</i>	<i>16</i>
Analamay			
fourré azonal	61	0	0
forêt azonale	390	81	21
habitat azonal perturbé	297	0	0
mare temporaire	3	<1	4
forêt de transition de type azonal sur substratum de gabbro	257	0	0
forêt de transition	583	15	2
<i>sous-total Analamay</i>	<i>1 591</i>	<i>96</i>	<i>6</i>
Ambatovy et Analamay combinés			
fourré azonal	133	6	4
forêt azonale	826	170	21
habitat azonal perturbé	421	18	4
mare temporaire	5	<1	6
forêt de transition de type azonal sur substratum de gabbro	438	35	8
forêt de transition	1 051	76	7
<i>total Ambatovy et Analamay</i>	<i>2 874</i>	<i>305</i>	<i>11</i>

(a) Inclut toutes les perturbations préexistantes dues à l'exploration.

(b) Inclut toutes les superficies à l'intérieur des zones de conservation d'Ambatovy et d'Analamay telles qu'indiquées à la figure 4.1-1, sauf 2 ha de forêt zonale dans la zone de conservation du gisement d'Ambatovy. Les superficies indiquées comprennent toutes les perturbations préexistantes dues à l'exploration.

Etablissement et protection d'une zone de conservation de végétation azonale hors site

Un levé de reconnaissance aérienne mené au nord du site de la mine (c.-à-d. à Ankera) a permis de repérer une zone de conservation potentielle de végétation azonale hors site. Un inventaire de terrain complémentaire a été entrepris à la fin septembre 2005 dans le but de:

- vérifier si le site est réellement un affleurement de végétation azonale représentatif comparable à l'habitat azonale de la mine
- prélever des échantillons de plantes afin de déterminer s'il existe à cet endroit des similarités d'ordre floristique avec les gisements d'Ambatovy et d'Analamay

Considérant l'éventuel besoin de cette zone hors site pour préserver les *espèces préoccupantes* du site de la mine (voir ci-dessous), le promoteur procédera à une étude plus poussée du site potentiel de conservation par la collecte et l'analyse de données supplémentaires. Si ce dernier s'avère approprié comme zone de compensation hors site (volume J, annexe 1.1), le promoteur travaillera de concert avec le Ministère de l'environnement pour discuter des solutions permettant de faire cheminer l'idée.

Réhabilitation de la forêt

Le promoteur s'est engagé à soutenir, en partie, la réhabilitation des terres forestières de la région (p. ex. le couloir Zahamena-Mantadia) ayant subi un défrichement antérieur (volume J, annexe 1.2, pièce jointe 1). Cette opération de reforestation aurait lieu en partie le long des sections du tracé du pipeline (volume C, section 4.1). Cet engagement s'ajoute aux efforts de réhabilitation prévus pour le site de la mine (plan de réhabilitation et de fermeture, volume B, section 6), la gestion forestière de la zone tampon autour de la mine et la zone de conservation potentielle de végétation azonale hors site située approximativement à 80 km au nord-est de la mine. Cette initiative constitue une avancée positive dans le maintien et l'accroissement de la superficie forestière de la région et pour l'amélioration dans le temps de la dynamique de la végétation à l'échelle du paysage.

Elaboration et mise en application d'un plan de gestion forestière

Le promoteur s'est engagé à participer à la gestion forestière communautaire et à la planification des ressources régionales avec le gouvernement malgache, les communautés et autres parties prenantes. Le volume H, à l'annexe 6, traite en détail du Plan de gestion forestière. Un intérêt particulier de ce plan réside dans ses retombées positives sur le maintien de l'intégrité biologique des zones de conservation de végétation azonale. Le soutien pour la planification de la gestion

du marais de Torotorofotsy, un site Ramsar, fera aussi partie intégrante de cette initiative.

Les deux zones de conservation proposées sur le site même de la mine ne se trouvent pas isolées du reste de la forêt. Elles sont nichées au sein de la matrice des paysages se composant de forêt de transition, de forêt zonale primaire, de forêt dégradée ou défrichée et d'autres types d'occupation du sol d'origine anthropique. La structure sociale régionale est liée avec ces zones de conservation, dans la mesure où les pressions locales exercées sur les ressources forestières créeront éventuellement des empiètements sur ces terres au fur et à mesure de l'épuisement des autres ressources. Le Plan de gestion forestière fournit un cadre de gestion forestière durable pour la région dans le temps. Il contribuera ainsi à maintenir l'intégrité des zones de conservation. Plusieurs avantages découlent de cette initiative, dont les suivants:

- réduit au minimum la longueur totale des lisières de forêt au sein des zones de conservation de végétation azonale (ce qui procure un effet tampon)
- assure une connexion entre les zones de conservation de végétation azonale et la plus vaste région de forêt primaire située au nord-est, ce qui est susceptible de présenter des avantages secondaires pour les *espèces préoccupantes*
- contribue à s'assurer de l'existence d'autres ressources forestières (autres que celles composées de végétation azonale) pour les matériaux de construction et la production de charbon de bois

Sensibilisation environnementale

Le promoteur appuiera les initiatives de sensibilisation du personnel de la mine et de la population locale afin de bonifier les mesures de conservation et de gestion forestière. Des rencontres et des séances de formation pour le personnel, des réunions publiques d'information et de sensibilisation, de même que des réunions de comité locales seront tenues, dans le but de favoriser la propagation de l'information concernant le Plan de gestion forestière auprès des travailleurs, des fermiers et des villageois du secteur. Plusieurs de ces rencontres seront organisées en coopération avec le gouvernement malgache. Les avantages du Plan y seront exposés et des discussions auront lieu pour déterminer comment chaque personne touchée par le projet ou impliquée dans la région peut contribuer à sa réussite. Les commentaires émis à l'occasion de ces discussions seront intégrés dans le Plan de gestion forestière pour en améliorer les résultats. Les questions clés à débattre portent sur la gestion des eaux, la raison d'être des zones de conservation de végétation azonale et les objectifs du Plan de gestion forestière. Les emplacements de toutes les zones sujettes à la gestion forestière

seront décrits, y compris les aires allouées à une exploitation durable des ressources (p. ex. les terres pouvant fournir du bois d'oeuvre ou du bois pour le charbon) et les aires à usage restreint (p. ex., contrôle du pâturage et des troupeaux en forêt près des aires réhabilitées et des zones de conservation de végétation azonale).

Impact résiduels des émissions atmosphériques sur les zones de conservation de végétation azonale

En dépit des mesures d'atténuation, les activités liées à la construction et à l'exploitation de la mine peuvent entraîner des effets négatifs sur la végétation des zones de conservation de végétation azonale. Les effets potentiels pourraient inclure des lésions visibles, une dégradation de la santé des plantes, une diminution des taux de croissance et la mortalité. Les formes de vie les plus sensibles (c.-à-d. les lichens et les mousses) sont vraisemblablement les plus vulnérables aux effets du SO₂, des NO_x et de la poussière diffuse. Toutefois, les orchidées épiphytes, dont un groupe d'espèces rares se trouve sur le site de la mine, sont probablement sensibles aussi à ces effets. Etant donné les suppositions de base de nature prudente utilisées dans l'élaboration des modèles atmosphériques, l'ampleur des effets potentiels devrait s'avérer inférieure aux prévisions. Des facteurs quantitatifs et qualitatifs ont été pris en compte dans la détermination de la conséquence sur l'environnement de cet important enjeu.

Selon un estimé prudent, les effets de la poussière diffuse s'étendront sur une superficie de 10 ha (soit 10 %) de la zone de conservation d'Analamay. Les prévisions ont aussi indiqué qu'aucune quantité significative de poussière ne devrait atteindre la zone de conservation d'Analamay. Tel que mentionné précédemment, l'intensité de l'impact a été classé comme faible lorsque les effets combinés pour les deux zones sont considérés. La présence de poussière diffuse sera restreinte au secteur local principalement dans la saison sèche mais elle durera tout au long des phases de construction et d'exploitation (moyen terme). La conséquence sur l'environnement de la présence de poussière diffuse au sein de la végétation des zones de conservation de végétation azonale a été classée comme faible, selon les prévisions.

Selon des estimations prudentes, les émissions de SO₂ se propageront sur 96 ha (soit 100 %) de la zone de conservation d'Analamay et sur 101 ha (48 %) de celle d'Ambatovy. Cet estimé se base sur la valeur guide la plus basse correspondant à 10 microgrammes/m³, applicable principalement aux lichens. La plus grande partie de ces zones de conservation serait exposée à moins de 30 microgrammes/m³. Sur la base de ces observations, l'intensité des effets est estimée comme moyenne. Le modèle utilisé est prudent et peut surestimer les effets, surtout considérant que les secteurs ne seront pas tous exploités en même

temps et que moins de véhicules circuleront que le nombre maximal fixé pour une année en particulier.

La portée des effets liés aux SO₂ sera principalement restreinte au secteur local et ceux-ci seront ressentis pendant les phases de construction et d'exploitation. Sur la base de ces données, la conséquence prévue sur l'environnement des émissions de SO₂ pour la végétation des zones de conservation azonale a été classée comme faible.

Selon une évaluation prudente, les émissions de NO_x devraient s'étendre à une superficie de 96 ha, soit 100 % de la zone de conservation d'Analamay, et à 119 ha (57 %) de celle d'Ambatovy. Cet estimation se base sur la valeur guide de 30 microgrammes/m³, applicable à toutes les classes de végétation. Sur la considération de ces seuls résultats, l'intensité des effets devrait être classée comme forte. Tel que mentionné plus haut, les suppositions de base sur lesquelles repose la modélisation atmosphérique étaient très prudentes. Tenant compte de cela, l'intensité des effets des NO_x est plutôt considérée comme moyenne. La portée des effets liés aux NO_x sera principalement restreinte au secteur local et ceux-ci seront ressentis pendant les phases de construction et d'exploitation (moyen terme). Sur la base de ces données, la conséquence sur l'environnement prévue des émissions de NO_x pour la végétation des zones de conservation azonale a été classée comme faible.

Il pourrait y avoir des effets additifs des émissions de poussière diffuse, de SO₂ et de NO_x. Il n'existe toutefois pas de lignes directrices s'appliquant à un tel scénario. Selon les prévisions, la conséquence globale sur l'environnement des émissions atmosphériques en ce qui concerne les zones de conservation de végétation azonale a donc été classée comme faible. Afin d'assurer la protection des types de plantes sensibles, un programme de surveillance de la santé des végétaux (c.-à-d. les lichens, les mousses et les orchidées épiphytes) sera mis en oeuvre au sein des zones de conservation de végétation azonale. S'il s'avérait que l'intégrité écologique de ces aires de protection souffre des émissions de poussière diffuse, de SO₂ ou de NO_x, le promoteur procédera à l'élaboration et à l'implantation de plans de réduction des émissions. La section portant sur le climat et la qualité de l'air (volume B, section 3.4) présente les types de mesures d'atténuation à envisager.

Impacts résiduels sur la végétation zonale

Le défrichement du secteur de la mine causera la perte d'un total de 371 ha de forêt zonale (3 % de ce type de végétation), ce qui est estimé comme un effet d'intensité faible. La portée des effets se limitera au secteur local, mais ces derniers seront ressentis au-delà de la durée de vie du projet (long terme). Ces

effets sont généralement considérés comme irréversibles; cependant, grâce à l'utilisation d'espèces natives pour la réhabilitation, le secteur touché présentera une fois à maturité des ressemblances avec les conditions de référence. Sur la base de ces considérations, la conséquence sur l'environnement prévue en ce qui concerne le défrichement de végétation zonale au sein du secteur local d'étude de la mine est classée comme faible.

La poussière diffuse et les autres émissions atmosphériques (SO₂ ou NO_x) ont aussi la capacité d'affecter la végétation de forêt zonale. La plus vaste de ces aires de dispersion, soit celle associée aux NO_x, représente 31 % de la végétation zonale, ou 17 % du secteur local d'étude de la mine. La sévérité des effets serait considérée comme élevée si d'autres facteurs et incertitudes n'étaient pris en compte. La nature prudente du modèle atmosphérique laisse à croire que les aires de dispersion et les concentrations seront plus faibles que celles modélisées. De plus, si des impacts se produisent réellement, ils seront vraisemblablement sélectifs. Les plantes présentent diverses sensibilités et tolérances aux substances en suspension dans l'air et par conséquent, chaque espèce ou individu réagit différemment. Sur la base de ces considérations, l'intensité prévue des effets potentiels est classée comme faible. La portée des effets sera principalement restreinte au secteur local et ceux-ci seront ressentis pendant les phases de construction et d'exploitation (à moyen terme, et de façon moins intense durant la saison des pluies). Sur la base des prévisions, la conséquence sur l'environnement des émissions atmosphérique pour la végétation zonale a donc été classée comme faible.

Impacts résiduels sur la végétation du marais de Torotorofotsy et d'autres zones humides

La conception même du projet permettra d'éviter des effets directs (perturbation physique) aux zones humides du secteur local, dont le complexe du marais de Torotorofotsy et la forêt de bordure de marais associée.

Selon les prévisions, les augmentations du niveau d'eau dans les cours d'eau du bassin versant de Torotorofotsy auront un effet négligeable sur l'afflux total d'eau vers le marais de Torotorofotsy. Ce résultat sera atteint grâce à l'utilisation d'un bassin collecteur des eaux de ruissellement dans le cours supérieur de la rivière Torotorofotsy, bassin qui limitera au minimum les variations du débit en aval. En conséquence, aucun effet nuisible sur la végétation n'a été prévu dans ce secteur. Toute participation à une surveillance de la végétation, donc, ferait partie d'un appui global à la gestion du site Ramsar.

Selon les prévisions, l'intensité des impacts sur les niveaux d'eau sera faible dans les autres zones humides locales et résultera de pratiques actives de gestion des eaux (voir l'étude sur l'hydrologie, volume B, section 3.8). Il est aussi prévu que

les impacts potentiels sur la végétation (p. ex. un changement dans le type de communauté en réaction à la modification du régime hydrologique) seront faibles. La portée des effets potentiels se limitera au secteur local et ceux-ci se feront ressentir de manière intermittente durant toute la durée de vie du projet (c.-à-d. pendant la saison des pluies). Sur la base de ces considérations, les effets d'ordre hydrologique sur la végétation des zones humides du secteur local d'étude de la mine représentent une conséquence sur l'environnement de niveau faible.

Les prévisions indiquent en outre que les changements dans la qualité de l'eau entraîneront des impacts potentiels de faible intensité sur la végétation des zones humides (dont le marais de Torotorofotsy). Il est possible que le cadmium, le chrome, le plomb et le zinc se bioaccumulent dans les tissus des plantes des zones humides et nuisent à leur croissance, à leur survie et à leur reproduction. Toutefois, tous les paramètres de qualité de l'eau respectent les directives pour la qualité de l'eau de boisson. Les concentrations seront donc vraisemblablement trop faibles pour causer des effets néfastes.

La portée des effets potentiels sera principalement restreinte au secteur local et ceux-ci seront ressentis en continu sur toute la durée de vie du projet. Sur la base de ces considérations, les effets prévus des changements dans la qualité de l'eau sur la végétation des zones humides du secteur local d'étude de la mine engendreront un faible niveau de conséquence sur l'environnement. Un suivi de la qualité de l'eau sera effectué afin de s'assurer d'une gestion adéquate de cet aspect, en vue de la protection de la flore et de la faune. La section portant sur la qualité de l'eau de la présente EIE traite plus en détail de ce suivi. Advenant la détection d'impacts imprévus en matière de qualité de l'eau, la santé de la végétation fera l'objet d'une surveillance adaptée au condition du site visant à vérifier que la végétation des zones humides ne subit pas de dommages.

Impacts résiduels sur la structure forestière

Le défrichement du site, au moment de la construction et de l'exploitation, représentera un niveau de conséquence élevé sur l'environnement pour la structure forestière. Des forêts, des fourrés et d'autres types de végétation seront supprimés, réduisant du coup l'étendue et la variété de la structure forestière à l'échelle du paysage. Au fur et à mesure que les différents secteurs seront réhabilités et que la croissance de la végétation à la mine et la succession forestière progressera suite à la fermeture, les effets résiduels affectant la structure forestière diminueront.

Les fourrés azonaux présentent une structure forestière unique (c.-à-d. une architecture rabougrie) qui est impossible à reconstituer car les substrats

ferralitiques à la base de ce type de forêt seront excavés au moment de la construction de la mine et ne seront pas reconstitués. Le projet, même après fermeture, engendre donc un niveau de conséquence sur l'environnement élevé en ce qui touche la structure forestière des fourrés. La conséquence sur l'environnement pour les autres types de végétation (c.-à-d. les forêts des zones sèches, les forêts des zones humides, les zones sèches non forestières et les zones humides non forestières) sera neutre, en raison de la croissance et du développement des forêts après la fermeture.

Impacts résiduels sur la diversité végétale

Durant la construction et l'exploitation de la mine, la diversité végétale sera réduite au sein du secteur local d'étude de la mine. Les activités associées au projet élimineront approximativement 1700 ha de végétation native, dont 1326 ha de végétation azonale et de transition (46 % de ces types de végétation) et 371 ha de forêt zonale (3 % de ce type de végétation). Les communautés de plantes natives du site de la mine présentent une grande diversité. La diversité devrait croître avec le temps et au fur et à mesure que progresse la réhabilitation; elle n'atteindra cependant pas les niveaux de référence observés. L'intensité des effets est ainsi jugée comme moyenne. Les effets se limiteront au secteur local de la mine et seront ressentis au-delà de la durée de vie du projet. Compte tenu de ces facteurs, il est prévu que les changements au sein de la diversité des espèces végétales auront une conséquence sur l'environnement de niveau moyen.

Niveau de confiance des prévisions

Le niveau de confiance des prévisions d'impacts repose sur quatre principaux éléments:

- l'adéquation des données de l'étude de référence pour comprendre les conditions actuelles
- la compréhension des impacts sur l'écosystème des activités liées au projet
- la connaissance de l'efficacité réelle des mesures d'atténuation
- la probabilité d'événements fortuits

La plupart des prévisions relatives aux impacts sur la flore sont basées sur la répartition spatiale des types de végétation dans le secteur local d'étude de la mine. La cartographie de référence pour la végétation a été réalisée à partir de l'étude de photographies aériennes et de validation sur le terrain en des endroits choisis. Cette validation n'a pas eu lieu dans tous les sous-secteurs du secteur local d'étude de la mine. Les orthophotographies ont toutefois été décomposées en strates en fonction des tons et des textures représentant divers types de

végétation, et un échantillonnage a été réalisé à l'intérieur de la majorité de ces strates. En conséquence, la classification des types de végétation est considérée comme étant relativement précise et le niveau de confiance dans les prévisions des effets directs sur la végétation (par exemple, les pertes subies au sein des types de végétation) est considéré élevé.

Les mesures d'atténuation visant à contrer les effets des défrichements de la végétation sont principalement axées sur:

- l'établissement de zones de conservation de végétation azonale (sur le site et hors site)
- la planification de la gestion forestière
- la réhabilitation des forêts et la restauration des terres

L'une des suppositions de base posées à l'égard des zones de conservation de végétation azonale (sur le site et hors site) stipule que ces aires sont de taille suffisante pour permettre le maintien de populations végétales viables et qu'elles sont de manière générale durables sur le plan écologique. La fragmentation de l'habitat azonale résultant de l'implantation de la mine et les pressions exercées sur les ressources locales en bois risque d'imposer un stress plus élevé que prévu sur ces écosystèmes. Les mesures énoncées au Plan de gestion forestière tiendront compte de ces enjeux; la réussite de ce plan dépendra cependant de la coopération des habitants du secteur et de leur adhésion à l'objectif premier de durabilité.

Il a aussi été supposé que les efforts de réhabilitation et de restauration réussiront à rétablir des habitats semi-naturels dans les zones perturbées. La connaissance de la dynamique des écosystèmes forestiers de Madagascar est encore limitée à ce jour et il faudra faire du développement en matière de restauration afin d'établir un plan optimal.

En ce qui a trait aux effets des émissions de poussière diffuse, de SO₂ et de NO_x, le niveau de confiance des prévisions est faible. Il y a dans la littérature des indications contradictoires, par exemple, quant aux effets des NO_x sur la végétation; ainsi, des effets positifs et négatifs ont été observés dans les études. Qui plus est, les valeurs guides employées pour évaluer les effets sur la végétation s'appuient sur des données obtenues dans des régions tempérées. Il y a donc des incertitudes inhérentes au fait d'extrapoler des résultats et des lignes directrices issus d'autres régions du monde. Des incertitudes supplémentaires peuvent être attribuées aux modèles atmosphériques employés, tel que souligné dans la section portant sur le climat et la qualité de l'air (volume B, section 3.4). Ainsi, en ce qui concerne les impacts résiduels des émissions de poussière

diffuse, de SO₂ et de NO_x sur la végétation, le niveau de confiance des prévisions est considéré faible.

Les connaissances scientifiques comportent aussi des lacunes en ce qui a trait aux effets potentiels des changements dans les niveaux d'eau et dans la qualité de l'eau sur la végétation des zones humides. Les modèles employés pour prévoir ces changements ont aussi leurs limites. L'efficacité du plan de gestion des eaux représente également un facteur important en ce qui a trait au niveau de confiance des prévisions des effets sur la végétation. Néanmoins, l'évaluation réalisée dans le cadre de l'EIE au sujet des effets des changements dans les eaux se base sur des suppositions de base prudentes. Par conséquent, le niveau de confiance des prévisions des impacts résiduels sur les zones humides est jugé moyen.

Surveillance

Des programmes de surveillance seront mis en oeuvre afin de s'assurer du bon fonctionnement des systèmes de protection. Ces programmes auront pour objectif de:

- veiller à l'atteinte des objectifs du Plan de gestion forestière au sein des zones de conservation de végétation azonale
- s'assurer que les émissions atmosphériques, dont la poussière, ne nuisent pas à la santé des plantes sensibles (comme les lichens, les mousses et les orchidées épiphytes) et à la composition des communautés végétales au sein des zones de conservation de végétation azonale
- vérifier que la qualité de l'eau affluant dans le marais de Torotorofotsy et les autres zones humides, ainsi que les niveaux d'eau, ne produisent pas d'effets adverses
- contrôler l'efficacité du plan de réhabilitation, veillant ainsi au bon fonctionnement des mesures de lutte contre l'érosion et au maintien du couvert de végétation
- les mesures de suivi réalisées dans la zone de conservation de végétation azonale hors site serviront de référence de contrôle pour les zones de conservation sur le site

4.1.5.6 Conclusions

En dépit des mesures d'atténuation, les activités liées à la construction et à l'exploitation de la mine auront un niveau élevé de conséquence sur l'environnement concernant la végétation azonale et de transition. Celle-ci

comprend la forêt azonale, le fourré azonal, l'habitat azonal perturbé, les mares temporaires, la forêt de transition de type azonal et la forêt de transition se trouvant dans le secteur local d'étude de la mine. Les effets seront irréversibles mais de portée locale.

Les effets du projet sur la structure de la végétation ont également été estimés. Une conséquence négligeable sur l'environnement a été attribuée pour les forêts des zones sèches, les forêts des zones humides, les zones sèches non forestières et les zones humides non forestières. Cette conséquence sera atteinte par la conception même du projet et par l'évitement de ces types de végétation ou par la restauration de la forêt. En raison de la structure unique du fourré azonal, qui est associée au substrat ferralitique, le projet aura un niveau élevé de conséquence sur l'environnement pour ce type de forêt rabougrie, même après la fermeture.

Les communautés de plantes natives du site de la mine présentent une grande diversité. La diversité devrait s'accroître au fur et à mesure que le temps passe et que progresse la réhabilitation mais elle ne se rétablira cependant pas aux niveaux de référence observés. Compte tenu de ces facteurs, il est prévu que les changements au sein de la diversité des espèces végétales auront un niveau moyen de conséquence sur l'environnement. Les effets se limiteront au secteur local de la mine et seront ressentis au-delà de la durée de vie du projet.

Les zones de conservation proposées pour les secteurs d'Analamay et d'Ambatovy ont pour but de préserver une portion des habitats azonaux et de transition qui se trouvent au-dessus du gisement. Ces zones ne seront pas complètement soustraites aux pressions de la collecte de bois d'œuvre et de bois de chauffage. Elles ne seront pas non plus hors d'atteinte des émissions atmosphériques. Malgré cela, les effets des émissions de SO₂, de NO_x et de poussière diffuse provenant de la mine (et de tous les autres sous-secteurs du secteur local d'étude de la mine) devraient selon les prévisions engendrer un faible niveau de conséquence sur l'environnement quant à la santé des végétaux. De plus, le Plan de gestion forestière servira de référence pour éloigner des zones de conservation azonale les activités d'exploitation des ressources forestières et les diriger vers d'autres secteurs de la région désignés à cet effet.

Les changements d'ordre hydrologique découlant de la construction, de l'exploitation et de la fermeture de la mine auront selon les prévisions une conséquence négligeable sur l'environnement pour le marais de Torotorofotsy. Quant aux autres zones humides du secteur local d'étude, les changements prévus quant à la santé des végétaux et la composition en espèces seront faibles, se traduisant par un niveau faible de conséquence sur l'environnement.

Selon les prévisions, les effets des changements dans la qualité de l'eau des zones humides (dont le marais de Torotorofotsy) auront une faible conséquence sur l'environnement. Il est possible que certains métaux lourds originaires de la mine atteignent les zones humides par la voie des eaux de ruissellement. Ils peuvent alors s'accumuler biologiquement dans les tissus végétaux, nuisant à la croissance, à la survie et à la reproduction. Toutefois, tous les paramètres de qualité de l'eau respectent les directives pour la qualité de l'eau de boisson et la plupart correspondent aux conditions actuelles de référence. Par conséquent ces paramètres seront vraisemblablement à des concentrations trop faibles pour causer quelque effet néfaste que ce soit.

Les principales mesures d'atténuation proposés seront centrées sur:

- l'établissement de deux zones de conservation de végétation azonale sur le site de la mine et d'une troisième, hors site
- la réhabilitation progressive à l'aide d'espèces natives
- l'élaboration et la mise en application d'un Plan de gestion forestière communautaire au sein d'une zone tampon encerclant le secteur
- les projets de régénération forestière et la création de programmes de sensibilisation aux questions environnementales

4.1.6 Question clé FL-2: Quel effet la mine aura-t-elle sur la perte d'espèces végétales (extirpation ou extinction)?

La diversité des espèces végétales est extrêmement élevée dans les environnements tropicaux tels que ceux de Madagascar (près de 13 000 espèces [CI, 2005]). En outre, 89 % des espèces de plantes sont endémiques au pays. Ce caractère unique et cette diversité sont liés au passé géologique de l'île, aux différences dans les types de sols et de roche mère, aux variations d'élévation, de conditions météorologiques et de gradients climatiques, de même qu'à l'étendue géographique du pays sur plus de 13 degrés de latitude (Gautier et Goodman, 2003). A Madagascar, les espèces présentent une hétérogénéité remarquable, même au sein de zones forestières continues situées à la même élévation (Capuron, 1951). Il s'ensuit que la perte d'habitat naturel est l'un des plus importants facteurs susceptibles d'influer sur l'extinction d'espèces (Fahrig, 1997).

La perte d'habitat entraîne une diminution des populations et de leurs aires de distribution, ce qui fait croître le risque d'extinction (Burkey, 1995). En conséquence, l'enlèvement d'habitats rares au site de la mine durant les phases de construction et d'exploitation peut avoir un effet sur la diversité des espèces

végétales. En l'absence de mesures d'atténuation, de tels travaux pourraient entraîner l'extirpation ou l'extinction d'espèces. Il semble toutefois, selon des reconnaissances aériennes et des inventaires de terrain effectués récemment au nord de la mine, qu'il existe dans la région, hors du site de la mine, d'autres zones de végétation azonale qui pourraient renfermer les mêmes types d'espèces rares.

4.1.6.1 Méthodes d'évaluation

Le MBG a procédé à des inventaires de la flore et à la recherche associée afin d'établir une liste des *espèces préoccupantes* à prendre en compte dans le cadre de la conception et de la réalisation du projet de mine. Les espèces de priorité 1 ont été répertoriées uniquement au sein de l'empreinte de perturbation au sol de la mine et n'existent nulle part ailleurs au monde. Les espèces de priorité 2 n'ont été observées que dans le secteur local d'étude de la mine. Ces deux catégories renferment les espèces qu'il est le plus important de considérer dans la présente étude, car leur survie est directement menacée par le projet.

Le risque d'extirpation ou d'extinction d'une espèce représente un enjeu important. Du seul fait de cette possibilité, cet impact potentiel se voit classer au niveau élevé de conséquence sur l'environnement, à moins que des mesures d'atténuation ne permettent d'éliminer ce risque de manière efficace.

4.1.6.2 Critères d'évaluation

Le tableau 4.1-8 présente les critères d'évaluation appliqués à la perte d'espèces.

Tableau 4.1-8 Critères de description des impacts sur la perte d'espèces

Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée ^(a)	Réversibilité	Fréquence
neutre: aucun changement quant à l'extinction négative: perte d'espèces	négligeable: aucune extinction forte: extinction d'une ou de plusieurs espèces	locale: effet restreint au secteur local d'étude régionale: effet s'étendant au-delà du secteur d'étude	court terme: < 3 ans moyen terme: 3 à 30 ans long terme: > 30 ans	réversible ou irréversible	faible: se produit une fois moyenne: se produit par intermittence élevée: se produit en continu

^(a) Durée de l'exposition au risque de perte d'espèces.

4.1.6.3 Mesures d'atténuation

Diverses mesures d'atténuation seront mises en œuvre pour réduire ou éliminer la possibilité d'extirpation ou d'extinction d'espèces liée aux effets du projet. Les principales mesures d'atténuation sont:

- la création sur les sites d'Ambatovy et Analamay de zones de conservation de végétation azonale représentatives des types rares d'habitat affectés par le projet (c.-à-d. la végétation azonale) et qui assurent la protection des espèces vulnérables
- l'identification et la protection proposée d'une zone de conservation de végétation azonale hors site
- l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de gestion forestière pour la zone tampon conçu pour permettre le développement d'une foresterie durable tout en maintenant la biodiversité par la conservation et la gestion de l'utilisation des ressources
- la poursuite d'inventaires de la flore sur le site et à l'échelle régionale afin de réduire la liste des espèces préoccupantes, voire l'éliminer
- en conjonction avec des spécialistes de la flore locale, l'établissement de programmes de conservation des espèces incluant l'identification, la transplantation et la culture de toute espèce encore considérée préoccupante avant que ne débutent les travaux
- la mise sur pied d'un programme de sensibilisation du personnel de la mine et de la population locale aux questions environnementales, venant appuyer et renforcer les initiatives de conservation et de gestion forestière

4.1.6.4 Résultats

En date du mois d'octobre 2005, et sur la base des données des 20 dernières années, on a relevé 69 espèces de plantes de priorités 1 et 2 dont l'existence se trouve attestée uniquement à l'intérieur des limites de l'empreinte au sol de la mine (priorités 1a et 1b) et du secteur local d'étude de la mine (priorités 2a et 2b) (tableau 4.1-9). Le travail d'identification se poursuit cependant, sur près de 2 000 échantillons d'herbier provenant du secteur local d'étude de la mine (au sein et à l'extérieur de l'empreinte). Les résultats seront mis à jour une fois l'identification terminée. Cependant il existe peu de données disponibles à l'extérieur du secteur local d'étude de la mine pour permettre une comparaison réelle, principalement en ce qui a trait à la végétation azonale sur les affleurements ultrabasiques.

Tableau 4.1-9 Espèces endémiques préoccupantes des catégories de priorité 1a, 1b, 2a et 2b observées dans le secteur de la mine

Catégorie de priorité	Description	Nombre d'espèces
1A	rare ou à distribution restreinte et trouvée seulement dans l'empreinte au sol de la mine	27

Catégorie de priorité	Description	Nombre d'espèces
1B	échantillonnage insuffisant, mais trouvée seulement dans l'empreinte au sol de la mine	2
2A	rare ou à distribution restreinte et trouvée seulement dans le secteur local d'étude de la mine, à l'extérieur de l'empreinte au sol	37
2B	échantillonnage insuffisant, mais trouvée seulement dans le secteur local d'étude de la mine, à l'extérieur de l'empreinte au sol	3

4.1.6.5 Evaluation des impacts

Impacts résiduels

Impacts résiduels sur la perte d'espèces

Tel que mentionné ci-dessus, à défaut d'appliquer des mesures d'atténuation pour s'attaquer aux incertitudes quant à la réelle distribution des espèces de plantes dont la présence est attestée seulement dans l'empreinte au sol de la mine ou dans le secteur local d'étude de la mine, le risque d'extirpation ou d'extinction d'espèces demeure élevé. En conséquence, les mesures d'atténuation proposées par le promoteur visent à s'assurer que des populations viables de toutes les *espèces préoccupantes* seront protégées durant la construction et l'exploitation de la mine, ainsi qu'après sa fermeture, résultant en un effet neutre (tableau 4.1-10).

Tableau 4.1-10 Classification des impacts résiduels sur la perte d'espèces végétales

Elément	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
espèces végétales	neutre	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.

s. o. sans objet; les impacts neutres ne font pas l'objet d'une classification.

Plusieurs mesures d'atténuation destinées à la protection et au renforcement des espèces vulnérables ont été décrites plus haut. Des détails additionnels sur les mesures d'atténuation qui contribueront à ce que les *espèces préoccupantes* soient retirées de la liste ou demeurent en sécurité sont fournis ci-dessous.

Identification et protection d'une zone de conservation de végétation azonale hors site

Une zone de conservation potentielle de végétation azonale hors site a été découverte à la suite d'une opération de reconnaissance aérienne et d'une visite de terrain au nord de la mine (Ankera). La prochaine étape consiste à effectuer un inventaire de la flore à cet endroit pour identifier des espèces de priorités 1 et

2, en vue d'une éventuelle déclassification d'une partie des espèces (d'endémisme local à endémisme régional). Ainsi, si les résultats de l'inventaire montrent que le site offre une protection *in situ* adéquate aux espèces de priorité 1 ou 2 (c.-à-d. les mêmes espèces préoccupantes que celles qui avaient été identifiées auparavant uniquement dans les secteurs des gisements d'Ambatovy et d'Analamay), le promoteur proposera alors d'établir à cet endroit une zone de conservation.

Inventaires de la flore dans le secteur de la mine et à l'échelle régionale

Des inventaires supplémentaires de la flore ont lieu en ce moment à l'endroit des gisements et des zones de conservation *in situ* associées. D'autres seront aussi effectuées plus tard dans le secteur local et à l'échelle régionale. Tous ont pour objet d'investiguer sur l'enjeu des espèces préoccupantes, et plus particulièrement:

- Trouver des populations des espèces préoccupantes à l'extérieur de l'empreinte de perturbation au sol de la mine et au sein d'aires désignées pour la conservation, afin de pouvoir retirer les espèces concernées de la liste des priorités (ou les faire passer de la catégorie d'endémisme local à celle d'endémisme régional).

Les aires protégées offrent les meilleures perspectives de survie à long terme des espèces rares ou menacées parce que le développement et les pressions anthropogéniques y sont restreints. La mesure d'atténuation privilégiée, pour assurer la pérennité des espèces connues uniquement dans les secteurs d'Ambatovy et d'Analamay (espèces préoccupantes de priorités 1 et 2) mais à l'extérieur des zones de conservation, consiste à trouver puis à conserver au moins une population (plusieurs si possible) *in situ*, à l'intérieur d'une zone explicitement désignée à la conservation. Une deuxième mesure proposée consiste à aménager des *sites sûrs*, loin du secteur d'exploitation minière proposé, et de les gérer spécifiquement en fonction d'une conservation *ex situ*. Cette dernière approche est définie ci-dessous.

Etablissement d'un programme de conservation au niveau des espèces

Si toutes les espèces de priorités 1 et 2 ne sont pas mises à l'abri au moyen de la création des zones de conservation sur le site et hors site, les populations d'espèces affectées seront maintenues (indéfiniment) en des *sites sûrs* situés à l'écart du site proposé de la mine et gérés spécifiquement pour la conservation *ex situ*. Des *sites sûrs* pourraient se trouver dans les zones de conservation définies ci-dessus (voir la section *Inventaires de la flore dans le secteur de la mine et à l'échelle régionale*). Cette approche peut comporter la transplantation d'espèces vulnérables directement de la mine aux *sites sûrs*.

Une telle approche pourrait convenir à *Aloe leandrii*, par exemple. Plusieurs individus pourraient être transplantés de leurs emplacements actuels (la plupart se trouvant dans l'empreinte de perturbation au sol de la mine et dans un habitat azonale perturbé et à canopée ouverte) vers un habitat semblable dans les zones de conservation de végétation azonale.

Par la voie de discussions avec les experts locaux et régionaux, le promoteur coordonnera un programme de conservation précisant les espèces vulnérables devant être sauvegardées, cultivées et propagées au sein d'un sanctuaire végétal sur le site en vue d'une distribution subséquente dans des zones de conservation appropriées.

Niveau de confiance des prévisions

Certains aspects du projet, en ce qui a trait à la perte d'espèces, comportent un degré d'incertitude élevé. A l'heure actuelle, moins de la moitié des échantillons de plantes récoltés ont été identifiés. Il est donc possible que de nouvelles espèces soient découvertes, ce qui accroîtrait le risque de perte d'espèce et abaisserait le niveau de confiance des prévisions. En contrepartie, ce travail d'identification pourrait aussi avoir comme conséquence la réduction du nombre d'espèces préoccupantes.

Tous les organismes, y compris les végétaux, font partie intégrante du fonctionnement de l'écosystème. Ils dépendent donc souvent des animaux à des étapes critiques de leur cycle biologique (comme la pollinisation, la dispersion des graines et des fruits, etc.). De nombreuses espèces végétales (mais pas toutes) peuvent être cultivées avec succès hors de leur écosystème naturel, pendant un certain temps, à condition qu'elles bénéficient de conditions naturelles appropriées, assurées de manière fiable et constante. Il est très difficile toutefois d'affirmer qu'une espèce en particulier sera capable de survivre et de se reproduire sur plusieurs générations dans des conditions artificielles, peu importe le soin apporté au suivi et au maintien de ces conditions.

La probabilité d'un événement catastrophique (ex : cyclone ou feu) causant une perte significative d'habitat au sein des zones de conservation de végétation azonale est jugée faible. La possibilité qu'un tel événement se produise existe en effet, ce qui augmente le risque de perte d'espèces. La capacité actuelle à prévoir ces catastrophes n'est toutefois pas très bonne.

Surveillance

Un programme de surveillance de la végétation sera mis en place afin de veiller à la survie des plantes et à la préservation de leur santé. Il comprendra les éléments suivants:

- un suivi de la santé des espèces végétales vulnérables au sein des zones de conservation de végétation azonale, afin d'assurer leur pérennité
- un suivi des espèces vulnérables qui ont été repiquées ex situ, dans des *sites sûrs*

4.1.6.6 Conclusions

Il est ainsi prévu que la mise en oeuvre d'un programme complet de mesures d'atténuation protégera les *espèces préoccupantes* (volume J.1, pièce jointe 5) contre les dangers d'extirpation ou d'extinction pouvant survenir au cours de la construction et de l'exploitation de la mine, ainsi qu'après sa fermeture. Par conséquent l'effet du projet sur cette les *espèces préoccupantes* sera neutre. Les activités de surveillance et les mesures d'atténuation requises pour assurer la survie à long terme de ces espèces comprennent notamment:

- l'identification et la protection d'une zone de conservation de végétation azonale hors site
- la poursuite des inventaires floristiques dans le secteur de la mine et à l'échelle régionale
- la mise en place d'un programme de conservation adapté à chaque espèce
- le suivi des espèces vulnérables au sein des zones de conservation de végétation azonale
- le suivi des espèces vulnérables ayant fait l'objet d'un repiquage

4.1.7 Question clé FL-3: Quel effet la mine aura-t-elle sur l'introduction d'espèces exotiques ou indésirables?

Les routes (et les mines, par défaut) contribuent à la propagation des espèces exotiques (Trombulak et Frissell, 2000). Les effets de lisière résultant du défrichement augmentent l'ensoleillement, ce qui favorise la densification des espèces adaptables aux perturbations ou des espèces pionnières, lesquelles préfèrent une plus grande luminosité (Mehrhoff, 1989). Typiquement, les espèces exotiques ou indésirables (plantes adventices) croissent davantage en lisière des forêts, et ce pour diverses raisons; les conditions leurs y sont

favorables, les espèces natives ont été enlevées ou subissent un stress environnemental, et il y a présence d'une zone de contact pour la propagation (Trombulak et Frissell, 2000).

4.1.7.1 Méthodes d'évaluation

Les effets potentiels de la mine, en ce qui a trait aux populations d'espèces exotiques ou indésirables (c.-à-d. les plantes adventices), ont fait l'objet d'une évaluation qualitative.

4.1.7.2 Critères d'évaluation

Le tableau 4.1-11 présente les critères d'évaluation concernant les espèces exotiques et indésirables.

Tableau 4.1-11 Critères de description des impacts relatifs aux espèces de plantes exotiques et indésirables

Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence
neutre: aucun changement dans les communautés de plantes exotiques ou indésirables négative: changement dans les communautés de plantes exotiques ou indésirables	négligeable: aucun effet mesurable sur les espèces exotiques ou indésirables faible: faible quantité d'espèces exotiques ou indésirables moyenne: quantité moyenne d'espèces exotiques ou indésirables forte: quantité élevée d'espèces exotiques ou indésirables	locale: effet restreint au secteur local d'étude régionale: effet s'étendant au-delà du secteur d'étude	court terme: < 3 ans moyen terme: 3 à 30 ans long terme: > 30 ans	réversible ou irréversible	faible: se produit une fois moyenne: se produit par intermittence élevée: se produit en continu

4.1.7.3 Mesures d'atténuation

Les principales approches en matière d'atténuation incluent:

- la mise en oeuvre d'un programme de contrôle des espèces envahissantes
- la réhabilitation
- la sensibilisation aux questions environnementales

4.1.7.4 Résultats

Il y a de fortes probabilités que des plantes adventices ou des espèces indésirables se propagent sur le site de la mine, dans les zones réhabilitées et au sein des zones de conservation de végétation azonale. A l'heure actuelle, des lianes héliophytes (adaptées à la pleine lumière) croissent dans le secteur de la mine. Elles risquent d'altérer le processus de succession végétale en se répandant dans les forêts zonales et azonales adjacentes. Les surfaces défrichées au moment de la phase de construction deviennent susceptibles à un envahissement par des espèces indésirables en raison de la hausse de l'ensoleillement et de l'absence d'espèces concurrentes. Dès le début de la construction, la circulation va augmenter brusquement et se poursuivre intensément pendant toute la phase d'exploitation. Les véhicules constituent un vecteur de transport des plantes adventices, qu'elles proviennent du secteur de la mine ou de l'extérieur, et ils les propagent dans de nouveaux endroits au fur et à mesure du défrichement.

4.1.7.5 Evaluation des impacts

Impacts résiduels relatifs aux espèces exotiques ou indésirables

Au cours de la vie de la mine, on s'attend à ce que les plantes exotiques ou indésirables envahissent les espaces réhabilités et la lisière des forêts. L'ampleur de cet envahissement dépendra de l'efficacité des mesures d'atténuation proposées. Des mesures de contrôle sévères seront mises en place pour voir à l'éradication de ces espèces aussitôt qu'elles seront découvertes. La nature problématique des espèces indésirables peut s'avérer initialement difficile à constater étant donné qu'il s'agit parfois d'espèces natives. Dans certains cas, la prédominance d'une espèce à un endroit s'explique par la succession normale alors que dans d'autres cas, une espèce peut littéralement étouffer les autres, réduisant la diversité et nuisant à la succession.

Les mesures de contrôle prévues ne pourront éradiquer complètement les espèces indésirables. Une conséquence sur l'environnement négative de niveau faible a donc été attribuée à cet aspect (tableau 4.1-12).

Tableau 4.1-12 Classification des impacts résiduels relatifs aux espèces de plantes exotiques ou indésirables

Element	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
plantes exotiques ou indésirables	négative	faible	locale	moyen terme	Réversible ^(a)	moyenne	faible

^(a) Dépend des espèces

Ci-dessous sont énumérées quelques mesures d'atténuation qui contribueront à limiter la propagation des espèces exotiques ou indésirables.

Mise en place d'un programme de contrôle des espèces envahissantes

Durant les phases de construction, d'exploitation et de fermeture, des mesures de contrôle seront définies et mises en oeuvre afin d'éliminer les espèces exotiques et indésirables (les plantes adventices) des surfaces perturbées, des zones réhabilitées et des zones de conservation.

Réhabilitation

Lors de la fermeture de la mine, la réhabilitation des habitats du secteur de la mine inclura l'utilisation d'espèces natives. Les détails du programme de réhabilitation du site minier sont fournis à la section 6 du volume B.

Sensibilisation aux questions environnementales

Le promoteur appuiera les programmes de sensibilisation de la population locale aux questions environnementales, menés en coopération avec le gouvernement malgache, afin de renforcer les initiatives de conservation. Les programmes de sensibilisation couvriront divers sujets, comme la gestion de l'eau et des sols, la l'occupation du territoire et la réhabilitation. Un exemple de sujet particulier à traiter, touche au contrôle des troupeaux à proximité des zones réhabilitées. Un tel contrôle vise à limiter la propagation des plantes adventices et à favoriser l'atteinte des objectifs en matière de croissance d'espèces natives désirables sur le site.

Niveau de confiance des prévisions

Le comportement général des espèces envahissantes indésirables est bien connu. Cela n'exclut pas qu'il faille rassembler de l'information complémentaire sur les espèces susceptibles de se retrouver sur le site, dans le cadre du plan des mesures d'atténuation. Il s'agit de données concernant l'habitat préféré de ces espèces,

leurs modes d'envahissement et de propagation ainsi que les méthodes servant à leur éradication.

Surveillance

Un programme de surveillance sera mis en place pour s'assurer que les mesures de contrôle limitent à des niveaux convenables la présence des espèces exotiques ou indésirables. Le programme comprend:

- un suivi de l'efficacité des mesures de contrôle au sein des zones de réhabilitation et aux lisières de la forêt azonale où de telles espèces risquent d'empiéter

4.1.7.6 Conclusions

Les prévisions quant à l'introduction et à la propagation des espèces exotiques ou indésirables suggèrent que les phases de construction et d'exploitation entraîneront une conséquence sur l'environnement de niveau faible. Les mesures de contrôle proposées comprennent:

- la mise en place d'un programme de contrôle des espèces envahissantes
- une réhabilitation active
- un suivi de l'efficacité des mesures de contrôle des espèces exotiques et indésirables
- éducation en matière d'environnement et séances de consultation avec les parties prenantes, y compris les communautés locales

4.2 FAUNE

4.2.1 Introduction

Cette section présente l'évaluation environnementale des effets de la mine sur la faune, comprenant les impacts potentiels sur les espèces rares et localement endémiques, les déplacements de la faune et la santé de la faune. Cette évaluation traite des Termes de référence du Projet Ambatovy (le projet) et des enjeux soulevés lors des séances de consultation.

Cette évaluation environnementale sur la faune comprend un résumé de l'étude de référence sur les résultats des inventaires des taxons clés et un résumé des enjeux clés. Les aspects suivants ont été examinés pour chacun des enjeux identifiés:

- évaluation des liens d'impact potentiels
- méthodologie d'évaluation
- critères d'évaluation
- mesures d'atténuation
- analyse des impacts
- classification des impacts résiduels
- niveau de confiance des prévisions
- surveillance

Un résumé des principaux impacts et de leurs effets sur les espèces et habitats clés est également fourni.

4.2.2 Secteur d'étude

Dans le secteur local d'étude de la mine, la zone principale d'étude des ressources terrestres englobe le complexe de gisements (gisements d'Ambatovy et Analamay), des parties du marais de Torotorofotsy qui bordent le plateau et les bassins versants qui y sont associés (volume A, figure 7.2-1). Le secteur local d'étude de la mine inclut aussi l'empreinte au sol de la conduite de prise d'eau et une zone tampon de 500 mètres, se poursuivant sur 23 km à l'ouest de la zone centrale du site jusqu'à la rivière Mangoro.

4.2.3 Résumé de l'étude de référence

4.2.3.1 Introduction

Le secteur local d'étude de la mine a fait l'objet d'inventaires pour divers taxons en 1997, 2004 et 2005. Il s'est avéré comporter un niveau de biodiversité faunique semblable à celui des zones environnantes. Dans l'ensemble, il s'agit d'une zone à grande biodiversité et à très haut niveau d'endémisme.

4.2.3.2 Méthodologie

Classes de végétation

Dans chaque secteur local d'étude, des données obtenues par télédétection ont été utilisées pour tracer des cartes d'occupation du sol. Les détails des méthodologies utilisées pour déterminer les classes de couverture végétale dans chaque secteur d'étude sont fournis au volume J (annexe 1.1).

Inventaires fauniques

Des équipes de scientifiques malgaches et internationaux ont procédé à des inventaires de référence des mammifères, oiseaux, reptiles, amphibiens et insectes dans le secteur local d'étude de la mine durant la saison des pluies au début de 1997 et de 2004. Des inventaires supplémentaires des oiseaux ont été réalisés à la fin de 2004 et des reptiles et amphibiens à la fin de 2004 et au début de 2005. L'accent a été mis sur la réalisation des études durant les saisons convenant le mieux à la documentation de la présence des espèces, c'est-à-dire principalement en saison des pluies. En outre, des études sur les oiseaux se sont poursuivies tout au long de la saison sèche de 2004 dans le marais de Torotorofotsy afin de documenter de manière exhaustive l'importance saisonnière du marais. Les méthodologies utilisées pour chaque étude sont résumées au volume J, annexe 2.1.

Les observations ont été recensées dans les trois zones clés du secteur local d'étude : Ambatovy, Analamay et Torotorofotsy. Les points d'inventaire dans les zones d'Ambatovy et d'Analamay ont été placés principalement dans l'habitat azonal et l'habitat de transition, avec quelques emplacements dans la forêt zonale voisine. Dans le secteur de Torotorofotsy, les points d'inventaires ont été placés principalement dans l'habitat de marais, avec quelques emplacements dans la forêt zonale voisine.

4.2.3.3 Résultats

Classes de végétation

Les types de végétation ont été détaillés pour le secteur local d'étude de la mine (voir volume J, annexe 1.1). Ces types de végétation ont été regroupés en sept grandes classes (habitats) aux fins de l'analyse de la faune. Ces catégories décrivent les grandes classes de végétation présentes dans le secteur local d'étude de la mine. Les habitats sont:

- la forêt et le fourré azonaux d'arbres sclérophylles
- la forêt de transition
- la forêt zonale
- la forêt de bordure de marais
- le marais
- les marres temporaires
- autre (végétation exotique ou habitats fortement perturbés)

Faune – sommaire des résultats

Amphibiens et reptiles

Soixante-sept espèces d'amphibiens et 60 espèces de reptiles ont été recensées durant les inventaires herpétologiques dans les zones d'Ambatovy, d'Analamay et de Torotorofotsy du secteur local d'étude de la mine (volume J, annexe 2.1). Il s'agit d'une très forte diversité pour ces taxons, diversité qui dépasse les chiffres sur la richesse en espèces rapportés pour le Parc national d'Andasibe-Mantadia (amphibiens: 36, reptiles: 39; Parcs nationaux Madagascar 2000), bien que les inventaires dans le parc ne soient pas exhaustifs. Plus de 98% de ces espèces sont endémiques de Madagascar (seulement deux espèces ne sont pas endémiques: *Ptychadena mascareniensis* et *Pelusios subniger*). Durant les inventaires effectués pour ce projet, un total de quatre nouvelles espèces ont été identifiées dans le secteur local d'étude de la mine : *Plethodontohyla* sp. nov., *Boophis* sp. nov. et *Liophidium* sp. nov. 1 et 2. Les descriptions taxonomiques formelles et la clarification taxonomique sont en cours. Deux de ces espèces semblent endémiques au secteur local d'étude : *Liophidium* sp. nov. 1 et *Boophis* sp. nov. Toutes deux furent cependant observées seulement lors d'inventaires de 1997.

Les observations significatives sur les espèces localement et régionalement endémiques, les espèces rares et les espèces interdites de commerce, sont résumées dans le tableau 1 de l'annexe 2.2 du volume J. Cinq espèces sont

régionalement endémiques et considérées préoccupantes au plan de la conservation. Trois de ces espèces sont présentement sans classification officielle. Deux espèces sont nouvelles à la science et n'ont été trouvées que dans la région d'Ambatovy. Même si la découverte d'individus de ces espèces en dehors de la région du projet est probable, on doit, d'ici là, les considérer comme endémiques au secteur du projet. Ces espèces localement endémiques seront à plus fort risque d'extinction si la perte de leur habitat augmente. Six des espèces observées dans le secteur local d'étude de la mine sont sur la Liste Rouge de l'Union mondiale pour la nature (UICN) et 21 espèces sur la liste de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES).

Les espèces ont été regroupées par zone (Ambatovy, Analamay, Torotorofotsy) et par habitat dans lesquels elles ont été observées (volume J, annexe 2.1). Les espèces spécialistes d'un habitat, c.-à-d. les espèces observées seulement dans un secteur ou habitat, ont aussi été identifiées. Le résumé sur les espèces spécialistes d'un habitat est fourni dans le tableau 2 de l'annexe 2.2 du volume J. Les courbes cumulatives des espèces ont été calculées pour le secteur local d'étude et par habitat. Elles indiquent que des espèces additionnelles pourraient être trouvées dans chaque habitat mais que, dans l'ensemble, peu de nouvelles espèces sont prévus d'être trouvées dans le secteur local d'étude.

Avifaune

Durant les inventaires des oiseaux dans les zones d'Ambatovy, d'Analamay et de Torotorofotsy du secteur de la mine, 113 espèces ont été recensées (volume J, annexe 2.1). Soixante-trois d'entre elles sont des espèces endémiques et 27 des sous-espèces endémiques. Il s'agit d'une diversité très élevée pour ces taxons, comparable aux nombres rapportés pour le Parc national Andasibe-Mantadia (112 espèces, Parcs Nationaux Madagascar 2000). Quarante-sept espèces ont été recensées lors d'une seule des deux années d'inventaires.

Les observations significatives sur les espèces localement et régionalement endémiques, les espèces rares et les espèces interdites de commerce, sont résumées au tableau 1 de l'annexe 2.2 du volume J. L'espèce la plus importante identifiée dans le secteur d'étude est le râle de Waters (*Sarothrura watersii*), espèce endémique connue seulement à un autre endroit à Madagascar et confrontée à une perte d'habitat importante. L'habitat des marais est sérieusement menacé à Madagascar à cause de la conversion des marais en rizières. Quinze des espèces observées dans le secteur local d'étude de la mine sont sur la Liste rouge UICN et 16 espèces sont sur la liste CITES.

Lémuriens

Neuf espèces ont été recensées durant l'inventaire des Lémuriens, y compris trois espèces diurnes (*Indri indri*, *Propithecus diadema diadema* et *Eulemur rubriventer*), deux espèces crépusculaires (*Eulemur fulvus fulvus* et *Hapalemur griseus griseus*) et quatre espèces nocturnes (*Avahi langier*, *Lepilemur sp.*, *Cheirogaleus major* et *Microcebus cf. rufus*). Au moins deux espèces de *Lepilemur* résident dans les forêts tropicales humides de l'est de l'île. La taxonomie de ce genre est en cours de révision ; cette espèce est inscrite comme *Lepilemur sp.*, étant entendu qu'elle appartient probablement à *Lepilemur mustelinus* ou *Lepilemur microdon*. Une espèce, *Daubentonia madagascariensis*, qu'on pensait trouver dans la région n'a pas été observée, mais c'est un animal difficile à observer qui est présent dans presque toutes les forêts malgaches. Des signes évidents de la présence d'une autre espèce très rare, *Prolemur simus*, ont été observés dans les forêts zonales entourant Torotorofotsy, mais la présence de cette espèce n'a pas encore été vérifiée.

Toutes les espèces de Lémuriens sont endémiques à Madagascar et sept des neuf espèces observées dans le secteur local d'étude de la mine sont inscrites sur la Liste rouge UICN (volume J, annexe 2.2, tableau 1). Toutes les espèces de Lémuriens sont inscrites à l'annexe I de la CITES.

Petits mammifères

Dix-huit espèces de petits mammifères ont été recensées durant les inventaires de référence, dont 16 sont endémiques à Madagascar (Volume J, annexe 2.1). Trois autres espèces non identifiées de *Microgale* ont été recensées, portant à 21 le nombre total d'espèces de petits mammifères terrestres et arboricoles. Les courbes cumulatives des espèces (Volume J, annexe 2.1) indiquent que peu d'espèces n'ont pas été détectées et que la richesse en espèces observées est supérieure à celle rapportée dans le Parc national Andasibe-Mantadia (16 espèces, Parcs Nationaux Madagascar 2000).

Une des espèces (*Microgale* sp. A) avait déjà été identifiée, cependant les mensurations de *Microgale* sp. B ne concordent avec les données statistiques sur les mensurations d'aucune espèce connue de *Microgale* et pourrait donc représenter une nouvelle espèce. Deux espèces identifiées durant les inventaires sont sur la liste UICN (volume J, annexe 2.2, tableau 1) mais aucune n'est indiquée par CITES.

Les espèces observées le plus fréquemment sont *Microgale cowani*, *Microgale longicaudata*, *Microgale talazaci* et les espèces introduites *Suncus murinus* et *Rattus rattus*. *Rattus rattus*, qui n'avait pas été observé dans les inventaires de 1997 à Analamay, a été observé dans tous les secteurs en 2004.

Chauves-souris

Six espèces et un genre de chauve-souris ont été détectés durant l'inventaire des chauves-souris dans le secteur local d'étude de la mine (Volume J, annexe 2.1). Un total de 186 points de comptage a été effectué et des chauves-souris ont été détectées dans 69 % des cas. Les Molossidés et *Eptesicus matroka* sont les espèces les plus souvent détectées alors que *Myotis goudoti* n'a été recensée qu'à deux points de comptage. Le secteur local d'étude de la mine n'est pas un site d'importance nationale pour les chauves-souris à Madagascar mais la richesse en espèces y est similaire à celle recensée au Parc national de Ranomafana (8 espèces; WildMadagascar 2000). Bien qu'on ait recensé au moins six espèces de chauves-souris, le taux de détection était assez faible. Cela reflète très probablement l'absence d'aires de repos dans la région pour les chauves-souris de la famille des Vespertilionidés. Le plus important habitat des chauves-souris se trouvait en bordure de marais dans le secteur du marais de Torotorofotsy.

Myotis goudoti est la seule espèce de chauve-souris détectée durant l'inventaire qui apparaisse dans la Liste rouge UICN; elle y est classée comme une espèce quasi menacée (tableau 4.2-1). Bien que *Myzopoda aurita*, classée vulnérable par l'UICN, n'ait pas été détectée, l'habitat est potentiellement convenable pour cette espèce, qui a d'ailleurs été relevée dans un habitat semblable à 20 km du secteur d'étude dans le Parc national Andasibe-Mantadia (Russ et al. 2001). Aucune des espèces détectées n'est sur la liste CITES.

Fourmis

Dans le secteur local d'étude de la mine, 75 espèces de fourmis ont été recensées (Volume J, annexe 2.1). Une analyse est en cours afin de déterminer avec plus de précision les espèces de Formicidés échantillonnées.

Les observations significatives sur les espèces locales et régionalement endémiques et rares sont résumées volume J, annexe 2.2, tableau 1. Une découverte importante a été l'observation de colonies de *Pilotrochus* à Ambatovy. Ce genre endémique n'avait pas été observé depuis 1975 près de Moramanga, malgré des inventaires de grande ampleur. Cette découverte dans la zone d'Ambatovy du secteur local d'étude permet de supposer que *Pilotrochus* est endémique à l'échelle locale. De plus, six espèces régionalement endémiques et cinq autres espèces rares ont été observées dans le secteur local d'étude (tableau 4.2-1). Une espèce de *Pheidole*, *Pheidole oculata*, est classée vulnérable sur la liste UICN. Comme on a recensé six espèces non identifiées de *Pheidole* spp., il est possible que l'une de ces espèces soit *Pheidole oculata*. Aucune espèce de fourmis n'est sur la liste CITES.

Papillons diurnes et nocturnes

Jusqu'à maintenant, 11 familles et 142 espèces de lépidoptères ont été identifiées parmi les spécimens capturés sur le terrain. La plupart (103) de ces espèces sont de la famille des papilionidés (Volume J, annexe 2.1). Au total, 131 espèces de papillons ont été identifiées. La communauté des papillons du secteur local d'étude de la mine constitue un assemblage particulièrement diversifié de *Nymphalidae* et de *Hesperidae*, avec 76 et 32 espèces confirmées, respectivement. Au moins 24 autres espèces potentielles présentement identifiées au niveau du genre sont encore à classer. Le fait que la pente de la courbe cumulative des espèces du secteur local d'étude demeure positive appuie la constatation que des espèces additionnelles seraient observées si d'autres études étaient effectuées (Volume J, annexe 2.1).

Un résumé des observations clés sur les espèces rares est fourni au volume J, annexe 2.2, tableau 1. Ces observations donnent à croire que cette région est un centre de diversité biologique pour les papillons. Les spécialistes des espèces considèrent la détection du rare *Hovala* 2 comme étant la plus significative. Il existe moins de 10 spécimens connus de ce *Hovala* non décrit, qui semble confiné à la région d'Analamazaotra. *Papilio mangoura*, espèce classée vulnérable sur la liste UICN, a été relevé, bien que l'observation n'ait pas encore été confirmée par l'analyse taxonomique. Aucune espèce de lépidoptères ne figure sur la liste CITES.

Habitats rares ou uniques

L'étude sur la biodiversité (Volume B, section 4.4) évalue les impacts sur les habitats qui supportent les espèces clés de la faune et de la flore. Les habitats ont été classés selon des caractéristiques clés, y compris les mesures suivantes pour la faune:

- la richesse en espèces de vertébrés et invertébrés terrestres
- le nombre d'espèces prioritaires (niveau d'endémisme)
- le nombre d'espèces spécialistes
- le nombre d'espèces de la faune en danger, menacées et vulnérables

La richesse en espèces a été basée sur le nombre total d'espèces observées dans tous les programmes d'échantillonnage de terrain. De ces espèces, celles relevées seulement dans un habitat ont été considérées être des spécialistes cet habitat. Le niveau d'endémisme des espèces a été déterminé d'après la littérature et par les spécialistes des espèces concernées (Volume J, section 2.1); le statut de conservation et de protection des espèces a été basé sur les listes UICN et CITES, respectivement. Ces résultats, ainsi que ceux provenant d'autres mesures de

biodiversité, ont donné un score total permettant de déterminer les habitats possédant le plus fort potentiel de biodiversité. L'habitat azonal et l'habitat de transition ont obtenu les scores les plus élevés (Volume J, section 4.1).

Il existe divers éléments sensibles ou valorisés de l'écosystème dans la région d'Ambatovy. Les éléments valorisés comprennent les forêts azonales, les rivières d'amont, les mares temporaires et le marais de Torotorofotsy.

Les forêts azonales et de transition sont uniques et pourraient n'exister qu'à quelques endroits à Madagascar. Dans l'étude sur la biodiversité, elles ont obtenu le score le plus élevé (Volume J, section 4.1). Bien que les forêts azonales d'Ambatovy tendent à contenir un nombre d'espèces de faune légèrement inférieur (diversité alpha) par rapport aux autres forêts situées à la même altitude dans l'est de Madagascar, elles ont une très grande valeur comme zones écologiques potentiellement uniques. L'analyse de la biodiversité indique que cet habitat présente un intérêt particulier.

Les mares temporaires des plateaux d'Ambatovy et d'Analamay sont uniques à cause de plusieurs facteurs. Premièrement, le fait qu'elle se trouvent sur la cuirasse ferrallitique crée des propriétés hydrologiques spéciales, expliquant notamment leur nature saisonnière et temporaire. Deuxièmement, aux endroits où elles n'ont pas été perturbées de manière importante, leur association au fourré azonal sur substratum ferrallitique en fait un type d'habitat extrêmement rare. Elles constituent un type d'habitat de reproduction unique pour les grenouilles et les autres animaux qui utilisent des plans d'eau saisonniers pour se reproduire.

Les ruisseaux et rivières sont des cours d'eaux d'amont de grande valeur pour une grande région avoisinante et constituent d'importants habitats de reproduction pour les grenouilles. Les cours d'eau qui se déversent dans le marais de Torotorofotsy sont particulièrement importants à cause du rôle qu'ils jouent dans le maintien et la régulation des niveaux et de la qualité de l'eau dans ce système.

Le marais de Torotorofotsy constitue un écosystème très sensible et de grande valeur pour la région et pour l'ensemble de Madagascar. Sa grande valeur tient à sa fonction écologique et sa biodiversité. Le marais atténue l'impact des abondants ruissellements du plateau d'Analamay vers les zones d'aval et stocke également l'eau durant les périodes de sécheresse. De plus, le marais (comme la plupart des marais) joue les rôles de filtre naturel pour la sédimentation et de réservoir ce qui permet d'atténuer les ruissellements abondants et de réduire ainsi l'érosion et la sédimentation en aval.

L'écologie et la biologie (diversité de l'habitat, continuité de l'habitat, reproduction animale) du marais de Torotorofotsy est sensible aux fluctuations des niveaux et de la qualité de l'eau. Le marais abrite des communautés de faune de marais de moyenne altitude de grande valeur. Par exemple, le râle de Waters (*Sarothrura watersii*), une espèce en danger qu'on y trouve, peut avoir besoin d'une végétation spécifique aux marais. La distribution de cette végétation de marais pourrait, à son tour, être influencée par une combinaison de facteurs, y compris les niveaux d'eau, les nutriments et la présence de d'espèces compétitrices et de prédateurs. Le marais fournit aussi un habitat à une communauté à taxonomie mixte d'oiseaux, de poissons, d'invertébrés et de petits mammifères résidents et de passage dans les marais.

4.2.4 Evaluation des impacts

4.2.4.1 Portée des enjeux

Le résumé de l'étude de référence décrivait les espèces de faune et habitats fauniques clés présents dans le secteur local d'étude de la mine, en particulier ce qui concerne les espèces préoccupantes (UICN 2004 ; WCMC/UNEP 2005) et les espèces prioritaires (endémiques). Le but de l'évaluation des impacts consiste à évaluer les effets spécifiques sur les espèces et les habitats clés présents dans le secteur local d'étude, à identifier les stratégies visant à minimiser les effets potentiels reliés au projet et à discuter du potentiel de restauration de la zone aux conditions de l'habitat faunique antérieures à la perturbation. Divers enjeux et préoccupations associées aux impacts potentiels du projet sur la faune ont été soulevées lors de la consultation, particulièrement par les organisations non gouvernementales environnementales (volume A, section 6). Les principaux enjeux associés aux espèces de faune comprennent:

- les impacts potentiels (y compris l'extirpation ou l'extinction) sur les espèces localement endémiques associés à l'enlèvement des habitats de la forêt azonale et de transition
- les impacts potentiels de la construction et l'exploitation de la mine sur les populations d'espèces rares et en danger
- les effets directs et indirects de la construction et de l'exploitation sur les habitats fauniques, en particulier dans le marais de Torotorofotsy, résultant des changements de l'hydrologie et de l'hydrogéologie
- la fragmentation de l'habitat et les impacts potentiels sur les mouvements des espèces de faune
- les effets potentiels sur la santé faunique dus aux changements de la qualité de l'air et de l'eau

Les questions clés résumant ces enjeux sont:

Question clé Q-1	Quel effet le projet aura-t-il sur l'abondance et la distribution de la faune et sur la pérennité des espèces localement endémiques?
Question clé Q-2	Quel effet le projet aura-t-il sur le mouvement des espèces de faune?
Question clé Q-3	Quel effet le projet aura-t-il sur la santé de la faune?

L'empreinte au sol du projet Ambatovy dans le secteur local d'étude de la mine comprend le site de la mine proprement dit, incluant les routes et infrastructures connexes, ainsi que la station de prise d'eau sur la rivière Mangoro et la conduite d'approvisionnement jusqu'à la mine. Le site de la mine, incluant une zone tampon de 50 m de chaque côté des tracés routiers et zones de construction potentielles, totalise une superficie de 17,3 km². Les milieux ouverts de moins de 1 ha à l'intérieur de l'empreinte au sol du projet ont été intégrés à cette empreinte au sol en raison des effets de lisière dans des zones si réduites. La zone maximale de perturbations ne sera atteinte qu'à l'année 20 du programme minier.

Un corridor large de 25 m et long de 15 km s'étendra entre la station de prise d'eau sur la rivière Mangoro et la Route Nationale (RN) 44. Cette emprise comprend:

- une route d'accès en terre
- une conduite d'approvisionnement en eau enfouie d'un diamètre de 600 mm

Au niveau de la RN44, le corridor de la conduite d'approvisionnement en eau, décrite ci-dessus, joindra la servitude de la nouvelle route d'accès à la mine. Le nouveau tracé suivra le tracé d'un chemin en terre existant, mais la route devra être élargie et couverte de gravier ou de pierre concassée. La largeur totale du corridor (route et conduite enfouie d'approvisionnement en eau) sera de 40 m, sur une distance de 7,9 km entre la route nationale et la mine. Ainsi, la longueur totale de la conduite d'approvisionnement en eau est d'environ 23 km, entre la rivière Mangoro et le point où elle atteint l'empreinte au sol de la mine.

Les impacts sur la faune se produiraient pendant la construction et l'exploitation, comme le montre le diagramme de liens (volume H, annexe 9). Pour chacun des effets associés au projet Ambatovy, une analyse des liens d'impacts potentiels est présentée pour chaque enjeu, suivie d'une section sur les mesures d'atténuation,

d'une analyse des impacts, d'une classification des impacts résiduels et d'une section sur la surveillance. Lorsque les enjeux sont reliés, (par ex., les effets de lisière), ils sont analysés et traités ensemble afin d'éviter les répétitions.

4.2.4.2 Question clé F-1: Quel effet le projet aura-t-il sur l'abondance et la distribution de la faune, y compris la pérennité des espèces localement endémiques?

La perte d'habitat peut être causée par les activités du projet durant ses phases de construction et d'exploitation, soit:

- le défrichement du site
- le changement dans l'écoulement de l'eau
- les perturbations sensorielles
- les émissions atmosphériques, y compris la poussière
- la fragmentation
- les obstacles au mouvement

La perte directe d'habitat résulte de la destruction physique de l'habitat par le défrichement du site pendant les phases de construction et d'exploitation du projet Ambatovy. La perte directe d'habitat peut aussi être la conséquence de la fragmentation de l'habitat, au cours de laquelle la qualité de l'habitat est réduite au point où il n'est plus fréquenté par la faune, ou ne fournit plus les ressources alimentaires nécessaires au succès de la reproduction, ou encore offre moins de protection contre les prédateurs, entraînant une mortalité accrue. Le drainage des zones humides ou le rabattement de l'eau sont d'autres facteurs de perte directe d'habitat.

La perte indirecte d'habitat, se produit lorsque l'habitat physique reste disponible mais la faune choisit de ne pas, ou n'est pas capable, de l'utiliser à cause de barrières physiques et de perturbations sensorielles. La perte directe d'habitat et la fragmentation initiale sont étroitement associées à la phase de construction, tandis que les obstacles au mouvement, les perturbations sensorielles et la perte d'habitat due aux émissions atmosphériques sont plutôt associés à la phase d'exploitation. Néanmoins, les deux phases du projet Ambatovy pourraient entraîner une perte directe et indirecte d'habitat. La fragmentation de l'habitat et les obstacles au mouvement sont traités avec la question clé F-2.

Perte directe d'habitat

Défrichement du site

La perte directe d'habitat est l'effet le plus visible et se produit lorsque le territoire est défriché à d'autres fins. Comme certaines installations (par ex., les routes principales) seront permanentes, sur toute la durée du projet Ambatovy, la perte d'habitat associé à ces installations est à moyen ou long terme. Pour les autres installations (par ex. la conduite enfouie de la prise d'eau), la perte d'habitat pourrait être temporaire.

Changement de l'hydrologie

Le drainage des zones humides et le rabattement des eaux souterraines ou de surface peuvent directement ou indirectement détruire ou altérer l'habitat des amphibiens, des oiseaux aquatiques et des autres espèces fréquentant les zones humides (Coughanowr 1998). Pendant la construction et l'exploitation, il y aura des opérations minières dans la zone des eaux d'amont ou celle-ci sera perturbée et l'eau recueillie dans le secteur de la mine sera recueillie dans des bassins de confinement. Les débits vers les zones environnantes, y compris le marais de Torotorofotsy, seront contrôlés.

Méthodologie d'évaluation

Défrichement du site

Les changements de superficie entre les conditions de référence et le scénario d'impact ont été évalués pour chaque type d'habitat en se basant sur les classes de végétation cartographiées pour le secteur local d'étude de la mine. Les impacts ont été évalués pour l'empreinte au sol totale des installations, bien que les opérations minières et la réhabilitation se feront au fur et à mesure pendant la durée du projet. Par conséquent, l'analyse des impacts est prudente. Grâce à la réhabilitation progressive pendant l'exploitation, les habitats seront restaurés, mais ceci n'a pas fait l'objet d'une évaluation quantitative.

Changement de l'hydrologie

Les changements dans l'écoulement de l'eau entre les conditions de référence et le scénario d'impact ont été évalués pour la saison des pluies et la saison sèche et pour les six principaux bassins versants du secteur de la mine. La section portant sur l'hydrologie (volume B, section 3.8) décrit en détail la méthodologie utilisée. Les habitats, et les espèces qui y sont associées, présents dans chaque zone affectée, ont été identifiés et les impacts ont fait l'objet d'un examen qualitatif.

Critères d'évaluation

Les critères de description utilisés pour la faune sont présentés au tableau 4.2-1. Lorsque les valeurs quantitatives sont impossibles à fixer, les impacts ont été déterminés d'après la littérature, l'opinion de spécialistes locaux et le jugement professionnel.

Tableau 4.2-1 Critères de description des impacts sur la faune

Orientation ^(a)	Intensité ^(b)	Portée géographique ^(c)	Durée ^(d)	Réversibilité ^(e)	Fréquence ^(f)
positive, négative ou neutre pour le critère mesuré	négligeable : aucun effet mesurable sur le critère mesuré faible : <10 % de changement dans le critère mesuré moyenne : 10 à 20 % de changement dans le critère mesuré forte : >20% change in critère de mesure	locale : effet restreint au secteur local d'étude régionale : effet s'étendant au-delà du secteur local d'étude dans le secteur régional d'étude ^(g) supra-régionale : effet s'étendant au-delà du secteur régional d'étude	court terme : <3 ans moyen terme : 3 à 30 ans long terme : >30 ans	réversible ou irréversible	faible : se produit une seule fois moyenne : se produit par intermittence élevée : se produit en continu

(a) Orientation: effet positif ou négatif sur les critères mesurés tels que définis pour l'élément spécifique.

(b) Intensité: degré de changement dans le critère mesuré.

(c) Portée géographique: secteur touché par l'impact.

(d) Durée: période de temps au cours de laquelle l'impact environnemental se fait sentir. Il faut prévoir une période de construction de 3 ans et une période d'exploitation de 27 ans.

(e) Réversibilité: l'effet sur la ressource (ou la capacité de la ressource) peut être ou non renversé.

(f) Fréquence nombre de fois où l'impact environnemental se produit.

(g) SRE = secteur régional d'étude.

Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation qui réduiront les effets sur la faune de la perte et de l'altération de l'habitat causés par le défrichement du site et les changements de l'hydrologie dans le secteur local d'étude de la mine comprennent:

Eléments de conception

- modification de l'empreinte au sol de façon à réduire les impacts, incluant la désignation de zones de conservation sur le site
- incorporation au plan de la mine d'une zone tampon viable incluant l'habitat azonal (qui sera expressément protégé) afin de maintenir la connectivité entre les grandes zones d'habitat faunique et favoriser la recolonisation des sites réhabilités
- atténuation des effets sur le marais de Torotorofotsy, grâce au plan de conception du site et au plan de gestion des eaux (voir les sections traitant de l'hydrologie et de la qualité de l'eau : volume B, sections 3.8 et 3.9)

Techniques d'atténuation

- Les secteurs de la mine seront exploités et réhabilités au fur et à mesure pendant la durée de l'exploitation.
- La relocalisation de certaines espèces de faune localement endémiques clés vers des habitats azonaux ou similaires, soit sur le site (dans le secteur local d'étude de la mine), soit hors site (en dehors du secteur local d'étude) dans d'autres zones identifiées. Le choix des espèces sera basé sur la capacité à capturer et déplacer les individus qui autrement ne se déplaceraient pas avant la construction et sur la disponibilité des habitats pour les recevoir. Sous réserve de satisfaire à ces critères, les zones d'accueil prioritaires seraient les deux zones de protection azonales situées à l'intérieur de la concession minière.

Réhabilitation et procédures de réparation

- Démantèlement et réhabilitation pendant la phase de post-fermeture du site, y compris la revégétalisation avec des espèces natives. L'occupation finale du sol sera déterminée en fonction des objectifs de la planification régionale.

Compensation

- Conservation des habitats azonaux et de transition sur le site.
- Conservation des habitats azonaux de conservation hors site additionnels (voir volume B, section 4.1).

Analyse des impacts

La zone maximale des nouvelles perturbations associées au projet Ambatovy dans le secteur local d'étude de la mine sera de 1801 ha (tableau 4.2-2). L'empreinte au sol de la mine et des infrastructures connexes sera de 1733 ha. Les perturbations dues à la conduite de la prise d'eau sur la rivière Mangoro et à la route d'accès principale depuis la RN 44 totaliseront 67 ha. Dans une optique d'estimation prudente des impacts sur l'habitat faunique, il a été supposé que la construction de tous les éléments aurait lieu en même temps.

Tableau 4.2-2 Changement (en %) de superficie de l'habitat résultant du défrichement dans le secteur local d'étude de la mine

Type d'habitat	Conditions de référence (ha)	Scénario d'impact (ha)	Changement (ha)	Changement (%)
azonal	1380	396	-984	-71,3
de transition	1489	1151	-338	-22,7
zonal	12 527	12 156	-371	-3,0
mares temporaires	5	1	-4	-87,8
marais	1114	1101	-13	-1,2
bordure de marais	231	231	0	0
rivière/eau	13	13	0	0
autres ^(a)	6134	6043	-91	-1,5
total^(b)	22 892	21 092	-1801	-7,6
ruisseaux et rivières (km)	160	122	-38	-23,7

^(a) Inclut les pâturages, rizières, plantations d'eucalyptus, brûlis et villages.

^(b) L'addition peut différer légèrement à cause de l'arrondi.

La perte d'habitat associée au site de la mine et aux infrastructures connexes sera la plus grande dans les habitats azonaux, de transition et des mares temporaires, avec respectivement des pertes proportionnelles de 71,3 %, 22,7 % et 87,8 %. Environ 40 % (585 ha) de l'habitat azonal et 50 % (713 ha) de la forêt de transition ont déjà été affectés par des perturbations naturelles et anthropiques (voir annexe B, section 4.1). Comme les caractéristiques du sol de la cuirasse ferrallitique des habitats azonaux, de transition et des mares temporaires ne pourront être restaurées, ces pertes seront permanentes. Le défrichement du site affectera 13 ha de l'habitat des marais, spécifiquement dans des zones ayant été modifiées pour la culture du riz. Plus de 90 % de l'habitat des marais dans le secteur local d'étude de la mine fait partie de cette catégorie (voir annexe B, section 4.1). La longueur totale des cours d'eau diminuera de 23,7 %, de 160 km à 122 km. Il n'est pas prévu que les habitats en bordure de marais et en eau libre soient affectés par les installations de la mine ou les infrastructures. Les impacts du pipeline de pulpe dans le secteur local d'étude de la mine, incluant la section autour des marais, sont évalués dans l'évaluation environnementale sur le pipeline de pulpe (volume C, section 4.2).

Les espèces localement endémiques au secteur de la mine, en particulier si elles se trouvent dans l'empreinte au sol de la mine, et les espèces observées seulement dans les habitats qui seront perdus de façon permanente sont les plus susceptibles d'être affectées. Trois espèces ont été classées comme endémiques localement : une espèce de fourmi, une espèce de grenouille et une espèce de serpent. *Pilotrochus besmerus* est une espèce de fourmi qui a été observée uniquement dans les sols argileux de la forêt de transition de la zone

d'Ambatovy. Ce site se trouve dans la zone de conservation du site et ne sera donc pas perturbé par le défrichage du site de la mine.

Deux espèces découvertes récemment et considérées comme des espèces localement endémiques, *Boophis nov. sp.* (une espèce de grenouille) et *Liophidium nov. sp. 1* (une espèce de serpent), ont aussi été notées pendant les études sur le terrain, bien que leur statut taxonomique n'ait pas encore été confirmé. Ces deux espèces ont été observées seulement en 1997 dans la forêt azonale d'Analamay à la limite de l'empreinte au sol de la mine. *Liophidium nov. sp. 1* a également été observé dans la forêt zonale, entre Ambatovy et Torotorofotsy. Etant donné que ces espèces n'ont pas été observées dans le cadre des inventaires réalisés en 2004, elles peuvent ne plus être présentes dans le secteur d'étude. Des investigations supplémentaires seraient requises aux endroits où elles ont été observées, dans d'autres secteurs de la mine et au-delà du secteur de la mine afin de déterminer si ces espèces sont distribuées dans une zone plus vaste.

Quatre-vingt-dix-neuf espèces ont été observées seulement dans des forêts azonales et de transition, et sont donc exposées à un risque plus élevé suite au défrichement du site (tableau 4.2-3). Une liste de ces espèces spécialistes d'un habitat est présentée au volume J, annexe 2.2.

Tableau 4.2-3 Espèces observées dans un seul habitat

Groupe d'espèces	Habitat			
	azonal	de transition	zonal	marais
herpétofaune	16	8	4	6
lémuriens	0	0	0	0
petits mammifères	3	2	4	0
chauves-souris	0	0	0	1
fourmis	7	9	7	0
lépidoptères	44	10	11	2
total^(a)	69	30	26	9

^(a) L'addition peut différer légèrement à cause de l'arrondi.

Le site de la mine sera réhabilité progressivement pendant l'exploitation. A la fermeture, tous les bâtiments et installations seront démantelés et enlevés. Les objectifs de réhabilitation seront fixés en fonction de la planification régionale y compris l'avis des parties prenantes et du gouvernement. L'objectif biologique de réhabilitation sera de développer une communauté végétale auto-suffisante qui fournit une protection contre l'érosion et une variété de types d'occupation du sol, dont l'habitat faunique. Les habitats azonaux, de transition et des étangs

saisonniers temporaires ne peuvent être restaurés, leur perte sera donc permanente. D'autres habitats forestiers remplaceront ces habitats clés. De récentes évaluations des habitats, dans une zone de conservation de végétation azonale hors site potentielle, montrent plusieurs similarités avec le secteur ciblé pour le projet, y compris la présence d'étangs saisonniers. La conservation de cette zone hors site aidera à compenser les impacts fauniques résiduels sur le site.

Changement de l'hydrologie

Selon la conception du site, la gestion des eaux de mine entraînera des débits saisonniers en aval semblables à ceux des conditions de référence. Cependant, des augmentations de 0 % à 24 % des débits en aval pourraient se produire pendant la saison des pluies (pour plus de détails, voir le volume B, section 3.8).

Les débits accrus pendant la saison des pluies pourraient entraîner un changement dans les communautés végétales s'ils font augmenter la teneur en eau des sols ou le niveau des plans d'eau calme. Les communautés végétales les plus susceptibles d'être affectées se trouvent en bordure des plans d'eau calme tels que le marais de Torotorofotsy. Etant donné que ces habitats rares de bordure de marais ont été identifiés comme habitats clés pour les chauves-souris (les autres groupes d'espèces n'ont pas été inventoriés dans ce secteur), une altération de la distribution et de l'étendue de ces communautés végétales pourrait avoir un impact sur la distribution et l'abondance de la faune dans cet habitat et le secteur local d'étude.

Classification des impacts résiduels

Les impacts résiduels et les conséquences sur l'environnement d'une perte directe d'habitat faunique résultant de la construction et de l'exploitation du projet Ambatovy sont présentés au tableau 4.2-4. Des conséquences sur l'environnement de niveau élevé sont prévues pour les habitats azonaux, de transition et des mares temporaires à cause du défrichement du site. Ces conséquences sont prévues parce que plus de 20 % de ces habitats seront perdus dans le secteur local d'étude et que ces effets sont irréversibles.

Après l'application des mesures d'atténuation, les conséquences sur l'environnement dues au défrichement sont prévues d'un niveau moyen pour les espèces fauniques localement endémiques et celles qui ont été observées seulement dans des habitats azonaux et de transition du secteur local d'étude (volume J, annexe 2.2). Au niveau régional, le promoteur du projet s'est engagé à appuyer la conservation des habitats azonaux hors site au moyen de mesures de compensation. Cet engagement, qui prend aussi en compte la perte continue de couverture forestière à Madagascar, est traité de manière plus détaillée dans la

section Effets cumulatifs (volume G, section 3.2), et est prévu d'entraîner un impact global positif à long terme si les mesures d'atténuation sont efficaces.

Tableau 4.2-4 Classification des impacts résiduels associés à la perte directe d'habitat

Élément	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
enjeu: défrichement du site							
habitat azonal	négative	forte	locale	long terme	irréversible	faible	élevée
habitat de transition	négative	forte	locale	long terme	irréversible	faible	élevée
habitat zonal	négative	faible	locale	long terme	réversible	faible	faible
marais	neutre	négligeable	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
bordure de marais	neutre	négligeable	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
mares temporaires	négative	forte	locale	long terme	irréversible	faible	élevée
cours d'eau	négative	forte	locale	long terme	réversible	faible	élevée
espèces localement endémiques	négative	moyenne	locale	long terme	réversible	faible	moyenne
espèces limitées aux habitats azonaux, de transition et des mares temporaires	négative	moyenne	locale	long terme	réversible	faible	moyenne
autres espèces	négative	faible	locale	long terme	réversible	faible	faible
enjeu: changement dans l'écoulement de l'eau							
habitats	négative	faible à moyenne	locale	long terme	réversible	moyenne	faible à moyenne

s.o. = sans objet.

Inversement, les conséquences sur l'environnement associées au défrichement du site sont prévues d'un niveau faible pour les habitats zonaux. Ce niveau de conséquence s'explique surtout par la faible intensité (moins de 10 % de réduction de la superficie de l'habitat zonal). Les impacts résiduels sur les espèces, y compris les espèces rares qui utilisent d'autres habitats, sont aussi prévus faibles.

Il est prévu que les communautés végétales situées dans les bassins versants du secteur local d'étude de la mine subissent des impacts négatifs pendant l'exploitation de la mine à cause de l'augmentation des débits moyens pendant la

saison des pluies. Les débits actuels pourraient augmenter ainsi jusqu'à 24 %, mais comme ce changement intervient seulement pendant la saison des pluies, l'intensité et la nature des changements dans les communautés végétales sont prévus faibles (volume B, section 4.1). Les effets sur la faune des cours d'eau seront faibles à moyens.

Niveau de confiance des prévisions

Le niveau de confiance des prévisions relatives aux impacts sur les habitats consécutifs au défrichement du site est élevé. Le niveau de confiance des prévisions relatives aux impacts sur les habitats consécutifs aux changements dans l'écoulement des eaux est moyen, étant donné que l'écoulement est bien compris et peut être contrôlé à travers le système de gestion des eaux de la mine; cependant, l'écologie des réseaux hydrographiques est moins bien connue.

Les incertitudes concernant les prévisions des impacts sur la faune consécutifs à la perte directe d'habitat comprennent les facteurs suivants:

- Les courbes cumulatives des espèces par type d'habitat indiquent qu'il est prévu que des espèces additionnelles fréquentent tous les habitats (voir volume J, annexe 2.1). Il est donc possible que le nombre d'espèces présentes dans un seul habitat ait été surestimé ou que les espèces localement endémiques soient plus largement distribuées.
- L'écologie des bassins versants, notamment la réaction de la végétation aux changements de l'écoulement des eaux et les besoins en habitat des espèces de faune, l'utilisation saisonnière et les déplacements dans le secteur local d'étude de la mine ne sont pas bien connus.

Surveillance

Un programme de surveillance de la faune est proposé pour documenter les effets de la construction, de l'exploitation et de la réhabilitation de la mine sur les groupes clés d'espèces de faune qui se trouvent dans les zones de conservation. Ce programme déterminera périodiquement la distribution et l'abondance des espèces clés, y compris les espèces transplantées, dans les zones de conservation. Un programme sera aussi mis en place afin de suivre la restauration de l'habitat lors de la réhabilitation et la fermeture de la mine.

Les groupes qui pourront être surveillés incluent les colonies d'amphibiens et de reptiles, de Lémuriens, de petits mammifères et de *Pilotrochus*. Les méthodologies de surveillance varieront selon les groupes. Un registre d'observations sera créé pour y consigner les observations faites sur la faune; les salariés seront encouragés à rapporter leurs observations (c.-à-d. visuelles, de cris, de nids) à l'égard d'espèces sélectionnées. La consignation de ces

observations aidera à évaluer les changements dans l'abondance et la distribution de la faune.

Perte indirecte d'habitat

Perturbation sensorielle (bruit et lumière)

Une perturbation sensorielle peut être causée par la construction et l'exploitation et elle peut entraîner des effets de déplacement et des changements dans l'abondance de la faune (Forman 1995). Une perte indirecte d'habitat peut résulter des perturbations sensorielles d'origine anthropique (par ex., mouvements et bruit d'origine humaine, véhicules, bruit et lumière provenant des véhicules et des installations). Même si un habitat offre toujours une couverture végétale et de la nourriture adéquate, la faune peut ne pas l'utiliser à cause de la perturbation sensorielle (par ex., bruit, lumières). Le résultat final est une aliénation de l'habitat ou une rentabilité d'habitat réduite pour faune.

La perturbation sensorielle peut aussi entraîner une augmentation des niveaux de stress et de dépense d'énergie ainsi qu'un bouleversement des comportements alimentaires et/ou d'accouplement, pouvant mener à une mortalité accrue et/ou des taux de reproduction réduits. De tels impacts ne sont pas aussi visibles que la perte d'habitat, mais ils peuvent être aussi néfastes (Cuarón 2000, Blom et al. 2004, Dahlgren et Korschgen 1992). Tandis que les signes à court terme de perturbations sont souvent apparents, les effets à long terme sont difficilement observables. Le sujet a fait l'objet de plusieurs compte rendus dans des environnements différents et pour des espèces choisies (Shank 1979; Prism 1982; Bromley 1985; Komex 1995).

Les perturbations sensorielles peuvent varier en intensité et en durée, d'activités passives et anodines jusqu'à l'harcèlement direct et persistant. Dans plusieurs cas, la faune peut s'habituer au bruit mais cette réaction varie selon les individus et les espèces et elle dépend souvent de la prévisibilité des perturbations (Bowles 1995). D'autres activités peuvent accroître les effets du bruit. Par exemple, les espèces de faune qui sont chassées sont plus aptes à fuir le bruit (par ex. les Lémuriens, Schmid 2000). Tandis que les effets d'une unique perturbation peuvent être insignifiants, ces effets peuvent être cumulatifs (par ex. pour les Lémuriens, Smith et al. 1997).

En général, les perturbations sensorielles tendent à être plus néfastes à certaines périodes critiques de l'année, comme lors de la période de reproduction, particulièrement pour les espèces chez qui la vocalisation joue un rôle dans la stratégie de reproduction, ou quand les adultes élèvent leurs petits (par ex., Anoures, Barass 1985).

Effets de la poussière

La vélocité accrue du vent au niveau des lisières perturbées augmentent le transport de poussière vers les habitats voisins non perturbés (Saunders et al. 1991). La poussière peut affecter la photosynthèse, la respiration et la transpiration, en plus de faciliter les impacts des polluants (Farmer 1993). Les espèces de faune les plus susceptibles d'être affectées sont celles qui dépendent d'espèces végétales rares et sensibles ainsi que les herbivores et amphibiens occupant les zones affectées. Les herbivores peuvent subir des impacts par la poussière adhérent aux espèces fourragères si elle affecte la nutrition ou cause une usure prématurée de la dentition (Williams et Kay 2001). Le dépôt direct de poussière sur les individus ou son introduction dans les systèmes aquatiques (par ex. une augmentation de la turbidité) peuvent avoir des effets négatifs sur les amphibiens (Marsh et Beckman 2004).

La poussière ne sera probablement un enjeu qu'en saison sèche, à moins qu'elle n'ait des propriétés physico-chimiques néfastes (lixiviation, turbidité de l'eau) qui affectent la croissance des végétaux tout au long de l'année.

Introduction d'espèces exotiques et envahissantes

L'invasion des habitats primaires par des espèces exotiques et envahissantes peut avoir des conséquences graves sur l'équilibre naturel d'un écosystème (Forman 1995). Quand des plantes ou animaux exotiques ou envahissants (par ex., *Rattus rattus*) sont introduits ou envahissent depuis une zone voisine, ils peuvent concurrencer les espèces natives et entraîner un déclin des populations de petits mammifères (Goodman et al. 2003, Stephenson 1993). Dans la plupart des cas, les communautés moins riches en matière d'espèces sont plus faciles à envahir. Ainsi, les habitats pionniers comptant peu d'espèces, créés par la perturbation des écosystèmes d'origine soit naturelle (par ex., les cyclones, Fisher 2003) soit anthropique (par ex., cultures, défrichement de la mine) offrent des habitats qui sont en général considérablement plus faciles à envahir que les communautés matures (Pimm 1994). Vingt-cinq espèces de fourmis ont probablement été introduites à Madagascar (Fisher 2003). La présence d'espèces envahissantes de fourmis dans un habitat perturbé et morcelé est associée à une réduction des populations natives de fourmis (Fisher et al. 1998 cité dans Fisher 2003).

Avec une augmentation des activités humaines pour la construction et l'exploitation du projet Ambatovy, il y a une plus forte probabilité que des espèces exotiques et envahissantes soient introduites dans des zones jusqu'alors non perturbées. La présence et les habitats des espèces exotiques et envahissantes aux conditions de référence sont présentés dans l'étude de référence sur la faune (volume J, annexe 2.1). Il est possible que ces espèces envahissent les zones perturbées du projet Ambatovy.

L'augmentation des accès et des lisières résultant de la mise en oeuvre du projet crée un mécanisme à la fois pour l'introduction (c.-à-d. le transport par l'humain) et l'invasion (c.-à-d. l'empiètement depuis les zones voisines) d'espèces végétales et animales exotiques et envahissantes. Ce facteur s'inscrit donc à la fois parmi les changements indirects d'habitat et les changements liés à l'augmentation des accès.

Changements microclimatiques

La lisière forestière diffère de l'intérieur de la forêt aussi bien dans ses caractéristiques microclimatiques que biotiques (Forman 1995). Une modification des variables microclimatiques telles que l'intensité lumineuse, la température, le vent et l'humidité se produit entre la lisière et l'intérieur de la forêt (Davies-Colley et van Elswijk 2000). Tant la végétation que les espèces de faune réagissent à ces variations microclimatiques; les changements avantagent certaines espèces et nuisent à d'autres (With 2002). Le défrichement du site de la mine accroîtra la quantité d'habitat de lisière entre les zones forestières et non forestières.

Méthodologie d'évaluation

Perturbation sensorielle

Bruit

Les niveaux de bruit pendant la construction et l'exploitation ont été modélisés à partir de suppositions de base prudentes et comparés aux niveaux de référence afin de déterminer les impacts potentiels (volume B, section 3.5). Le bruit a été considéré comme un impact sur la faune quand il dépasse les critères de niveau de bruit définis par la Banque mondiale pour l'exposition humaine, soit 55 dBA pour le jour et 45 dBA pour la nuit (The World Bank Group 1999). La portée géographique de chaque type d'habitat subissant un niveau de bruit égal ou supérieur à ces deux plages de bruit a été calculée afin d'établir les impacts (>45 dBA et >55 dBA).

Les impacts résiduels ont été calculés pour les niveaux supérieurs à 45 dBA, puisque les niveaux de bruit inférieurs à ce critère sont considérés acceptables. Une évaluation qualitative des impacts sur les espèces utilisant ces habitats est présentée ici. La superficie de chaque habitat qui subit des impacts par ces effets de lisière s'ajoute aux pertes directes d'habitat et doit être prise en compte en avec les pertes dues aux autres effets indirects.

Lumière

Bien que les effets de la lumière soient bien connus (Longcore et Rich 2004), la littérature fournit peu d'information quantitative. A Madagascar, des pièges lumineux ont servi à capturer en quelques minutes des centaines d'éphémères

(*Proboscipolia spp.*) lors des inventaires (Elouard et al. 2003); l'éclairage de la mine aurait vraisemblablement le même effet et pourrait entraîner une augmentation de la prédation par les chauves-souris et autres insectivores nocturnes (voir not. Frank 1988). Les effets de la lumière sur la faune ont fait l'objet d'une évaluation qualitative.

Effets de la poussière

Une modélisation spatiale de la poussière a été réalisée en fonction des activités sur l'ensemble de la durée du projet (volume B, section 3.4). Les zones d'influence ont été cartographiées et superposées sur la carte de la végétation afin de calculer la superficie de chaque type d'habitat affecté. Les impacts potentiels sur la végétation sont examinés et évalués dans le volume B, section 4.1. Une évaluation qualitative des effets potentiels sur les espèces de faune, fondée sur les prévisions d'impacts résiduels sur la végétation, a été réalisée.

Introduction d'espèces exotiques et envahissantes et changements microclimatiques

Bien que des cas soient connus à Madagascar (voir les exemples dans Goodman et Benstead 2003), les taux d'invasion d'espèces exotiques et envahissantes ainsi que l'influence des changements microclimatiques sur la faune et les habitats ne sont pas connus pour ce système. Les effets de lisière particuliers ne peuvent donc pas être quantifiés directement.

L'évaluation des impacts dus aux effets de lisière a supposé que ces effets se produisent sur une distance donnée à partir de toute lisière d'origine anthropique. Une zone tampon de 100 m a été ajoutée autour de toutes les installations de la mine et des infrastructures connexes et la superficie de chaque type d'habitat dans cette zone tampon a été calculée afin de déterminer les impacts. Une largeur de zone tampon de 100 m a été utilisée en se fondant sur la distance médiane des impacts rapportés pour divers écosystèmes (par ex., des centaines à milliers de mètres pour les espèces envahissantes [Brocke et al. 1990 cité dans Forman 1995]; et pour les effets microclimatiques : jusqu'à 50 m [Turton et Siegenthaler 2001]). Une évaluation qualitative des impacts sur les espèces fréquentant tous ces habitats affectés a été réalisée. La superficie de chaque habitat qui subit des impacts par ces effets de lisière s'ajoute aux pertes directes d'habitat et doit être prise en compte avec les pertes dues aux autres effets indirects.

Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation sont les mêmes que pour la perte directe d'habitat (voir tableau 4.2-1).

Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation qui réduiront la perte indirecte d'habitat et l'altération dues à la perturbation sensorielle, à l'introduction d'espèces exotiques et envahissantes, aux effets de la poussière et aux changements microclimatiques dans le secteur local d'étude de la mine comprennent:

Eléments de conception

- pots d'échappement sur les véhicules pour réduire le bruit
- poste de pompage de pulpe aménagé à l'intérieur d'un bâtiment
- luminaires dirigés efficacement pour ne pas affecter les habitats voisins

Techniques d'atténuation

- contrôle des espèces végétales exotiques et envahissantes
- capture et suppression des rongeurs exotiques autour de la base vie et des autres bâtiments
- réduction de la poussière par un arrosage régulier des routes

Réhabilitation et fermeture

- arrêt de l'exploitation et revégétalisation avec des espèces natives qui élimineront la perturbation sensorielle et réduiront les effets de lisière

Analyse des impacts

Perturbation sensorielle

Les niveaux de bruit actuels varient entre 20 et 42 dBA, selon le lieu et l'heure (volume B, section 3.5, tableau 3.5-1). Les impacts dus au bruit du projet sur les habitats à l'extérieur de l'empreinte au sol de la mine sont présentés au tableau 4.2-5. Les principales sources de bruit comprennent la zone des groupes électrogènes, la zone du débourbeur, la circulation des camions, les pompes à eau de procédé et le front d'abattage de la mine (volume B, section 3.5). Globalement, les habitats azonaux, de transition, zonaux et des mares temporaires seront proportionnellement les plus affectés en terme d'impact par le bruit généré par les activités de la mine. Les habitats azonaux et de transition subiront le plus d'impacts (7,6 % et 14,2 %, respectivement) avec des niveaux de bruit dépassant 45 dBA, étant donné leur proximité du secteur de la mine. Les habitats des marais et de bordure de marais seront seulement affectés par des niveaux de bruit supérieurs aux niveaux de référence mais inférieurs à 45 dBA.

Les espèces les plus susceptibles d'être affectées par le bruit comprennent celles qui ont recours à la vocalisation pour la reproduction (par ex., les amphibiens, les oiseaux et les lémuriers) et les espèces craintives des zones où le bruit dépassera les niveaux de référence, ce qui comprend les zones de conservation du site. Si les niveaux de bruit interfèrent avec la capacité des individus à trouver un partenaire, des effets localisés pourraient avoir lieu sur la population avec le temps. Dans le cas des espèces rares, ces effets pourraient avoir une portée régionale ou supra-régionale.

Les espèces les plus susceptibles d'être affectées par la lumière comprennent celles qui sont attirées par la lumière (par ex. les papillons de nuit et les espèces insectivores telles que chauves-souris) et les espèces sensibles à la lumière (voir not. Elouard et al. 2003). Aucune des espèces de papillons de nuit recensées lors des inventaires n'est identifiée comme rare. Des mesures d'atténuation de la lumière aideront à réduire ces impacts et l'observation des espèces attirées par la lumière aidera à déterminer la portée des impacts et si des mesures d'atténuation additionnelles sont nécessaires.

Effets de la poussière

La superficie estimée de la propagation aérienne de poussière, dont la concentration excède les 20 microgrammes/m³ est de 1118 ha (5 % du secteur local d'étude de la mine) après déduction de tous les effets directs associés au défrichement du site. La valeur guide de 20 microgrammes/m³ a été adoptée en tant que mesure de prudence et elle est fondée en fonction des effets sur la végétation rapportés dans des études réalisées à l'étranger (pour une discussion complète, voir le volume B, section 4.1).

Les forêts zonales seront les plus affectées par la poussière, en terme d'étendue de propagation aérienne (853 ha; 4 % du secteur local d'étude de la mine). Cependant, une plus grande proportion des habitats azonaux (6 %; 77 ha) et de transition (12 %; 186 ha) subira un impact par la poussière. Tel que décrit au volume B, section 4.1, les plantes les plus sensibles aux effets de la poussière seraient celles qui poussent sur le tapis forestier et plus particulièrement les lichens, mousses et autres formes de vie qui tirent de l'air une partie de leurs besoins en humidité et en nutriments, comme les orchidées épiphytes. Ces plantes comprennent certaines espèces rares considérées comme spécifiques aux habitats azonaux et de transition.

Tableau 4.2-5 Impact (ha) sur les habitats associé au bruit généré par le projet dans le secteur local d'étude

Plage de niveau de bruit	Type d'habitat	Scénario de référence (ha)	Zone d'impact (ha)	Perte indirecte d'habitat (%)
>55 dBA ^(a)	azonal	1380	-32	-2,3
	de transition	1489	-61	-4,1
	zonal	12 527	-112	-0,9
	mares temporaires	5	0	0
	marais	1114	0	0
	bordure de marais	23	0	0
	rivière/eau	13	0	0
	autres ^(b)	6134	-1	-<0,1
45 à 55 dBA ^(c)	azonal	1380	-73	-5,3
	de transition	1489	-150	-10,1
	zonal	12 527	-350	-2,8
	mares temporaires	5	-<1	-1,6
	marais	1114	0	0
	bordure de marais	231	0	0
	rivière/eau	13	0	0
	autres ^(b)	6134	-1	-<0,1
total	azonal	1380	-105	-7,6
	de transition	1489	-211	-14,2
	zonal	12 527	-462	-3,7
	mares temporaires	5	-<1	-1,6
	marais	1114	0	0
	bordure de marais	231	0	0
	rivière/eau	13	0	0
	autres ^(b)	6134	-2	-<0,1

^(a) Niveaux de bruit supérieurs aux niveaux maximums des recommandations de la Banque mondiale pour l'exposition humaine (The World Bank Group 1999).

^(b) Inclut les pâturages, rizières, plantations d'eucalyptus, brûlis et villages.

^(c) Plage située entre les niveaux maximums pour le jour et pour la nuit de la Banque mondiale.

Selon les prévisions, la majeure partie de la poussière sera dispersée en dehors des zones de conservation de végétation azonale proposées. A Analamay, aucun dépôt de poussière n'est prévu dans la zone de conservation. Dans la zone de conservation d'Ambatovy, on prévoit que la poussière se disperse sur une superficie de 10 ha (10 % de la zone de conservation d'Ambatovy).

Introduction d'espèces exotiques et envahissantes et changements microclimatiques

Les principaux impacts potentiels résultant des effets de lisière associés à la construction et à l'exploitation de la mine affecteront les habitats azonaux, de transition et de mares temporaires, avec des pertes respectivement de 11,1 %, 11,6 % et 4,3 % (tableau 4.2-6). Les effets de lisière influenceront 255 ha d'habitats zonaux (2,0 %) et 455 ha d'habitats « autres ». Ces impacts s'ajoutent aux pertes directes dues au défrichement du site. Selon les prévisions, les habitats des marais et de bordure de marais ne subiront d'impact ni des espèces exotiques et envahissantes ni des changements microclimatiques dus à la création de lisières.

Tableau 4.2-6 Habitats (ha) situés à l'intérieur des 100 m de la zone d'effets de lisière du secteur local d'étude de la mine

Type d'habitat	Scénario de référence (ha)	Zone d'impact (ha)	Perte indirecte d'habitat (%)
azonal	1380	-153	-11,1
de transition	1489	-172	-11,6
zonal	12 527	-255	-2,0
mares temporaires	5	-<1	-4,3
marais	1114	0	0,0
bordure de marais	231	0	0,0
rivière/eau	13	0	0,0
autres ^(a)	6134	-455	-7,4
total	22 892	-1 034,8	-4,5

^(a) Inclut les pâturages, rizières, plantations d'eucalyptus, brûlis et villages.

Classification des impacts résiduels

Les impacts résiduels résultant des effets indirects sont présentés au tableau 4.2-7.

Perturbation sensorielle

Bruit

La conséquence sur l'environnement du bruit généré par le projet est négative et de niveau faible pour tous les habitats. La forêt de transition est le seul habitat qui connaîtra un impact d'intensité moyenne, d'après l'étendue de propagation aérienne des niveaux de bruit supérieurs à 45 dBA. Ces niveaux de bruit supérieurs à 45 dBA affecteront moins de 10 % de la superficie de chacun des autres habitats. Ces effets seront continus sur toute la durée de l'exploitation de la mine. La conséquence prévue sur l'environnement sera faible pour les espèces qui utilisent la vocalisation pour la reproduction ainsi que pour les espèces craintives, compte tenu que les effets du bruit seront prévus de faible intensité. Les effets prévus sur toutes les autres espèces sont neutres à négligeables. Tous les effets de bruit associés au projet seront supprimés à la fermeture de la mine.

Tableau 4.2-7 Classification des impacts résiduels sur la faune dus à la perte indirecte d'habitat

Taxon	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
enjeu: perturbation sensorielle – bruit							
habitat azonal	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
habitat de transition	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
habitat zonal	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
mares temporaires	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
marais	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
bordure de marais	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	élevée	faible
espèces utilisant la vocalisation pour la reproduction	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	faible	faible
espèces craintives	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	faible	faible
autres espèces	neutre à négative	négligeable	locale	moyen terme	réversible	faible	négligeable
enjeu: perturbation sensorielle – lumière							
espèces attirées par la lumière	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
espèces fuyant la lumière	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
autres espèces	neutre	s.o.	s.o.	s.o.	réversible	s.o.	s.o.
enjeu: poussière							
espèces dépendant de plantes rares et sensibles	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
herbivores	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
amphibiens	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
enjeu: espèces envahissantes et changements microclimatiques							
habitat azonal	négative	moyenne	locale	long terme	réversible	élevée	moyenne
habitat de transition	négative	moyenne	locale	long terme	réversible	élevée	moyenne
habitat zonal	négative	faible	locale	long terme	réversible	élevée	faible
mares temporaires	négative	faible	locale	long terme	réversible	élevée	faible
marais	neutre	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
bordure de marais	neutre	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
espèces des habitats azonaux et de transition	négative	moyenne	locale	long terme	réversible	élevée	moyenne
espèces des autres habitats	négative	faible	locale	long terme	réversible	élevée	faible

s.o. = sans objet.

Lumière

La conséquence prévue de la lumière sur l'environnement est faible si les mesures d'atténuation s'avèrent efficaces. Aucune des espèces de papillons de nuit recensées lors des inventaires n'est identifiée comme rare, si bien que les impacts sur ce groupe d'espèces seront probablement faibles.

Effets de la poussière

Les espèces de faune les plus affectées seraient celles qui dépendent d'espèces végétales rares et sensibles à la poussière, ainsi que les herbivores et les amphibiens se trouvant dans la zone d'influence. Cependant, comme la poussière n'infiltrera pas une grande superficie des zones de conservation du site, il est peu probable que les populations de plantes rares dans ces zones seront affectées négativement. Les impacts prévus sur la faune dépendante sont donc faibles. Les impacts prévus sur les populations d'herbivores et d'amphibiens sont aussi de niveau faible puisque l'étendue de propagation aérienne de poussière diffuse est faible à moyenne et que cet effet n'est pas continu en raison des pluies saisonnières.

Espèces envahissantes et changements microclimatiques

La conséquence sur l'environnement des effets de lisière dus à l'empiètement d'espèces envahissantes et aux changements microclimatiques est négative et d'un niveau moyen pour les habitats azonaux et de transition sachant que l'intensité de la perte d'habitat est moyenne; elle sera continue et de longue durée puisqu'elle se perpétuera jusqu'à la réhabilitation du site. Tous les autres habitats du secteur local d'étude de la mine subiront selon les prévisions une conséquence de niveau faible sur l'environnement puisque l'intensité de l'impact est faible, en raison de sa portée géographique. La conséquence prévue sur l'environnement pour la faune concernant les effets des espèces envahissantes et des changements microclimatiques est moyenne pour les animaux occupant les habitats azonaux et de transition du secteur local d'étude de la mine, et faible pour les animaux occupant les autres habitats.

Niveau de confiance des prévisions

Le niveau de confiance des prévisions sur l'étendue géographique des impacts associés au bruit et aux effets de lisière sur les habitats est moyen à élevé, car ces impacts ont fait l'objet d'une modélisation spatiale. Les impacts sur la faune dus à la poussière et à la lumière étant difficiles à prévoir, le niveau de confiance de ces prévisions est faible. Bien que les liens entre ces effets indirects et les impacts sur la faune soient bien connus, ces impacts sont difficilement transposables en changements dans les populations parce que la démographie des populations fauniques et les effets sur les espèces sont inconnus. Par conséquent,

le niveau de confiance des prévisions, concernant les impacts réels des effets indirects sur les différentes espèces de faune, est faible.

Surveillance

La surveillance des impacts indirects sera la même que pour les effets directs, mais l'information sera combinée à une surveillance périodique des niveaux de bruit et de poussière. De plus, les espèces attirées par la lumière feront l'objet d'observations périodiques.

Mortalité directe

Mortalité directe due au défrichement du site

Le défrichement de la végétation et l'enlèvement des sols pourraient tuer des animaux peu mobiles ou dont le domaine vital est restreint. Les animaux peu mobiles et les juvéniles, y compris ceux qui n'ont pas quitté le nid, sont particulièrement sujets à la mortalité suite au défrichement du site. Même si les oiseaux adultes peuvent s'envoler loin des sites perturbés, les oisillons sont vulnérables pendant le défrichement du site. Les lézards et les amphibiens peu mobiles, tout comme les petits mammifères, peuvent aussi être frappés par cette source de mortalité.

Faune occasionnant des nuisances

La faune occasionnant des nuisances est constituée d'espèces indésirables, et peut inclure des espèces natives ou exotiques. Les espèces exotiques sont considérées dans la section précédente sur les effets indirects. Les espèces préoccupantes sont ici les espèces natives qui seraient attirées par les installations de la mine (par ex., les carnivores et les rongeurs) et deviendraient un problème ou un danger devant être supprimé. Si des individus doivent être supprimés, cela peut affecter les populations locales de ces espèces notamment si leur fécondité est faible, voire les populations régionales si les espèces sont peu fécondes et rares.

Interaction entre la faune et les infrastructures

Deux principaux éléments des installations peuvent affecter la faune : les structures et les bassins. Les impacts des autres infrastructures telles que les routes ont été traités à propos des obstacles au mouvement, des changements dans la chasse et la cueillette et des collisions accrues véhicule-faune. Les bassins de confinement pourraient potentiellement piéger des animaux et entraîner leur mort si les bords ou les fonds sont meubles.

Collisions véhicule-faune

Pratiquement toutes les espèces de faune sont sujettes à la mortalité routière. Ce sujet a été traité dans plusieurs revues de littérature (voir not. Jalkotzy et al. 1997; Australian Rainforest - Rainforest CRC 2004) et constitue une préoccupation majeure pour la plupart des opérations. La mortalité routière peut causer un déclin des populations locales, mais ces effets sont propres à chaque site en fonction des espèces et des circonstances (par ex., le type de route, le volume du trafic). Des ouvrages de franchissement ont été utilisés avec succès par diverses espèces dans des habitats variés (passages souterrains ou ponceaux : herpétofaune, petits mammifères, carnivores [Goosem et al. 2001, Taylor et Goldingay 2001]; ponts de corde: petits mammifères (dans le nord de l'Australie, y compris les systèmes tropicaux [par ex., Goosem et Marsh 1997, Weston 2003])).

Des effets saisonniers sont rapportés dans le cas de l'herpétofaune. Dans un environnement tropical, de plus grands impacts sont rapportés pendant la saison des pluies, alors que les amphibiens ont une tendance accrue à traverser des routes qui deviennent inhospitalières en saison sèche.

La mortalité routière est difficile à quantifier, et seule une fraction des mortalités est signalée (Kelsall et Simpson 1987). Souvent, les mortalités sont dispersées sur plusieurs kilomètres le long d'un réseau routier complexe et les carcasses des petits mammifères et des oiseaux tués sur la route sont souvent éliminées rapidement. Les fréquences de mortalité routière sont souvent fonction de certains lieux spécifiques, du volume et de la vitesse du trafic (par ex., les amphibiens et le volume de circulation routière - Mazerolle 2004 ; lieux spécifiques - Izumi 2001). Par conséquent, la sensibilisation du personnel du projet Ambatovy ainsi que la signalisation des limites de vitesse et des points de franchissement de la faune pourraient atténuer certains des problèmes potentiels.

Chasse et cueillette

Les nouvelles voies d'accès (par ex., les routes et les pistes) créent de nouvelles opportunités pour l'humain d'utiliser une zone auparavant moins accessible. Un accès accru peut entraîner une hausse de la mortalité attribuable aux chasseurs et aux braconniers (Brody et Pelton 1989; McLellan 1988). Plusieurs des espèces clés identifiées dans le cadre du projet Ambatovy sont chassées pour la nourriture (par ex., les grandes espèces de Lémuriens) ou capturées pour l'exportation (grenouilles *Mantella*, geckos *Phelsuma*).

Méthodologie d'évaluation

La portée géographique (ha) du défrichement du site a été déterminée comme pour la perte directe d'habitat. Les impacts sur la faune sont traités de façon qualitative.

Les effets suivants ne pouvant être quantifiés, une évaluation qualitative a été réalisée pour la faune occasionnant des nuisances, les interactions avec les infrastructures, les collisions véhicule-faune, la chasse et la cueillette.

Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation sont les mêmes que pour la perte directe d'habitat (voir tableau 4.2-1).

Mesures d'atténuation

Eléments de conception

- ouvrages de franchissement: ponceaux sous les routes (herpétofaune, petits mammifères) et ponts de corde au-dessus des routes (Lémuriens, herpétofaune arboricole et petits mammifères).

Techniques d'atténuation

- relocalisation d'espèces de faune clés avant le défrichement du site
- portail d'entrée du site de la mine sera surveillé
- restriction de la circulation de véhicules aux routes et aires de travail désignées
- signalisation et limites de vitesse
- interdiction des animaux de compagnie dans le secteur de la mine
- élaboration d'un plan de gestion des déchets
- piégeage et suppression des rongeurs exotiques à proximité de la base vie et des autres bâtiments
- programme de sensibilisation des travailleurs
- programme de sensibilisation du public, particulièrement dans les zones de conservation sur le site
- interdiction de la chasse sur le site

Réhabilitation et fermeture

- démantèlement et réhabilitation des infrastructures, y compris les routes, à la fermeture de la mine

Analyse des impacts

Défrichement du site

Les activités du projet Ambatovy entraîneront le défrichement et la perturbation d'un maximum de 1801 ha. Les habitats subissant le plus d'impacts sont les habitats azonaux, de transition et de mares temporaires (voir tableau 4.2-2) ; les espèces occupant ces habitats ont donc un risque de mortalité plus élevé. Dans le cas des espèces de Lémuriens, le nombre d'individus susceptibles d'être tués ou déplacés à cause du défrichement du site a été estimé en fonction des estimations de densité calculées à partir des inventaires de référence (volume J, annexe 2.1), tel que présenté au tableau 4.2-8. Les résultats sont basés sur le défrichement de 1300 ha de forêt primaire. Toute la forêt zonale et 40 à 50 % des forêts azonale et de transition incluses dans les 1700 ha de forêt à défricher ont déjà été perturbées. Comme les densités de Lémuriens sont vraisemblablement plus faibles dans les zones les plus fortement perturbées, cette estimation de la mortalité et des déplacements est prudente. Avant le défrichement du site, des tentatives de capture et de relocalisation seront entreprises sur des individus des plus grandes espèces, qui se laissent facilement capturer et qui n'ont pas fui devant les perturbations. Les petites espèces nocturnes subiront le plus d'impacts car elles restent dans leurs trous dans les arbres pendant la journée et sont difficiles à capturer.

Tableau 4.2-8 Impacts potentiels sur les populations de Lémuriens dus au défrichement du site

Espèce	Population concernée ^(a)	Impact potentiel	Statut UICN
<i>Avahi laniger</i>	142	mort /déplacement	quasi-menacé
<i>Cheirogaleus major</i>	254	mort /déplacement	aucun
<i>Eulemur fulvus</i>	89	déplacement	quasi-menacé
<i>Eulemur rubriventer</i>	inconnue ^(b)	déplacement	vulnérable
<i>Haplemur griseus</i>	77	déplacement	quasi-menacé
<i>Indri indri</i>	25	déplacement	en danger
<i>Lepilemur sp.</i>	inconnue ^(b)	mort /déplacement	quasi-menacé
<i>Microcebus rufus</i>	2 066	mort /déplacement	aucun
<i>Propithecus diadema</i>	37	déplacement	en danger critique d'extinction

^(a) Valeurs basées sur le défrichement de 13 km² de forêt primaire. Toute la forêt zonale et 40 à 50 % des forêts azonale et de transition à l'intérieur des 1 700 ha de forêt à défricher ont déjà été perturbées, et l'estimation de l'impact potentiel est donc prudente.

^(b) Les estimations de densité de *Lepilemur mustelinus* et *Eulemur rubriventer* n'ont pas été calculées en raison du nombre insuffisant d'observations de ces espèces.

Classification des impacts résiduels

Les impacts résiduels résultant des effets indirects sont présentés au tableau 4.2-9.

Tableau 4.2-9 Classification des impacts résiduels sur la faune dus à la mortalité directe

Taxon	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
enjeu: mortalité directe due au défrichement du site							
espèces rares	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	faible	faible
espèces peu mobiles ou sessiles	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	faible	faible
espèces à vaste aire de répartition	négative	moyenne	régionale	moyen terme	réversible	moyenne	moyenne
autres espèces	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	faible	faible
enjeu: faune occasionnant des nuisances							
espèces natives	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
autres espèces	neutre	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
enjeu: interaction entre la faune et les infrastructures							
espèces mobiles	négative	négligeable	locale	moyen terme	réversible	moyenne	négligeable
enjeu: Collisions véhicule-faune							
espèces terrestres rares	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
espèces terrestres peu mobiles	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
espèces à vaste aire de répartition	négative	faible	régionale	moyen terme	réversible	moyenne	moyenne
autres espèces	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
enjeu: chasse et cueillette							
espèces rares	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
autres espèces chassées ou cueillies	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
espèces à vaste aire de répartition	négative	faible	régionale	moyen terme	réversible	moyenne	moyenne
autres espèces	neutre	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.

s.o. = sans objet.

Défrichement du site

Les impacts de mortalité directe dus au défrichement du site affecteront particulièrement les animaux lents ou immobiles, incluant les juvéniles et les espèces rares ou localement endémiques peu abondantes. Pour toutes les espèces

sauf celles à vaste aire de répartition, la conséquence sur l'environnement est faible, l'intensité est moyenne, les effets sont locaux et la durée est de moyen terme, en raison des effets qui se produisent sur toute la vie de la mine. Les effets sont réversibles si les populations restantes peuvent compenser leurs pertes en prenant en compte la faible fréquence d'occurrence du défrichement du site qui ne se produit qu'une fois dans une zone donnée. Ces impacts seront réduits par des mesures d'atténuation qui incluent la translocation de certaines espèces clés avant la construction et l'établissement de zones de conservation sur le site.

Faune occasionnant des nuisances

Avec des mesures d'atténuation efficaces, les impacts devraient être faibles.

Interaction avec les infrastructures

Des interactions entre la faune et les infrastructures devraient se produire, mais l'impact de tels dangers est difficile à prévoir parce que les chiffres à ce sujet sont peu disponibles ou souvent incomplets (Berger 1995).

Collisions véhicule-faune

Les collisions véhicule-faune devraient être les plus nombreuses dans les zones connaissant les volumes de trafic les plus élevés ou continus et dans les habitats de grande qualité. Les volumes de trafic sont prévus être les plus élevés sur les routes de transport de minerai. Par ailleurs, le projet Ambatovy entraînera une augmentation du trafic de véhicules dans les environs, à l'extérieur du secteur local d'étude (volume B, section 5.5).

L'intensité des impacts sera vraisemblablement plus forte pour les espèces terrestres peu mobiles car la plupart sont à risque, et pour les espèces rares ou à faible fécondité car les pertes d'individus pourraient probablement affecter les populations. La conséquence sur l'environnement, toutefois, sera plus élevée pour les espèces à vaste aire de répartition car les effets pourraient entraîner des impacts sur les populations régionales. Pour toutes les espèces affectées, l'impact sera de durée moyenne car les effets s'étendront sur toute la vie de la mine. Ces effets sont réversibles si les populations restantes peuvent compenser les pertes et si la fréquence de ces effets est moyenne avec des pertes qui se produisent de façon intermittente. Des mesures d'atténuation, comprenant des ouvrages de franchissement, la sensibilisation des travailleurs, des limites de vitesse et une signalisation, réduiront l'intensité de ces impacts (c.-à-d., les taux de collision). Une surveillance des mesures d'atténuation déterminera si des ajustements sont nécessaires.

Chasse et cueillette

Il est difficile de prévoir avec certitude l'intensité de cet impact. Avec des mesures d'atténuation efficaces, particulièrement la sensibilisation des travailleurs et du public, les impacts devraient être faibles. Ici aussi, la conséquence sur l'environnement pourrait être plus élevée pour les espèces à vaste aire de répartition si les populations régionales sont affectées.

Niveau de confiance des prévisions

Le niveau de confiance des prévisions sur la mortalité directe est moyen pour les raisons suivantes:

- Même si les effets relatifs peuvent être facilement évalués, il est plus difficile de déterminer la conséquence sur l'environnement de ces effets parce que la démographie des populations fauniques et l'intensité des effets sur les populations sont bien moins connues.
- La portée géographique des effets sur les espèces localement endémiques et les espèces rares est connue concernant les impacts directs, mais incertaine pour les effets indirects.

Surveillance

Une surveillance sera mise en place afin d'aider à déterminer si les mesures d'atténuation sont efficaces ou si des ajustements sont nécessaires. Le promoteur mettra en oeuvre un programme de surveillance de la faune comprenant:

- Un registre d'observation de la faune pendant la construction et l'exploitation en cas d'observations fortuites. Toutes les espèces enlevées avant et pendant le défrichement ou l'exploitation (c.-à-d., faune occasionnant des nuisances) seront recensées. Les travailleurs seront incités à signaler leurs observations de la faune (visuelles, de cris, de traces) notamment celles des espèces clés).
- Le comportement des conducteurs de véhicules sera surveillé, tant pour des questions de sécurité que de protection de la faune. Toutes les pistes d'animaux utilisées régulièrement et traversant les routes d'accès seront identifiées par la mise en place de signalisation.
- Les ouvrages de franchissement seront surveillés afin d'identifier les espèces qui les empruntent et la fréquence d'utilisation. Les ouvrages seront ajustés au besoin en fonction de ces observations.
- Les pièges et collets trouvés dans les environs à l'occasion de la surveillance seront relevés et enlevés.

Conclusions

La construction de la mine aura un impact élevé sur les habitats fauniques des forêts zonales et de transition, y compris les habitats aquatiques. Tel que mentionné dans le cas de la flore, ceci est dû à la relation directe entre ces types de végétation et les gisements. Les zones de conservation d'habitat azonal sur le site et hors-site permettront respectivement d'atténuer et de compenser à la fois les impacts directs et indirects sur ces habitats. Un ensemble de mesures d'atténuation sera utilisé afin de réduire la mortalité directe de la faune pendant la construction et l'exploitation. Une surveillance appropriée sera mise en place pour assurer que toutes les mesures d'atténuation sont efficaces ou, dans le cas contraire, pour les améliorer.

4.2.4.3 Question clé F-2: Quel effet le projet aura-t-il sur le mouvement des espèces de faune ?

Liens d'impacts potentiels

Fragmentation

La fragmentation de l'habitat est un autre effet direct du défrichement du site. Elle se produit quand de vastes étendues d'habitat continu sont fragmentées en îlots plus petits et plus isolés (Meffe et Carroll 1994). Pour la plupart des espèces de faune, des îlots d'habitat petits et dispersés sont considérés de moindre qualité que des étendues continues et de plus grande superficie. Le processus de fragmentation résulte souvent en des fragments d'habitat discontinus comportant une forte proportion de périmètre ouvert. La fragmentation augmente ainsi la surface de lisières d'habitat, réduit la proportion d'habitat intérieur et accroît la distance entre les îlots d'habitat.

Les effets indirects de la création de lisières peuvent contribuer aux impacts dus à la fragmentation. La lisière forestière diffère de l'intérieur de la forêt aussi bien dans ses caractéristiques microclimatiques que biotiques (voir la section sur la perte indirecte d'habitat de la question clé F-1). Certains changements dus à la fragmentation peuvent être positifs (par ex., les papillons sont plus abondants dans les clairières s'il existe un habitat adéquat). Cependant, la fragmentation a un effet négatif sur les espèces qui ont besoin de vastes étendues d'habitat (par ex., les espèces de l'intérieur des forêts et les espèces craintives).

La construction de routes est un facteur majeur de la fragmentation des habitats forestiers (Reed et al. 1996). Les autres perturbations qui entraînent la fragmentation comprennent le défrichement de la forêt aux fins de développement, la coupe à blanc et la construction d'emprises (par ex., les pipelines et les corridors d'utilité).

Obstacles au mouvement

Les déplacements de la faune peuvent être affectés par la création d'obstacles physiques ou psychologiques au mouvement (par ex. les routes et installations). Ces barrières peuvent entraîner indirectement une perte d'habitat en empêchant les animaux d'avoir accès à l'habitat. Des perturbations larges (par ex., les infrastructures du projet Ambatovy) ou étroites telles que les corridors linéaires (par ex., les routes et les lignes de transmission électrique) peuvent affecter les déplacements de la faune. Les obstacles au mouvement peuvent aussi être le résultat d'activités associées aux phases de construction et d'exploitation.

L'obstruction des corridors de déplacement et de dispersion de la faune préoccupe de plus en plus les biologistes de la conservation et le public. Les corridors fauniques facilitent le mouvement des animaux entre les plus grands îlots d'habitat (Soule 1991). Avec l'augmentation des pressions dues au développement et la fragmentation de l'habitat, les espèces sont souvent confinées à des îlots d'habitat. Si des populations isolées ne peuvent plus interagir, leur diversité génétique peut diminuer, entraînant une réduction générale de l'adaptabilité de la population régionale. Ces effets peuvent ne pas être immédiatement perceptibles. La connectivité entre les îlots d'habitat au sein du paysage est donc importante à préserver.

La perturbation des corridors naturels de déplacement peut avoir d'autres effets. La faune a besoin de se déplacer d'un habitat à l'autre sur une base journalière ou saisonnière. Ce déplacement est souvent associé à une recherche de lieux d'alimentation, de nidification, de mise bas ou de repos adéquates. Les déplacements sur de longues distances peuvent être entrepris pour trouver un partenaire, pour s'assurer d'un domaine vital ou l'agrandir, ou pour s'adapter aux changements saisonniers de la nourriture et de la température. Pour certaines espèces (par ex., les Lémuriens), les déplacements sur de longues distances sont essentiels au maintien de la variabilité génétique sur de grandes étendues.

L'objectif de la planification des corridors fauniques est de permettre une mobilité suffisante entre les îlots d'habitat afin que les espèces puissent persister dans la région. Ces corridors doivent permettre des déplacements journaliers, saisonniers, annuels et/ou de dispersion. Dans le contexte du projet Ambatovy, les corridors peuvent aussi accélérer la recolonisation des habitats restaurés et assurer la connectivité avec les zones de conservation résiduelles et le corridor de conservation Mantadia-Zahamena. Il existe peu d'information sur la façon de concevoir des corridors pour différentes espèces. Cependant, Beier et Loe (1992) affirment que les corridors devant servir de voies de dispersion aux espèces doivent remplir cinq fonctions:

- permettre aux animaux à habitat étendu de se déplacer, de migrer et de s'accoupler

- permettre la propagation des plantes
- permettre les échanges génétiques
- permettre aux populations de se déplacer suite à des catastrophes naturelles
- permettre aux individus de recoloniser les habitats dont les populations ont été extirpées localement

Le projet Ambatovy empêchera progressivement la plupart des animaux d'utiliser l'empreinte au sol du projet pour leurs déplacements jusqu'à ce que le terrain soit réhabilité. D'autres installations telles que les routes d'accès et les lignes de transmission électrique, de même que les perturbations sensorielles, pourraient constituer des obstacles partiels pour certaines espèces. Il est cependant important de remarquer que le projet Ambatovy sera aménagé par étapes et que toutes les activités prévues ne seront pas simultanées.

Méthodologie d'évaluation

Fragmentation

Les analyses de la fragmentation de l'habitat ont été réalisées dans le cadre de l'évaluation sur la biodiversité (volume B, section 4.4); ces méthodologies sont résumées ici. Quatre indices ont été générés afin d'identifier les changements dans la composition et la structure du paysage ainsi que les changements dans la connectivité du paysage entre le scénario de référence et le scénario d'impact. Le nombre d'îlots, leur superficie et la lisière totale ont servi à évaluer les changements dans la composition et la structure du paysage. La distance moyenne au plus proche voisin a servi à évaluer les changements dans la connectivité du paysage.

Quatre analyses de la fragmentation ont été réalisées afin de décrire la composition et la configuration (ou le découpage) actuelles des îlots d'habitat naturels et perturbés (classes de paysage) dans le secteur de la mine:

- types d'habitat terrestres et de zone humide
- zones forestières par opposition à non forestières
- zones perturbées par opposition à non perturbées
- type de perturbation

L'étude a supposé que la plupart des espèces préfèrent de vastes étendues continues d'habitat ou un paysage « interconnecté », ce qui se traduit par des îlots moins nombreux mais plus étendus et des distances au plus proche voisin

réduites. Les évaluations se basaient sur l'examen des changements de tous les indices, entre le scénario de référence et le scénario d'impact. En règle générale, la fragmentation est considérée comme un facteur négatif si les changements des indices correspondent à des îlots plus nombreux, plus petits, et à des distances au plus proche voisin accrues. Une évaluation qualitative des impacts sur le mouvement de la faune, dus à la fragmentation de l'habitat, a été réalisée.

Obstacles au mouvement

Pour évaluer les impacts dus aux obstacles aux mouvements de la faune créés par le projet Ambatovy, la longueur des lisières d'origine anthropique a été calculée. La lisière totale provient des analyses de la fragmentation (volume B, section 4.4).

Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation sont les mêmes que pour la perte directe d'habitat (voir tableau 4.2-1).

Mesures d'atténuation

Eléments de conception

- Incorporation au plan de la mine d'une zone tampon viable incluant l'habitat azonal (qui sera expressément protégé) afin de maintenir la connectivité entre les grandes zones d'habitat faunique et favoriser la recolonisation des sites réhabilités.
- Maintien de la connectivité entre les zones de conservation sur le site et le corridor de conservation Mantadia-Zahamena.
- Ouvrages de franchissement tout le long des routes de la mine afin de préserver la connectivité entre les îlots d'habitat et vers les zones de conservation : sous la route pour la faune terrestre et ponts de corde pour la faune arboricole.

Techniques d'atténuation

- Le promoteur jouera un rôle actif dans la gestion forestière communautaire et la planification régionale des ressources.
- Les secteurs de la mine seront exploités et réhabilités au fur et à mesure pendant la durée de l'exploitation.
- Pendant la construction de la conduite d'eau à partir de la rivière Mangoro, les tranchées ouvertes seront limitées à de courtes sections et à une brève durée afin de piéger un minimum d'animaux. Les animaux tombés dans les tranchées seront capturés et relâchés.

Réhabilitation et fermeture

- Collaboration avec les planificateurs régionaux afin de réhabiliter les zones perturbées autour des eaux d'amont du bassin de Torotorofotsy. L'augmentation de la couverture forestière dans ce secteur facilitera le mouvement de la faune entre les zones de conservation d'Ambatovy et d'Analamay et jusqu'au corridor de conservation Mantadia-Zahamena.
- Revégétalisation avec des espèces natives.
- Collaboration avec les autres groupes d'intérêt en appui aux initiatives dans le marais de Torotorofotsy et le corridor forestier Mantadia-Zahamena afin de réduire les autres causes de perte d'habitat et de fragmentation dans le secteur local d'étude.

Analyse des impacts

Fragmentation

Les résultats relatifs à tous les indices de mesure pour chaque classe sont présentés dans la section de l'EIE sur la biodiversité (volume B, section 4.4). La configuration et la distribution des habitats des forêts azonales et de transition seront les plus altérées dans le secteur local d'étude de la mine. La construction entraînera la division des quelques grands îlots contigus en fragments plus petits. Bien que les distances moyennes au plus proche voisin diminuent, ceci est dû à la perte d'habitat qui entraîne une distribution plus dense des îlots restants. Cependant, ces îlots restent connectés aux forêts zonales à l'est, maintenant la connectivité pour des espèces telles que les Lémuriens qui utilisent les divers habitats forestiers.

Le changement dans les paramètres de paysages des mares temporaires reflète une perte directe d'habitat; les quelques îlots plus petits qui restent, se situent majoritairement dans les zones de conservation du site et présentent donc une distribution plus dense que le scénario de référence. La forêt zonale est également fragmentée, mais à un degré moindre que les habitats azonaux et de transition. Ceci est le résultat d'une distribution beaucoup plus large de ce type d'habitat dans le secteur local d'étude. Les activités de la mine ont aucun impact sur les habitats des marais et de bordure de marais.

Les habitats forestiers et les non perturbés sont aussi tous les deux affectés négativement par la fragmentation due au projet. Au moment de l'impact, ces habitats seront constitués d'îlots plus nombreux et plus petits. La distance entre les îlots est plus grande dans les habitats non perturbés, ce qui suggère que ces îlots sont moins bien connectés. Cependant, la connectivité est généralement préservée entre les habitats forestiers du côté est de la mine, y compris entre les

zones de conservation du site jusqu'au corridor forestier Mantadia-Zahamena. Le reboisement au niveau des eaux d'amont du bassin de Torotorofotsy améliorera encore la connectivité entre la zone de conservation d'Ambatovy et le principal corridor forestier.

Le promoteur s'est engagé à maintenir la connectivité entre les habitats primaires dans les secteurs de la mine et le corridor forestier Mantadia-Zahamena. Avec des mesures d'atténuation efficaces (voir plus haut) les impacts de la fragmentation sur les populations fauniques suite au défrichement du site devraient être faibles.

Obstacles au mouvement

La lisière totale résultant des activités du projet augmentera de 13,3 %, soit de 580 km à 657 km. La création de lisières artificielles, combinée à la perturbation sensorielle, créera des obstacles au mouvement de la faune dans ces zones. Si les obstacles empêchent les animaux de se disperser ou de s'accoupler, les impacts sur les espèces touchées pourraient affecter les attributs génétiques et démographiques de ces populations. Des mesures d'atténuation comprenant des zones de conservation sur le site, le maintien de corridors forestiers dans l'empreinte au sol de la mine et autour de celle-ci, la réhabilitation progressive et des ouvrages de franchissement pour la faune, réduiront l'intensité de ces impacts.

Classification des impacts résiduels

Fragmentation

La configuration et la distribution des forêts azonales et de transition seront les plus altérées parce que le défrichement du site divisera les complexes azonaux d'Ambatovy et Analamay en îlots plus petits et plus isolés (volume B, section 4.4). Les effets de la fragmentation sur l'étendue des habitats ont des conséquences sur l'environnement variant de faibles à élevées, en fonction de l'habitat spécifique (tableau 4.2-10). Les effets seront à long terme étant donné que les habitats ne seront restaurés qu'après la fermeture. Cependant, des mesures d'atténuation telles que des ouvrages de franchissement et la réhabilitation post-fermeture réduiront les effets de la fragmentation des habitats.

Les impacts prévus sur la faune seront les plus grands pour les espèces de l'intérieur de la forêt, particulièrement celles des habitats azonaux et de transition, et pour les espèces à vaste aire de répartition (tableau 4.2-10). Avec des mesures d'atténuation efficaces comprenant des zones de conservation sur le site, une réhabilitation progressive ainsi que le maintien et l'amélioration des corridors forestiers, l'intensité des impacts sur la faune est prévue de niveau faible.

Tableau 4.2-10 Classification des impacts résiduels sur la faune dus à la fragmentation de l'habitat et aux obstacles au mouvement

Taxon	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
enjeu: fragmentation							
habitats	négative	faible à forte	locale	long terme	réversible	élevée	faible pour la plupart des habitats; élevée pour les habitats azonaux
espèces à vaste aire de répartition	négative	faible	régionale	long terme	réversible	élevée	moyenne
espèces de l'intérieur de la forêt	négative	faible	locale	long terme	réversible	élevée	faible
autres espèces	négative	négligeable	locale	long terme	réversible	élevée	négligeable
enjeu: obstacles au mouvement							
espèces à vaste aire de répartition	négative	faible	régionale	long terme	réversible	élevée	moyenne
espèces craintives	négative	faible	locale	long terme	réversible	élevée	faible
autres espèces	négative	faible	locale	long terme	réversible	élevée	faible

Obstacles au mouvement

Les obstacles au mouvement prévus auront une conséquence sur l'environnement faible à moyenne pour les espèces craintives et les espèces non volantes à vaste étendue de répartition (tableau 4.2-10). Pour ces dernières, même si l'intensité des impacts est prévue faible, ces impacts peuvent être de portée régionale si la population s'étend au-delà du secteur local et si ses capacités de dispersion et d'accouplement se détériore. La durée des impacts est à long terme pour toutes les espèces affectées, puisque les effets dureront jusqu'à la restauration des habitats. Les effets sont réversibles si les populations restantes peuvent compenser les pertes, et leur fréquence est élevée parce que les obstacles sont présents de manière continue. Des mesures d'atténuation comprenant des ouvrages de franchissement pour la faune et des mesures d'atténuation du bruit réduiront l'intensité de ces impacts.

Niveau de confiance des prévisions

Le niveau de confiance des prévisions relatives aux changements dans les indices de mesure du paysage dus à la fragmentation est moyen à élevé car ces impacts ont fait l'objet d'une analyse spatiale. Cependant, il est plus difficile de

déterminer la conséquence réelle sur l'environnement faunique à cause des connaissances limitées sur l'écologie des espèces. Le niveau de confiance des prévisions sur les effets fauniques est moyen.

Surveillance

La composition, l'abondance et la distribution des espèces clés feront l'objet d'une surveillance dans les environs de la mine, particulièrement dans les zones de conservation sur le site, dans le cadre du programme global de surveillance de la faune. De plus, la surveillance des ouvrages de franchissement, décrite plus haut, examinera l'enjeu de la connectivité sur le site de la mine et aux alentours.

Conclusions

Les habitats les plus fragmentés à cause du projet Ambatovy sont les habitats azonaux et de transition. Comme la connectivité entre ces habitats et les forêts zonales sera maintenue, les impacts sur les espèces qui occupent une variété d'habitats forestiers seront réduits.

Les impacts sur les mouvements de la faune dus à la fragmentation et aux obstacles au mouvement associés à la construction et à l'exploitation de la mine seront plus élevés pour les espèces de l'intérieur de la forêt et les espèces à vaste aire de répartition. Cependant, les impacts résiduels devraient être faibles car le promoteur s'est engagé à maintenir et à rétablir la connectivité des corridors forestiers dans l'empreinte au sol de la mine et autour de celle-ci, de même qu'entre les zones de conservation sur le site et le corridor de conservation Mantadia-Zahamena, dans le cadre d'initiatives de planification régionale.

4.2.4.4 Question clé F-3: Quel effet le projet aura-t-il sur la santé de la faune ?

Liens d'impacts potentiels

Les impacts potentiels du projet Ambatovy sur la santé de la faune ont été évalués qualitativement en examinant les deux points suivants:

- les changements de la qualité de l'air et sur la santé de la faune
- les changements de la qualité de l'eau et sur la santé de la faune

Qualité de l'air

L'absorption de contaminants présents dans l'air par inhalation est généralement considérée comme mineure dans le cas de la faune, en comparaison à

l'absorption à travers la chaîne alimentaire. Les amphibiens peuvent aussi être exposés aux contaminants atmosphériques par la peau et à la suite de changements dans le milieu aquatique. Les émissions des groupes électrogènes au diesel et des véhicules miniers rejettent dans l'environnement des contaminants, principalement des oxydes de soufre, des oxydes d'azote et des matières particulaires.

Qualité de l'eau

Une augmentation des concentrations des paramètres de la qualité de l'eau peut avoir sur la faune des effets sub-létaux à toxiques, directs ou indirects, après ingestion de plantes ou de proies (USEPA 2005).

Méthodologie d'évaluation

Qualité de l'air

Peu d'information est disponible sur les effets des contaminants atmosphériques sur la faune, et ce, pour tous les types d'habitat (OMS 2000). L'Organisation mondiale de la santé (OMS) ne fournit pas non plus de recommandations sur les contaminants atmosphériques applicables à la faune terrestre. Par conséquent, l'évaluation faunique a utilisé les recommandations de l'OMS pour la végétation puisqu'il y a un lien direct entre la faune et l'habitat. Les impacts potentiels sont évalués de façon qualitative.

La dispersion d'oxydes d'azote (NO_x) et de dioxyde de soufre (SO_2) a été modélisée pour le secteur de la mine, d'après les émissions produites par les groupes électrogènes diesel et les véhicules miniers (volume B, section 3.4). Les isoplèthes correspondant aux courbes de concentrations maximales prévues de NO_x et SO_2 ont été superposées sur les cartes d'habitat afin de déterminer l'étendue géographique dans chaque type d'habitat. La valeur guide sur la concentration minimale annuelle de NO_x pour la végétation est de 30 microgrammes/ m^3 (OMS 2000). Les valeurs guides sur le SO_2 pour la végétation sont de 10 microgrammes/ m^3 pour les lichens et 20 microgrammes/ m^3 pour les plantes vasculaires (OMS 2000).

Les concentrations moyennes annuelles sont les plus pertinentes pour l'évaluation du potentiel de risque chronique sur la santé de la faune sachant que ces valeurs représentent les concentrations moyennes à long terme auxquelles la faune peut être exposée régulièrement dans le secteur local d'étude. Les concentrations à court terme de substances chimiques peuvent seulement être atteintes pendant une heure ou une journée au cours de l'année et ne permettent donc pas de prévoir l'exposition effective de la faune sur l'année.

Qualité de l'eau

L'information fournie par l'évaluation de la qualité de l'eau (volume B, section 3.9) a aidé à évaluer les impacts potentiels sur la faune dans le secteur local d'étude de la mine. Les directives de qualité pour l'eau de boisson pour les humains (OMS 2004) et les écosystèmes aquatiques (Department of Water Affairs and Forestry 1996) fournissent des lignes directrices générales pour la faune. Cependant, certaines espèces passant par une forme larvaire aquatique (par ex., les amphibiens) peuvent être plus sensibles à une augmentation de la concentration en métaux lourds comme le cadmium (Herkovits et al. 1997). Une évaluation qualitative sur les espèces de faune sensibles est donc présentée. Les impacts de la qualité de l'eau sur la faune aquatique, incluant les poissons, sont traités dans les sections Santé humaine et écologique (volume B, section 5.4) et, Poissons et ressources aquatiques (volume B, section 4.3).

Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation sont les mêmes que pour la perte directe d'habitat (voir tableau 4.2-1).

Mesures d'atténuation

Le promoteur a intégré de nombreuses mesures d'atténuation dans la conception du projet Ambatovy afin de réduire les impacts dus aux émissions atmosphériques et aux rejets d'eau. Celles-ci sont décrites dans les sections sur la qualité de l'air et de l'eau (volume B, sections 3.4 et 3.9).

Analyse des impacts

Qualité de l'air

NO_x

Après déduction de tous les effets directs associés au défrichement du site, 3876 ha (17 %) du secteur local d'étude de la mine se situent à l'intérieur de l'isoplèthe des NO_x qui dépasse la valeur guide de l'OMS pour la végétation, soit 30 microgrammes/m³ (OMS 2000). Selon les prévisions, les NO_x seront dispersés sur 2551 ha de forêt zonale, 337 ha d'habitat azonal et 798 ha d'habitat de transition, incluant les mares temporaires dans ces zones.

Toute la zone de conservation d'Analamay se trouve dans une zone de dispersion des NO_x de 30 microgrammes/m³ ou plus; la majeure partie de cette aire (92 %) se situant dans une zone dépassant 60 microgrammes/m³ de NO_x. Plus de la moitié (57 %) de la zone de conservation d'Ambatovy se trouve dans une zone de dispersion des NO_x de 30 microgrammes/m³ ou plus. Un total de 64 ha (31 %) de

cette zone de conservation se situe dans une zone dépassant 60 microgrammes/m³ de NO_x. Il faut cependant remarquer que la modélisation a été effectuée pour l'année où la mine atteint son développement maximal et avec l'utilisation la plus intensive de l'équipement, alors qu'en réalité les activités minières procèdent par étapes sur plusieurs années avec une utilisation variable de l'équipement.

SO₂

L'étendue prévue de la propagation aérienne du SO₂ de la mine d'une concentration supérieure à 10 microgrammes/m³ est de 3111 ha (soit 14 % du secteur d'étude de la mine), excluant tous les effets directs liés au défrichement du site. La valeur guide tient compte des espèces végétales les plus sensibles et représente donc une évaluation prudente.

Le SO₂ est prévu de se disperser sur 2 206 ha de forêt zonale, 325 ha d'habitat azonal et 683 ha d'habitat de transition, incluant les mares temporaires dans ces zones.

Toute la zone de conservation d'Analamay se trouve dans une zone de dispersion de SO₂ de 10 microgrammes/m³ ou plus, et 15 % de cette aire se situe dans une zone dépassant 30 microgrammes/m³ de SO₂. Près de la moitié (48 %) de la zone de conservation d'Ambatovy se trouve dans une zone de dispersion de SO₂ de 10 microgrammes/m³ ou plus, mais à peine 3 % se situe dans une zone dépassant 30 microgrammes/m³ de SO₂. Comme dans le cas des NO_x, il faut remarquer que la modélisation a été effectuée pour l'année où la mine atteint son développement maximal et avec l'utilisation la plus intensive de l'équipement, alors qu'en réalité les activités minières procèdent par étapes sur plusieurs années avec une utilisation variable de l'équipement.

Qualité de l'eau

D'après les résultats de l'évaluation de la qualité de l'eau (volume B, section 3.9), les concentrations prévues de chrome dans les bassins versants environnants pendant la phase d'exploitation dépasseront les recommandations sud-africaines sur la qualité de l'eau pour les écosystèmes aquatiques, y compris le marais de Torotorofotsy. Le cadmium, le chrome, le plomb et le zinc pourraient aussi dépasser légèrement ces recommandations dans d'autres zones humides locales pendant l'exploitation. Bien que les niveaux de concentrations prévues de métaux lourds émis par le site de la mine dans les systèmes aquatiques seront faibles pendant la phase d'exploitation, (c.-à-d., inférieures aux directives OMS de qualité pour l'eau de boisson [OMS 2004]), certaines concentrations sont supérieures aux recommandations concernant les écosystèmes aquatiques (Ministère des eaux et forêts 1996; voir aussi le volume

B, section 4.1). Il faut cependant remarquer que dans certains cas, les concentrations de référence dépassent déjà ces recommandations.

4.2.4.5 Classification des impacts résiduels

Les résultats de la classification des impacts résiduels sur la santé de la faune sont présentés au tableau 4.2-11.

Tableau 4.2-11 Classification des impacts résiduels sur la santé de la faune

Taxon	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
enjeu: qualité de l'air							
espèces dépendantes de plantes rares et sensibles	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
amphibiens	négative	faible	locale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
autres espèces	négative	négligeable	locale	moyen terme	réversible	moyenne	négligeable
enjeu: qualité de l'eau							
amphibiens	négative	faible	locale à supra-régionale	moyen terme	réversible	moyenne	faible
autres espèces	négative	négligeable	locale	moyen terme	réversible	moyenne	négligeable

Qualité de l'air

Malgré les mesures d'atténuation, les activités de construction et d'exploitation de la mine pourraient entraîner des changements négatifs dans la végétation, y compris dans les zones de conservation sur le site. Les espèces de faune les plus susceptibles d'être affectées comprennent celles qui dépendent de plantes rares et sensibles dans les habitats azonaux et de transition, ainsi que les amphibiens sensibles aux substances chimiques atmosphériques et aux effets potentiels d'acidification des milieux aquatiques. Comme les impacts prévus sur la végétation sont faibles (volume B, section 4.1), y compris dans les zones de conservation sur le site, les impacts sur la faune dépendante devraient aussi être faibles (tableau 4.2-11). Les impacts des émissions atmosphériques sur les amphibiens devraient être faibles pendant la saison sèche et négligeables en saison des pluies. L'impact des émissions atmosphériques sur la faune est réversible puisque les expositions dues au projet Ambatovy cesseront lors de la fermeture.

Qualité de l'eau

Une concentration accrue en métaux lourds dans l'eau peut avoir un effet négatif sur le développement larvaire des amphibiens, entraînant une croissance réduite ou des malformations. Il y a aussi un potentiel de bioaccumulation de ces substances chimiques dans les tissus des végétaux des zones humides (volume B, section 4.1) et d'ingestion par les espèces herbivores, qui peuvent à leur tour devenir la proie d'autres espèces. Même si les paramètres de qualité de l'eau peuvent dépasser les recommandations sud-africaines, particulièrement dans le cas du chrome, les concentrations se situent en deçà des recommandations sur l'eau de boisson (volume B, section 3.9). Par conséquent, les concentrations seront probablement trop faibles pour avoir un effet néfaste. Ces effets seront de portée locale et seront présents de façon continue sur la durée du projet. Les changements dans la qualité de l'eau devraient donc avoir une conséquence sur l'environnement faible pour les amphibiens et négligeable pour les autres espèces.

Niveau de confiance des prévisions

Le niveau de confiance des prévisions d'impacts potentiels sur la santé de la faune résultant de changements dans la qualité de l'air et de l'eau est moyen. Selon les prévisions, les paramètres de qualité de l'eau modélisés seront bien en deçà des recommandations pour l'eau de boisson. La principale source d'incertitude est le manque d'information dans la littérature au sujet des effets de ces substances sur la faune.

Surveillance

Le promoteur s'est engagé à maintenir une surveillance des milieux abiotique et biotique, particulièrement dans les zones de conservation sur le site. La surveillance de la qualité de l'eau sera menée pendant toute la durée du projet afin de s'assurer que les mesures de contrôle de l'opération sont efficaces et de réduire les impacts sur les concentrations en aval. Des résumés des mesures de contrôle de la qualité de l'air et de l'eau spécifiques au projet sont présentés dans les sections sur la qualité de l'air (volume B, section 3.4) et de l'eau (volume B, section 3.9). Une surveillance périodique de la faune dans les zones de conservation, incluant des inventaires des amphibiens, permettra d'observer la santé des populations et de s'assurer que les mesures de contrôle d'exploitation protègent les zones adjacentes.

Conclusions

Les impacts prévus des changements de la qualité de l'air et de l'eau sur la santé de la faune sont négligeables à faibles. Des augmentations des concentrations de

certaines métaux lourds sont prévues dans le secteur de la mine, mais elles demeurent inférieures aux directives sur l'eau de boisson et n'ont pas d'effet négatif prévu sur les populations fauniques. Les sources de contaminants dans l'eau seront surveillées avec un équipement mobile entretenu de façon à s'assurer que les concentrations ambiantes n'aient pas d'effets néfastes. De plus, les populations d'amphibiens, en tant qu'autre indicateur de performance supplémentaire, seront suivies en même temps que la végétation et les paramètres des environnements abiotiques afin de connaître la santé des systèmes naturels.

4.3 POISSONS ET RESSOURCES AQUATIQUES

4.3.1 Introduction

Cette section présente l'évaluation environnementale portant sur les effets de la mine sur les poissons et les ressources aquatiques. Plus spécifiquement, elle s'intéresse aux communautés de poissons, aux macroinvertébrés du milieu aquatique et à l'habitat, conformément aux Termes de référence pour le projet Ambatovy (le projet).

Cette section de l'étude d'impact environnemental (EIE) comporte en premier lieu un résumé des résultats de l'étude de référence et des enjeux qui en découlent, suivi en deuxième lieu de l'évaluation des impacts en tant que tel. Les détails de l'étude de référence des ressources aquatiques se trouvent dans le volume J, annexe 3.1, pièces jointes 1, 2 et 3.

4.3.2 Secteur d'étude

Le secteur local d'étude principal de la mine, en ce qui concerne les poissons et les ressources aquatiques, se situe à l'intérieur du secteur d'étude du milieu aquatique (volume A, figure 7.2-1) et comprend les bassins versants drainant les gisements de minerai, certaines parties du marais de Torotorofotsy, de même que la conduite d'eau douce proposée qui va de la rivière Mangoro au site de la mine.

4.3.3 Résumé de l'étude de référence

4.3.3.1 Introduction

Le secteur d'étude de la mine a fait l'objet en 1997 d'un inventaire de reconnaissance visant à déterminer les taxons des poissons. En 1998, un échantillonnage saisonnier limité des poissons, des invertébrés et des macrophytes du milieu aquatique a été réalisé (volume J, annexe 3.1, pièce jointe 3). On y a aussi relevé les caractéristiques générales des habitats. Les programmes de 2004 et de 2005 ont étendu l'échantillonnage à de nouveaux emplacements, couvrant la saison sèche et la saison des pluies. Ils portaient sur les communautés de poissons et d'invertébrés aquatiques et sur les caractéristiques de l'habitat aquatique (volume J, annexe 3.1, pièces jointes 1 et 2).

4.3.3.2 Méthodologie

Les principaux objectifs du programme d'échantillonnage dans le secteur local d'étude de la mine étaient:

- de cartographier et de décrire les ressources aquatiques des plans et des cours d'eau du secteur d'étude
- d'inventorier les communautés aquatiques afin de déterminer la richesse en espèces, la diversité, la distribution, l'abondance relative et les habitats clés des poissons et des macroinvertébrés
- de documenter la présence d'espèces endémiques ou répertoriées et d'identifier les enjeux potentiels de conservation
- de décrire l'utilisation locale des poissons à des fins commerciales et traditionnelles

Étant donné que les gisements du projet reposent en général sur un haut plateau et sur la ligne de partage des eaux, les eaux d'amont de plusieurs bassins versants proviennent du secteur local d'étude de la mine. On a choisi les points d'échantillonnage dans chacun des bassins hydrographiques susceptibles de subir les effets des activités reliées à l'exploitation de la mine. Le choix s'est fondé sur la représentativité (les sites comprenaient les types d'habitats les plus répandus pour un secteur donné du cours d'eau), la proximité aux stations de suivi de la qualité de l'eau et des paramètres hydrologiques. Dix emplacements, dont 4 mares temporaires et 6 cours d'eau ou rivières, ont été échantillonnés au cours de l'inventaire de reconnaissance de 1998. Les inventaires détaillés de 2004-2005 ont couvert 19 emplacements, dont 16 correspondaient à des cours d'eau ou rivières (y compris l'un des points d'échantillonnage de 1998) et 3 dans des mares temporaires (y compris l'un de 1998) (volume J, annexe 3.1, pièce jointe 1, figure 1).

Habitat aquatique

Deux démarches différentes ont servi à établir les caractéristiques qualitatives et quantitatives de l'habitat. On a tout d'abord procédé à une caractérisation détaillée de l'habitat de chacun des sites en recueillant des données sur les cours d'eau; comme la largeur du lit, sa profondeur, le débit d'écoulement, le type de substrat dominant et de couvert offrant des abris. La qualité de l'eau a également été évaluée à chacun des sites : le pH, les matières totales dissoutes (MTD), la température et l'oxygène dissous. Un modèle d'évaluation intermédiaire de l'intégrité des habitats – ci-après nommé EIIH – (*Intermediate Habitat Integrity Assessment, IHIA*, dans Kemper, 1999) a ensuite été employé pour décrire et quantifier les attributs des habitats.

Echantillonnage des poissons

Les poissons ont été prélevés à l'aide d'une variété de techniques permettant d'échantillonner tous les types d'habitats abritant les espèces résidentes. La pêche à l'électricité, la senne et le filet maillant étaient les principales méthodes utilisées. On a aussi employé des éperviers en eau plus profonde au cours de l'inventaire de 1998 et pour prélever des poissons de consommation en 2005 afin d'en déterminer les concentrations en contaminants. À l'exception des spécimens de référence conservés pour identification ou vérification, tous les autres poissons ont été relâchés en vie après qu'on en ait enregistré les données de base quant au cycle biologique (c.-à-d. la taille, le poids, etc.). Les gens du Département de Biologie de l'Université d'Antananarivo ont effectué une identification préliminaire au niveau de l'espèce. La confirmation de ces identifications se déroule en ce moment à l'American Museum of Natural History et au New York Aquarium. Il faut donc considérer comme provisoires, dans le texte qui suit, les évaluations fondées sur l'identité des espèces.

Echantillonnage des macroinvertébrés

Les macroinvertébrés aquatiques ont été prélevés selon des méthodes quantitative (USEPA 1998) et qualitative (Dickens et Graham 2002) afin d'obtenir de l'information sur les communautés de tous les habitats. Les échantillons représentatifs ont été préservés dans de l'éthanol à 90% pour identification ultérieure. L'identification des macroinvertébrés s'est faite au niveau des familles ou des genres. Comme dans le cas des poissons, l'identification préliminaire a été réalisée par le personnel du Département de Biologie de l'Université d'Antananarivo et on attend en ce moment que des experts confirment ces identifications et établissent le nom des espèces.

Au cours de la saison sèche, on a prélevé des échantillons de périphyton (une algue benthique); ces derniers ont été conservés pour analyse future.

Utilisation des ressources

L'information concernant la pêche artisanale pratiquée dans le secteur du projet a été rassemblée au cours des travaux de terrain lorsque l'occasion se présentait, par des observations ou par des conversations avec des habitants, sur les lieux mêmes de l'échantillonnage.

Revue de l'information et analyse des données

Plusieurs sources ont été consultées pour établir le présent rapport: la littérature, publiée ou non, sur l'ichtyofaune d'eau douce et les écosystèmes aquatiques de Madagascar et de la région du projet, les rapports sur l'état de la conservation des

pêcheries artisanales, de même que des experts de la région. Des techniques d'analyse multivariable ont servi à traiter l'ensemble des données de terrain concernant la communauté de poissons et de macroinvertébrés. De manière similaire, les indices de richesse en espèces, de diversité et de régularité pour les deux groupes d'organismes ont été calculés afin de caractériser la composition de la communauté.

4.3.3.3 Résultats

Milieu aquatique

De façon générale, les cours d'eau de premier ordre du secteur d'étude de la mine sont peu profonds et présentent de faibles débits d'écoulement. Seuls quelques sites (des rivières plus larges) comportent des habitats en profondeur. Le pH, typique des plans d'eau de la région d'Ambatovy, va de légèrement acide (5,3) à neutre (7,3). Les types de substrats les plus communs se composent d'argile/silt (limon), de gravier/galets ou de particules fines/matière organique. Les couverts du cours d'eau varient selon les lieux et l'état de l'habitat, mais sont le plus souvent des débris ligneux (petits et grands), des feuilles et des berges en surplomb.

Si l'on se base sur la classification qualitative et quantitative de l'EIIH, près de 50 % des emplacements du secteur local d'étude sont à l'état naturel ou en grande partie inchangés (classes A et B, voir le tableau 4.3-1 et la figure 4.3-1). La majorité des emplacements naturels, non perturbés, se trouvent dans les zones amont des bassins versants drainant le secteur de la mine (cours d'eau de premier, second et troisième ordre).

Au sein du marais de Torotorofotsy (sept emplacements étudiés), les habitats aquatiques présentaient généralement d'importantes perturbations et la dégradation ou la perte de fonctions écologiques naturelles (EIIH classes D, E et F). Seulement deux emplacements situés sur de petits affluents demeuraient à l'état naturel, non perturbé.

Tableau 4.3-1 Caractéristiques de l'habitat aux emplacements d'échantillonnage des cours d'eau du secteur local d'étude de la mine

Emplacement	Classe ^(a) EIIH	Description de l'habitat
QESF101 ^T	D	Généralement modifié. Perte d'habitat naturel, de biote et de fonction écologique de l'écosystème. La modification du lit causée par le déboisement et la présence de poissons exotiques constitue la principale menace.
QESF103 ^T	D	Généralement modifié; semblable à l'emplacement précédent.
QESF104 ^T	A	Habitat non modifié. Déboisement minime au sein du bassin versant environnant. Envahissement des rives en certains endroits par des plantes aquatiques exotiques.
QESF105	A	Habitat non modifié. Déboisement minime au sein du bassin versant environnant.
QESF106	B	Généralement non modifié. Changements mineurs au sein de l'habitat naturel et du biote mais les fonctions écologiques de base de l'écosystème demeurent inchangées.
QESF107	F	Modifié de façon critique. L'aménagement de la zone humide adjacente en rizière a causé une modification du lit et du chenal du cours d'eau. Croissance de plantes exotiques dans le chenal du cours d'eau.
QESF108	E	Considérablement modifié. Perte de fonction écologique et de biote au sein de l'écosystème.
QESF109	A	Non modifié. Secteur occupé par la forêt primaire.
QESF110	A	Non modifié. Secteur occupé par la forêt primaire.
QESF111 ^T	F	Modifié de façon critique. Les impacts majeurs sont l'accroissement de la turbidité et de la sédimentation découlant du déboisement du bassin versant et de la création de barrages de bois en travers du cours d'eau.
QESF112 ^T	C	Moyennement modifié. Perte au sein de l'habitat naturel et du biote mais les fonctions écologiques de base de l'écosystème demeurent en grande partie inchangées (rivière de taille moyenne; exutoire du marais de Torotorofotsy)
QESF115	D	Perte d'habitat naturel, de biote et de fonction écologique à grande échelle (rivière Mangoro, de grande taille).
QESF117	A	Habitat non modifié. Envahissement des rives en certains endroits par des plantes aquatiques exotiques.
QESF123 ^T	A	Habitat naturel, non modifié.
QESF124 ^T	E	Considérablement modifié. Perte de fonction écologique et de biote au sein de l'écosystème.
QESF125	E	Modification considérable du lit, du chenal et du régime d'écoulement. Présence d'espèces exotiques de poissons. Végétation indigène entièrement remplacée par des espèces exotiques (large cours d'eau).
EPH1	n/a	Situé dans un secteur moyennement à fortement dégradé.
EPH2	A	Habitat non modifié. Aucun indice d'impact anthropique.
EPH3	A	Habitat non modifié. Impact anthropique limité.

^(a) Selon le modèle EIIH (*IHIA*, Kemper, 1999).

T Tributaire du marais de Torotorofotsy

n/a Non applicable.

Poissons

Les inventaires de 1998 et de 2004-2005 ont permis le prélèvement de 15 espèces de poissons dans le secteur local d'étude de la mine : 3 endémiques, 8 exotiques et 4 natives (voir le tableau 4.3-2). Il est possible qu'une quatrième espèce endémique, une nouvelle espèce de *Rheoclès* (*R. « Ambatovy »*), se trouve aussi dans le secteur local d'étude (communication personnelle de P. Loiselle, telle que citée dans Sparks et Stiassny, 2005).

Tableau 4.3-2 Espèces de poissons relevées dans le secteur local d'étude de la mine au cours des inventaires de 1998 et de 2004-2005

Famille	Espèce	Origine	Statut de conservation ^(a)	Statut UICN ^(b)
Anguillidae	<i>Anguilla mossambica</i>	N	S	nl
Atherinidae ^(c)	<i>Atherion sp.</i>	N	S	
Cyprinidae	<i>Carassius auratus</i>	I		
Gobiidae	<i>Chonophorus aeneofuscus</i>	N	S	nl
Gobiidae	<i>Glossogobius giuris</i>	N	S	nl
Anabantidae	<i>Ctenopoma ansorgii</i>	I		
Belontiidae	<i>Macropodus opercularis</i>	I		
Channidae	<i>Channa maculata</i> ^(e)	I		
Cichlidae	<i>Oreochromis niloticus</i>	I		
Cichlidae	<i>Tilapia zillii</i>	I		
Eleotridae	<i>Ratsirakia legendrei</i>	E	T	DI
Eleotridae	<i>Ratsirakia sp.</i>	E	nl	nl
Bedotiidae	<i>Rheoclès alaotrensis</i>	E	T	Vu
Bedotiidae	<i>Rheoclès « ambatovy »</i> ^(d)	E	nl	nl
Poeciliidae	<i>Xiphophorus maculatus</i>	I		
Poeciliidae	<i>Gambusia holbrooki</i>	I		

Notes : E = endémique, I = introduite, N = natif, S = en sécurité, T = menacé .

UICN : nl = non listée, DD = données insuffisantes, Vu = vulnérable.

(a) Sparks et Stiassny (2003).

(b) Liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) (2004).

(c) Relevée uniquement au cours de l'inventaire de 1998 (Sparks *et al.*, 1998).

(d) Pas encore confirmé.

(e) Identifié à tort comme *Ophicephalus striatus*.

Les inventaires saisonniers de 2004-2005 ont confirmé la présence de toutes les espèces relevées en 1998, à l'exception d'*Atherion* de la famille des *Atherinidae*. De façon générale, la diversité des espèces est faible et leur abondance moyenne. Les emplacements QESF112 et QESF125 montrent la plus grande diversité avec chacun sept espèces répertoriées. Bien qu'aucune relation claire ne se dessine

entre la diversité et les caractéristiques des habitats, il est possible que la grande diversité observée à ces deux emplacements soit associée à une hétérogénéité de l'habitat, elle-même créée par de fortes variations dans le couvert (QESF112) et dans la taille du chenal. QESF125, situé sur la rivière Sahaviara, et QESF115, sur la rivière Mangoro, sont les deux seuls emplacements « de grande rivière » échantillonnés. Aucune différence temporelle significative n'a été observée dans les associations d'espèces entre les débits de crue et les débits d'étiage. Cela indique qu'il ne se produit vraisemblablement que peu de déplacements saisonniers ou de migrations, du moins au sein des cours d'eau plus petits qui sont majoritaires dans le secteur d'étude.

Généralement, les espèces endémiques de poissons dominent dans les habitats non perturbés. On les retrouve dans plus de 60 % des sites. Au contraire, les espèces introduites comme *Anabantidae Ctenopoma ansorgii* et le *Poecelidae Xiphophorus maculatus* sont plus fréquentes dans les zones perturbées. En plus de la dégradation de l'habitat causée par le déboisement, les espèces endémiques doivent faire face à la concurrence d'espèces introduites, tout particulièrement du *Xiphophorus maculatus*. Inquiétante également est la présence de *Channa maculata* (channa tacheté, du nom local de fibata), notée seulement dans les deux rivières plus importantes échantillonnées dans le bassin de la Mangoro. Prédateur vorace, ce poisson introduit a eu un impact majeur sur les populations de poissons natifs de Madagascar (Sparks et Stiassny, 2003).

Tous les poissons relevés dans les cours d'eau sont des espèces relativement petites et peu utilisées pour la consommation. Toutefois, les zones marécageuses ou les plus gros plans d'eau d'aval peuvent contenir des populations de poissons importantes pour la pêche artisanale (c.-à-d. des espèces exotiques comme le *Tilapia*).

Macroinvertébrés aquatiques

L'inventaire de 2004-2005 a permis de relever dans le secteur local d'étude de la mine un total de 70 taxons de macroinvertébrés, en plus de confirmer la présence de tous les taxons répertoriés en 1998 (voir le tableau 4.3-3). Contrairement à l'ichtyofaune, les macroinvertébrés présentent une grande diversité et une forte abondance. Toutefois, à l'instar du cas des poissons, la diversité et l'abondance des macroinvertébrés sont généralement plus élevées pour les emplacements de forêt primaire non perturbée qu'aux emplacements déboisés. La richesse en espèces la plus élevée (51) a été observée au site QESF110, en forêt primaire non perturbée. Les mares temporaires ne contiennent aucun poisson mais renferment un assemblage unique et diversifié de macroinvertébrés et de plancton.

Tableau 4.3-3 Taxons d'invertébrés présents dans le secteur local d'étude de la mine – inventaire de 2004-2005

Ordre	Famille	Ordre	Famille
ARHYNCHOBDELLIDA	Hirudidae	GASTEROPODA ^(a)	Planorbidae
BASOMMATOPHORA	Physidae		Thiaridae
COLEOPTERA	Dryopidae	BIVALVIA	Sphaeriidae
	Dysticidae	HEMIPTERA	Aphelocheiridae
	Elmidae		Corixidae
	Gyrinidae		Gerridae
	Helophoridae		Mesoveliidae
	Hydraenidae		Naucoridae
	Hydrophilidae		Nepidae
DECAPODA	Astacidae		Notonectidae
	Atyidae		Veliidae
	Grapsidae	LEPIDOPTERA	Pyrilidae
	Palaemonidae	MEGALOPTERA	Sialidae
	Parastacidae	ODONATA	Aeshnidae
	Potamonautidae		Calopterygidae
DIPTERA	Athericidae		Coenagrionidae
	Ceratopogonidae		Corduliidae
	Chironomidae		Gomphidae
	Culicidae		Lestidae
	Dixidae		Libellulidae
	Empididae		Platycnemididae
	Simuliidae	OLIGOCHAETA	Lumbriculidae
	Tipulidae	PLECHOPTERA	Notonemouridae
EPHEMEROPTERA	Baetidae	TRICHOPTERA	Beraeidae
	Caenidae		Ecnomidae
	Ephemerellidae		Glossosomatidae
	Heptagenidae		Hydropsychidae
	Leptophlebiae		Hydroptilidae
	Oligoneuridae		Lepidostomatidae
	Polymitarcidae		Leptoceridae
	Prosopistomatidae		Philopotamidae
GASTEROPODA ^(a)	Bithyniidae		Polycentropodidae
	Bythinellidae		Psychomyiidae
	Hydrobiidae		Sericostomatidae
	Lymnaeidae	MERMITHOIDAE	Mermithidae

^(a) Gasteropoda constitue une classe.

Espèces endémiques et natives

Poissons

L'ichtyofaune du secteur local d'étude de la mine comporte quatre espèces de poissons endémiques : *Rheoclès alaotrensis*, *Ratsirakia legendrei*, une présumée nouvelle espèce de *Ratsirakia* jamais encore décrite, et ce que l'on croit être le *Rheoclès* « Ambatovy ». Ces espèces appartiennent à l'une des deux familles de poissons d'eau douce endémiques à Madagascar, les *Bedotiidae*, aussi appelés poissons arc-en-ciel malgaches et comprenant deux genres, *Bedotia* et *Rheoclès*.

Le *Rheoclès alaotrensis* a démontré une distribution relativement vaste et une abondance moyenne dans le secteur local d'étude de la mine. Il se trouvait dans 2 des 6 plans d'eau permanents échantillonnés en 1998 et dans 10 des 16 emplacements de 2004-2005. De façon générale on observe une grande abondance aux endroits de forêt primaire non perturbée (eaux claires et dénuées de silt) et une faible abondance dans les milieux déboisés ou modifiés.

L'espèce *Ratsirakia legendrei* apparaît elle aussi dans 2 des 6 plans d'eau permanents échantillonnés en 1998 et dans 10 des 16 points d'échantillonnage de 2004-2005. Elle est l'espèce endémique la plus abondante à la plupart des emplacements échantillonnés et présente souvent l'abondance relative la plus élevée parmi toutes les espèces prélevées. Aux emplacements en amont des rivières Ankaja et Sakalava, c'était la seule espèce présente durant l'inventaire de la saison des pluies. Dominante dans les habitats non perturbés, elle se retrouve fréquemment en association avec *R. alaotrensis*. Elle est de façon générale, toutefois, moins abondante aux endroits dominés par les espèces introduites *C. ansorgii* ou *X. maculatus*. Une espèce encore non identifiée de *Ratsiraka* a aussi été capturée dans le secteur local d'étude de la mine, en deux emplacements (QESF 109 – rivière Sakalava et QESF 104 – à l'embouchure d'un affluent de Torotorofotsy).

Quatre poissons natifs (*Anguilla mossambica*, *Chonophorus aeneofuscus*, *Glossogobius giurus* et *Atherion* sp.) ont de plus été relevés dans le secteur local d'étude de la mine. L'anguille native *Anguilla mossambica* a été capturée dans les eaux d'amont de Torotorofotsy et des rivières Ankaja et Sahamarirana, ce qui illustre sa considérable capacité de migrer à contre-courant (à partir de l'océan Indien).

Invertébrés aquatiques

Le secteur local d'étude abrite un grand nombre de taxons endémiques de macroinvertébrés aquatiques. Toutefois le niveau actuel d'identification limite la

description des taxons pour le présent rapport. Voici quelques-uns des groupes les plus importants:

Atyidae (crevettes d'eau douce). Elles présentent un fort taux d'endémisme (77 %), 26 espèces de quatre genres différents existant sur l'île (Raharivololoniaina 2004). Dans l'inventaire réalisé durant la saison des pluies dans le secteur local d'étude de la mine, elles constituaient les taxons du groupe 1 les plus abondants (selon l'analyse de similarité).

Plecoptera (perles). On n'en retrouve qu'une famille à Madagascar, dont un genre endémique (*Madenemura*). Elles vivent dans les cours d'eau et les rivières de petite taille à des altitudes de 750 m et plus, dans des eaux de température inférieure à 18 °C. Deux spécimens inconnus ont été recueillis durant la saison sèche dans le secteur de la mine, et un spécimen durant la saison des pluies.

Polymitarcyidae (éphémères communes). Elles sont représentées à Madagascar par un seul genre endémique, *Probosciodoplocia*, composé d'au moins sept espèces. Il s'agit de l'une des plus grosses éphémères au monde. Elles constituent les taxons les plus abondants du groupe IV (selon l'analyse de similarité) pour l'inventaire en période de crue. On les a relevées à deux emplacements en forêt naturelle dans le réseau hydrographique du gisement d'Analamay.

Odonata (libellules). Avec huit familles, les libellules sont très répandues dans le secteur local d'étude de la mine. Madagascar est l'une des quatre petites îles reconnues mondialement pour leur faune riche en *Odonata*. Le nombre d'espèces et de genres endémiques à Madagascar est remarquable. De 52 genres, 12 sont endémiques; de 181 espèces et sous-espèces répertoriées, 132 sont endémiques et la plupart sont concentrées dans les boisés de la côte est de l'île (Donnelly et Parr, 2003).

Habitats aquatiques uniques ou vulnérables

Le marais de Torotorofotsy et les mares temporaires qui se trouvent dans le secteur de la mine, ou qui y sont associés, constituent des habitats et des écosystèmes aquatiques uniques. Les cours d'eau d'amont, qui sont situés en forêt et drainent les gisements de minerai, renferment également des habitats importants à l'échelle locale.

Les mares temporaires des plateaux d'Ambatovy et d'Analamay sont des plans d'eau singuliers. Leur emplacement, sur la cuirasse ferrallitique, leur confère des propriétés hydrologiques particulières, ce qui en fait un habitat aquatique rare. Bien que ces mares n'abritent pas de poisson, elles procurent des conditions

exceptionnelles pour d'autres types de faune et de flore aquatiques, y compris les macroinvertébrés, le zooplancton et les macrophytes, qui dépendent de l'eau saisonnière comme habitat essentiel pour compléter leur cycle biologique. Les communautés d'invertébrés aquatiques identifiées dans ces mares se distinguent de façon notable des autres communautés trouvées dans le secteur local d'étude de la mine en ce qui a trait à la structure et à la composition en espèces.

Les cours d'eau et les rivières se trouvant dans l'empreinte de perturbation constituent les eaux d'amont de six bassins versants. Il s'agit en majorité de cours d'eau de premier et de second ordre, mais on y trouve également les secteurs supérieurs de rivières de troisième ordre. Plusieurs des cours d'eau de premier ordre se forment dans le secteur azonale, à partir de l'écoulement de surface saisonnier ou des eaux souterraines (sources), puis poursuivent leur chemin en tant que cours d'eau du second et du troisième ordre au sein de la forêt de transition et de la forêt zonale.

Les cours d'eau de premier ordre ayant à ce jour fait l'objet d'un inventaire ne semblent pas abriter de poissons à l'année longue. Ils soutiennent toutefois la vie d'espèces de macroinvertébrés aquatiques et d'algues périphytiques qui se sont adaptées au régime d'écoulement et à la morphologie des chenaux. Ils contribuent donc à la production de nourriture pour les consommateurs en aval. Il est possible que certaines de ces espèces n'aient jamais été décrites.

La plupart des cours d'eau de second et de troisième ordre du secteur de la mine constituent des refuges pour les populations d'espèces de poissons endémiques, indigènes, ou faisant partie de la liste de l'UICN (*Ratsirakia legendrei*, *Ratsirakia* sp. [non identifiée] et *Rheocleis alaotrensis*). Il s'y trouve juste quelques espèces exotiques, principalement dans les portions perturbées des bassins hydrographiques. On considère ces cours d'eau comme des habitats sensibles parce qu'il s'agit d'abord des eaux d'amont de la vaste région tout autour et ensuite, leur morphologie, leurs propriétés hydrauliques et les caractéristiques de leurs rives dépendent de la structure géologique du substrat et des particularités de la surface uniques aux forêts zonales et azonales de la région.

L'hydrographie du marais de Torotorofotsy joue un rôle important en ce qui a trait au maintien et à la régulation des niveaux d'eau et de la qualité de l'eau dans tout le réseau marécageux. Le marais de Torotorofotsy est un écosystème unique, à la fois à l'échelle régionale et à celle de Madagascar. On considère qu'il est un des écosystèmes le plus précieux de tout le secteur à l'étude en raison de sa fonction écologique et de la biodiversité qu'il abrite. Il a d'ailleurs récemment été déclaré site Ramsar (voir volume B, section 4.5).

Les caractéristiques écologiques et biologiques du marais de Torotorofotsy (diversité de l'habitat, continuité de l'habitat, habitats essentiels à la reproduction) sont sensibles aux variations du niveau d'eau et à la qualité de l'eau. Le marais de Torotorofotsy lui-même et les marais adjacents, particulièrement celui de Mokaranana, renferment des communautés de grande valeur en ce qui a trait à la faune de marécages d'altitude moyenne. Cette faune comprend une communauté diversifiée en espèces, résidentes et de passage, d'oiseaux, de poissons, d'invertébrés et de petits mammifères de marais. Des populations d'espèces endémiques importantes à l'échelle régionale (*Rheocles alaotrensis* ou *Ratsirakia legendrei*) sont présentes dans tous les emplacements échantillonnés ayant un lien avec le marais. Cependant, bien qu'unique et sensible, le marais de Torotorofotsy ne constitue pas un habitat à l'état naturel. On constate la présence de perturbations considérables de l'habitat en bordure de marais et dans les bassins versants (chemin de fer abandonné en travers de l'extrémité nord, exploitation forestière allant de modérée à lourde, bordure de marais dérangée par l'agriculture et les pâturages, dérivation des cours d'eau pour la production de riz). En conséquence, plusieurs espèces de poissons exotiques ont déjà envahi certaines portions du marais pour ensuite remonter les affluents du bassin versant.

4.3.4 Portée des enjeux

4.3.4.1 Enjeux et questions clés

Voici les principaux enjeux cernés quant aux impacts possibles du projet sur le biote aquatique et l'environnement du secteur de la mine:

- La construction de la mine et son exploitation risquent d'entraîner, comme conséquence à la destruction ou à la perturbation d'habitats aquatiques des cours d'eau et des zones humides, la perte (disparition ou extinction) d'espèces de poissons endémiques à l'échelle locale ou d'espèces importantes d'invertébrés aquatiques, de même que l'élimination de populations locales au sein de ces habitats.
- Le déboisement et les perturbations des écosystèmes des cours d'eau en forêt associés à l'implantation de la mine et des installations connexes peuvent causer une dégradation de la qualité de l'eau (sédimentation) et de l'habitat riverain (perte de certaines caractéristiques de l'habitat à l'intérieur du cours d'eau et de la nourriture provenant de la canopée végétative).
- La construction et l'exploitation de la mine, en transformant les caractéristiques hydrographiques des bassins versants, des cours d'eau et des zones humides, peuvent en modifier les cycles saisonniers (écoulement accru ou moindre vers les plans d'eau voisins) et ainsi

imposer un stress environnemental sur les fonctions essentielles de l'habitat et sur le déroulement du cycle biologique des poissons et du biote aquatique.

- Les changements dans la qualité de l'eau, associés à la construction et à l'exploitation de la mine, risquent d'influer sur l'abondance, la santé et la survie des poissons et de la faune aquatique endémiques, à la fois dans le secteur de la mine et dans les cours d'eau en aval, dont le marais de Torotorofotsy. Il s'agit de l'un des principaux enjeux soulevés au moment des consultations (volume A, section 6).
- La modification des habitats entraîne un risque accru que des espèces de poissons exotiques s'y établissent et que le biote endémique se déplace.
- La création dans le secteur du projet, ou aux alentours, de nouveaux accès aux cours d'eau et aux zones humides (ou l'amélioration des accès existants) risque de favoriser l'activité humaine, la pêche de poissons de consommation, la pêche commerciale et l'introduction d'espèces exotiques.
- La prise d'eau de la rivière Mangoro aura probablement comme conséquence l'entraînement, avec l'eau prélevée, de poissons et d'invertébrés, causant une mortalité locale et aussi la possibilité d'introduction d'espèces non indigènes vers les réseaux hydrographiques de l'est du secteur de la mine.
- Le prélèvement d'eau ainsi que la modification résultante des débits peut amener la perte d'habitats aquatiques au sein de la rivière Mangoro.
- La construction et l'exploitation de la mine, des installations de la zone de production et des structures connexes risquent d'avoir des effets sur la santé des poissons.
- La réhabilitation, ou la compensation, du biote et de l'habitat aquatiques réalisées après la fermeture de la mine seront-elles efficaces?

L'analyse qui suit traite de ces enjeux et de ces impacts en formulant une réponse aux questions clés suivantes:

Question clé FA-1	Quel effet le projet aura-t-il sur l'habitat aquatique?
Question clé FA-2	Quel effet le projet aura-t-il sur l'abondance du biote aquatique, la survie des espèces endémiques ou natives et la structure de la communauté?
Question clé FA-3	Quel effet le projet aura-t-il sur la pêche artisanale?

Les impacts aux ressources aquatiques peuvent se produire lors de la construction, de l'exploitation et de la fermeture de la mine et des installations connexes, tel qu'illustré au diagramme de liens (volume H, annexe 9).

4.3.4.2 Critères d'évaluation

Le biote aquatique d'importance pour le projet proposé comprend le poisson et les invertébrés (c.-à-d. le benthos, le zooplancton et le phytoplancton) faisant partie de l'écosystème aquatique du secteur de la mine. Par association, les habitats aquatiques dont ces organismes dépendent pour l'ensemble de leur cycle de vie constituent également des composantes essentielles de l'écosystème aquatique.

Il a été décidé aux fins de la présente étude, que ce soit pour l'évaluation des impacts ou la conception de mesures d'atténuation, de porter une attention particulière à certaines espèces clés, à des groupes d'espèces jugés importants et aux types d'habitats plus sensibles:

- les espèces de poissons endémiques
- les communautés de macroinvertébrés (comportant des espèces endémiques ou natives)
- les habitats des cours d'eau d'amont (cours d'eau de premier, deuxième et troisième ordre)
- les mares temporaires

Le tableau 4.3-4 dresse le sommaire des paramètres mesurables qui ont servi à l'étude des poissons et des ressources aquatiques. Comme l'information obtenue des études de référence, de la littérature ou des spécialistes de la région ne permettait pas toujours une évaluation quantitative, la présente étude comporte également des évaluations qualitatives basées sur le jugement professionnel.

Tableau 4.3-4 Eléments de l'écosystème, paramètres et critères d'évaluation ayant servi à l'étude des poissons et des ressources aquatiques

Question clé	Eléments de l'écosystème	Paramètres mesurables	Critères d'évaluation
effets sur la qualité et la survie de l'habitat aquatique	cours d'eau d'amont, mares temporaires, poissons endémiques, macroinvertébrés benthiques	<ul style="list-style-type: none"> - ordre du cours d'eau et portions exclues - nombre de mares et leur surface - débit d'écoulement et calcul de l'habitat des poissons en fonction de la surface estimée - type d'habitat pour la réhabilitation 	<ul style="list-style-type: none"> - perte nette de l'habitat des poissons - critères/directives en matière de qualité de l'eau et de sédiments en suspension - évaluation qualitative des changements imposés à long terme sur la structure communautaire du biote aquatique
effets sur l'abondance du biote aquatique, la survie des espèces endémiques et la structure de la communauté aquatique	poissons endémiques et natifs, macroinvertébrés benthiques	<ul style="list-style-type: none"> - diversité et structure au sein de la communauté des poissons et des invertébrés - résultats des études sur les caractéristiques physiques de l'habitat et la qualité du milieu aquatique - opérations de l'usine, prise d'eau, élimination des résidus miniers - possibilité de transfert des poissons et du biote; pressions exercées par la pêche/collecte 	<ul style="list-style-type: none"> - évaluation subjective de la durabilité de la ressource; jugement professionnel - situation quant à la conservation (UICN 2004 et listes publiées) - considérations relatives à la conception du grillage à l'entrée de la prise d'eau - recommandations pour la qualité de l'eau en vue de la protection de la vie aquatique (CCME 1999) - considérations relatives à la conception des franchissements de cours d'eau
effets sur la santé des poissons, ses caractéristiques et son utilisation	pêcheries artisanales	<ul style="list-style-type: none"> - qualité de l'eau de surface et prévisions - concentrations en métaux des les tissus des poissons (concentrations de référence) - prévisions quant à l'abondance des poissons 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Environment, Health and Safety Guidelines for Mining and Milling – Open Pit</i> de la Banque mondiale - valeurs recommandées dans la littérature - évaluation subjective et jugement professionnel

Il a aussi été fait grand usage des conclusions des études sur les eaux de surfaces, les eaux souterraines et la qualité de l'eau ainsi que des plans préliminaires des installations minières et connexes.

4.3.5 Question clé FA-1: Quel effet le projet aura-t-il sur l'habitat aquatique?

4.3.5.1 Liens d'impact

Que ce soit durant la construction, l'exploitation ou la fermeture du site minier, les activités qui s'y déroulent peuvent avoir un effet sur l'habitat aquatique. Celui-ci risque également de se voir perturbé par les services et les installations connexes, comme les franchissements de cours d'eau construits pour les voies

d'accès et la conduite d'approvisionnement en eau de la rivière Mangoro. Plus précisément, il est probable que surviennent des changements dans la disponibilité, la qualité ou la quantité de poissons et d'habitats aquatiques pour les raisons suivantes:

- défrichement des rives
- enlèvement complet ou perturbation de l'habitat aquatique d'un plan d'eau (cours d'eau ou mares)
- modifications à l'écoulement en aval
- changements dans la qualité de l'eau

Enlèvement de la végétation riveraine

L'enlèvement de la végétation riveraine et de la canopée forestière associée, de même que la perturbation de la zone riveraine, conduisent à une perte indirecte d'habitat aquatique. Des sources de nourriture terrestres se trouvent ainsi dégradées ou disparaissent et les changements limnologiques (par ex. la température de l'eau) et à la qualité de l'eau (comme la sédimentation) nuisent à la capacité du biote de survivre ou d'accomplir les fonctions critiques de son cycle de vie. La majeure partie de l'enlèvement de la végétation riveraine se produira durant la construction et l'expansion subséquente de la mine et se trouve directement associée à l'élimination des lits des cours d'eau et des mares (voir ci-dessous) du secteur local de la mine. La construction de la prise d'eau (rivière Mangoro) et des structures de franchissement de cours d'eau pour la conduite d'approvisionnement en eau perturbera également la zone riveraine.

Elimination et perturbation des lits de cours d'eau et des mares

L'assèchement et l'élimination des mares (temporaires et permanentes) et des cours d'eau existants constituent l'une des pertes d'habitats les plus graves car ces derniers disparaissent alors définitivement. Cela élimine la capacité du secteur de la mine de soutenir la vie des poissons et du biote aquatique. Ces pertes et perturbations se produiront durant la construction et l'exploitation de la mine, de même qu'au moment de la construction des voies d'accès et de la conduite d'approvisionnement en eau.

Modification de l'écoulement en aval

La construction et l'exploitation de la mine apporteront des modifications à l'écoulement des eaux souterraines et des eaux de surface. Les cours d'eau d'amont se trouveront perturbés et une partie de l'eau sera dérivée vers des bassins collecteurs du secteur de la mine. Il s'écoulera aussi davantage d'eau des zones perturbées, où il n'y aura plus de végétation. Il faudra gérer le rejet d'eau

dans les secteurs aval des bassins versants locaux. Ces rejets peuvent avoir un effet sur l'utilisation par les espèces de poisson et de macroinvertébrés des habitats en aval du site, que ce soit dans les cours d'eau ou les zones humides. Il est également possible que le prélèvement d'eau dans la rivière Mangoro cause un impact sur l'écoulement en aval de la prise d'eau, modifiant ainsi le nombre d'habitats et leur utilisation.

Changements dans la qualité de l'eau de surface

Des changements à la qualité des eaux de surface (c.-à-d. les sédiments, la température) vont se produire, conséquence directe du ruissellement se produisant sur les zones déboisées du secteur de la mine, de l'enlèvement de la végétation riveraine et de la gestion des eaux de surface (incluant les bassins collecteurs) faite au sein de l'empreinte de perturbation de la mine. Les travaux effectués en milieu aquatique au cours de la construction des installations connexes, de même que la qualité de l'air du secteur, ont aussi un effet sur la qualité de l'eau. Ces changements peuvent nuire directement ou indirectement au poisson et au biote aquatique ainsi qu'à la productivité de l'habitat aquatique.

4.3.5.2 Méthodes d'évaluation

Habitat riverain

On a supposé que les valeurs pour les rives défrichées au sein de l'empreinte de perturbation au sol de la mine étaient équivalentes aux valeurs linéaires obtenues par analyse des données du système d'information géographique (SIG) pour les cours d'eau de référence. Les données cartographiques et une liste des éventuels franchissements de cours d'eau ont servi à la détermination des surfaces des voies d'accès et des zones riveraines défrichées le long de la conduite d'approvisionnement en eau. La superficie de l'étendue de la végétation riveraine (c.-à-d. la largeur de chaque côté du lit des cours d'eau) n'a pas été calculée; l'évaluation qui en a été faite est considérée comme qualitative et très prudente. Une évaluation de l'intégrité de l'habitat, qui comprenait à la fois des critères relatifs à la zone riveraine et au milieu aquatique, a servi à la classification des perturbations existantes (volume J, annexe 3.1, pièce jointe 1).

Elimination des cours d'eau et des mares

La longueur totale de tous les cours d'eau, selon leur ordre, devant disparaître sous l'empreinte de perturbation au sol de la mine ou subir des perturbations (fragmentation ou écoulement directement modifié), a été déterminée à partir de mesures SIG. Une analyse similaire, basée sur des images Landsat et des données cartographiées, a également permis de calculer le nombre et la superficie des mares temporaires du secteur de la mine. On a ensuite circonscrit les types

d'habitat et leur intégrité, les espèces de poissons et les espèces d'invertébrés associées, tels que décrits dans l'étude de référence, pour procéder à l'examen des impacts. Des estimés des surfaces mouillées perdues (habitats aquatiques) ont été produits par extrapolation, en prenant les moyennes des mesures faites aux emplacements d'échantillonnage. Les données cartographiques et une liste des éventuels franchissements de cours d'eau ont servi à l'évaluation des perturbations et de la dégradation des habitats aquatiques le long de la conduite d'approvisionnement en eau.

Modification de l'écoulement en aval

Les modifications aux débits d'écoulement ont été estimées pour l'aval des six bassins versants du secteur de la mine, tels qu'ils sont décrits dans la section sur l'hydrologie (volume B, section 3.8). Les impacts sur les habitats aquatiques, les communautés de poissons et les espèces d'invertébrés aquatiques relevés dans le cadre de l'étude de référence ont fait l'objet d'une évaluation qualitative.

La préparation du minerai requiert le pompage d'eau de la rivière Mangoro. Les effets possibles ont été évalués de façon quantitative à partir des données de l'étude hydrologique, de l'information existante au sujet de l'écoulement dans les cours d'eau et de l'exercice du jugement professionnel.

Changements dans la qualité des eaux de surface

Les changements prévus, en ce qui a trait à la qualité de l'eau (volume B, section 3.9) et à l'hydrogéologie (volume B, section 3.7), ont été passés en revue pour les six bassins versants du secteur de la mine et les cours d'eau au voisinage des voies d'accès et de la conduite d'approvisionnement en eau. Les impacts sur les habitats aquatiques, les communautés de poissons et les espèces d'invertébrés aquatiques relevés dans le cadre de l'étude de référence ont fait l'objet d'une évaluation qualitative.

4.3.5.3 Critères d'évaluation

Le tableau 4.3-5 présente les critères descriptifs utilisés pour qualifier les impacts sur les poissons et les ressources aquatiques, et ce pour toutes les questions clés.

Tableau 4.3-5 Critères de description des impacts sur les poissons et les ressources aquatiques

Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence
impact positif , négligable ou neutre pour les résultats aux points finaux de mesure	négligable : pas d'effet mesurable sur le résultat au point final de mesure faible : variation < 10 % sur le résultat modérée : variation de 10 à 20 % sur le résultat forte : variation > 20 % dans le résultat	locale : effet restreint au secteur d'étude de la mine régionale : l'effet s'étend en dehors du secteur de la mine pour se faire ressentir dans le secteur régional d'étude supra- régionale : l'effet s'étend en dehors du secteur régional d'étude	court terme : < 3 ans moyen terme : de 3 à 30 ans long terme : > 30 ans	réversible ou irréversible	faible : se produit une fois moyenne : se produit par intermittence élevée : se produit continuellement

4.3.5.4 Mesures d'atténuation

Diverses mesures d'atténuation visent à limiter l'impact des pertes d'habitats, ou de leur dégradation, résultats du défrichage des rives, de l'élimination des cours d'eau et des mares, des changements dans l'hydrologie et dans la qualité de l'eau. Parmi ces mesures, on retrouve:

Eléments de conception

- L'empreinte au sol de la mine comportera deux aires protégées d'habitat forestier azonale, ce qui évitera une perte totale des habitats aquatiques sensibles. Le secteur d'Ambatovy contiendra six des huit mares temporaires conservées dans le secteur d'étude et offrira une protection à des secteurs de sept cours d'eau d'amont de premier ordre de la forêt de transition azonale. L'aire protégée d'Analamay permettra la conservation de cours d'eau d'amont de la forêt primaire près du bassin versant de Sakalava.
- Réduire au minimum les perturbations dues à la sédimentation et les impacts sur la qualité de l'eau du bassin versant de Torotorofotsy afin de protéger les habitats vulnérables des zones humides et maintenir les conditions actuelles de l'écosystème.
- Le plan de gestion des eaux de la mine prévoira des rejets à débit et à durée variables dans les cours d'eau afin de simuler les variations saisonnières et par conséquent maintenir les fonctions naturelles de l'écosystème et la biodiversité aquatique.
- Appliquer des plans écologiques et des directives concernant les franchissements de cours d'eau afin de limiter autant que possible la

quantité de sédiments, les travaux en milieu aquatique et la perturbation des habitats aquatiques et riverains.

- Travailler de très près avec les groupes d'intérêt afin que les initiatives prises concordent avec leurs propres plans de conservation à l'échelle régionale.

Réhabilitation

- A la fermeture, recréer le couvert forestier et l'habitat riverain le long des cours d'eau et des plans d'eau réhabilités du secteur de la mine.
- Revégétaliser immédiatement tous les habitats riverains perturbés aux endroits des routes et des franchissements de cours d'eau de la conduite d'approvisionnement en eau.
- Restaurer le réseau hydrographique du site et créer des plans d'eau (lacs résiduels) et des cours d'eau de connexion à la fin de l'exploitation de fosses.

Compensation

- Créer une aire de conservation azonale hors-site, comportant des mares et d'autres habitats aquatiques (volume B, section 4.1).

4.3.5.5 Résultats

Perturbation des rives, des chenaux et des mares

Zone de perturbation de la mine

L'empreinte de perturbation au sol de la mine entraînera la perte physique des habitats des cours d'eau et des habitats riverains. La plupart sont des habitats de cours d'eau d'amont de forêt azonale et de forêt de transition.

Pendant la construction de la mine, les cours d'eau et les mares temporaires à l'intérieur de six bassins versants seront directement perturbés par l'élimination de chenaux ou d'écoulements. Pour ce qui est des secteurs immédiatement en aval du bassin versant, ils seront gravement perturbés, quoique indirectement, en raison de la dérivation de la majeure partie du débit de référence. Le tableau 4.3-6 résume l'étendue de la perte et du déplacement des cours d'eau et des mares temporaires.

Le projet de mine supprimera un total estimé de 76,0 km de chenaux, équivalent à 10,5 ha d'habitat aquatique (surface mouillée des cours d'eau). Cela représente environ 45 % de la longueur des lits de cours d'eau du secteur local de la mine, comprenant les bassins versants des rivières de Torotorofotsy, de Sahamarirana,

d'Antsahalava, d'Ankaja et de Sakalava. Les cours d'eau d'amont de premier ordre, qui constituent 76 % de tous les cours d'eau, subiront l'impact du niveau le plus élevé dans le secteur de perturbation immédiat, avec une perte directe de 49,0 km de chenaux (surface mouillée estimée de 2,9 ha) et probablement une perte similaire, quoique non quantifiée, d'habitat riverain tampon. Plusieurs de ces cours d'eau n'hébergent aucune population de poissons en raison des limitations de l'habitat (forts gradients, barrières au mouvement, écoulements saisonniers, faibles profondeurs, etc.). Ils abritent cependant diverses espèces ou communautés, non décrites ici, de macroinvertébrés et de flore (algues, périphyton) aquatiques. Ces cours d'eau constituent donc une source de nourriture (aquatique et terrestre) pour les communautés de poissons et d'invertébrés vivant en aval. Ils produisent également un effet important sur la qualité de l'habitat aquatique d'aval par leur apport en eau et certaines caractéristiques physiques ou chimiques (c.-à-d. la température de l'eau, l'oxygène, les sédiments et les nutriments).

Les perturbations affecteront aussi les cours d'eau de deuxième ordre, supprimant directement un total de 16,2 km de chenaux (pour une surface mouillée estimée de 4,3 ha). De plus, 10,8 km de cours d'eau de troisième ordre seront aussi perdus (une surface mouillée estimée à 3,3 ha). Ces cours d'eau un peu plus grands contiennent en général d'importantes communautés de poissons et d'invertébrés, dans des habitats naturels et dans d'autres qui sont perturbés (volume J, annexe 3.1, pièce jointe 1, tableau 10). La majorité (70 %) est classée comme naturelle (EIIH, classe A) ou en grande partie naturelle avec quelques modifications (EIIH, classe B), selon des évaluations de l'intégrité des habitats aquatiques et riverains (Kleynhans, 1996).

Tableau 4.3-6 Pertes d'habitats aquatiques causées par le déplacement des cours d'eau et des mares dans l'empreinte de perturbation de la mine^(a)

Type d'habitat	Nombre et largeur moyenne	Longueur du chenal (m)	Surface mouillée (ha)
Cours d'eau – 1 ^{er} ordre	73 (0,55)	48948,44	2,92
Cours d'eau – 2 ^e ordre	16 (2,63)	16226,96	4,27
Cours d'eau – 3 ^e ordre	7 (3,06)	10790,18	3,30
Mares temporaires	22	-	4,09

^(a) Dans les limites de l'empreinte de perturbation de la mine et des bassins versants (Ankaja, Sakalava, Torotorofotsy, Antsahalava, Sahamarirana et Sahaviara) affectés par l'élimination des chenaux, de l'écoulement, des réseaux de connexion et des mares temporaires.

L'analyse de la composition en espèces de poissons aux emplacements d'échantillonnage a permis d'établir une corrélation entre une prédominance en espèces de poissons indigènes (endémiques et natives) et des habitats aquatiques

majoritairement en forêt naturelle. La perte d'habitats ou leur dégradation mettra donc en péril l'existence de ces populations. Les emplacements résiduels (30 %), directement situés dans l'empreinte de la mine, présentent un niveau actuel de perturbation de l'habitat allant de moyen à critique (EIIH, classes C à F), avec un mélange de poissons indigènes et exotiques.

La réalisation du projet entraînera l'élimination de la majeure partie (22 de 30) des mares temporaires propres à ce secteur. Toutefois, six mares se trouvent en dehors du secteur de la mine, à l'intérieur d'une zone qu'il est proposé de transformer en aire de conservation azonale (Ambatovy). On a de plus découvert des mares d'allure semblable dans l'aire proposée pour la conservation azonale hors site. Celle-ci est prometteuse en ce qui concerne la plus grande conservation hors site de cet écosystème rare (volume B, section 4.1). Il semble toutefois que le poisson n'utilise pas ces plans d'eau. En revanche, diverses populations de macroinvertébrés et de plancton, dont certaines probablement encore non répertoriées, habitent les mares et y jouent vraisemblablement un rôle face à la faune semi-aquatique, terrestre et aviaire.

Conduite d'approvisionnement en eau et voies d'accès

La construction et l'exploitation des installations connexes à la mine (c.-à-d. la conduite d'approvisionnement en eau de la rivière Mangoro, les routes de transport et les voies d'accès) risquent de perturber les habitats aquatiques et riverains ainsi que la faune des cours d'eau du secteur d'étude en raison des travaux effectués dans les cours d'eau et du ruissellement en surface (sédiments provenant de l'érosion). La conduite d'alimentation en eau proposée traverse 11 cours d'eau permanents. Toutefois, les effets sur l'habitat aquatique seront temporaires. La majorité de ces cours d'eau se trouvent au sein d'habitats perturbés.

En supposant une installation à ciel ouvert de la conduite d'approvisionnement en eau, les effets consisteront principalement en une perturbation à court terme des habitats aquatiques et riverains, limitée à la période de construction. Ces effets sont considérés négligeables, de façon similaire à ceux associés à la construction des voies de service. Il pourrait cependant se produire dans ces derniers cas des perturbations permanentes, à long terme, selon le type de franchissement (ponceau, pont, gué).

De plus, la construction de la station de pompage et de la prise d'eau perturbera des habitats aquatiques et riverains de la rivière Mangoro; l'ampleur n'est cependant pas connue. Ces dérangements seront en grande partie temporaires (construction). Des pertes à long terme se produiront toutefois dans la zone d'influence de la prise d'eau. La zone en question devrait être de faible

envergure, et comme l'habitat aquatique de la rivière est classé D selon l'EIIH (grandement modifié), on s'attend à ce qu'il soit peu sensible à la construction et à la perte d'habitat.

Modification des débits et de la qualité de l'eau en aval

Changements des débits des cours d'eau

Le plan de gestion des eaux prévoit l'utilisation des bassins collecteurs situés sur le périmètre de la mine pour intercepter les eaux de ruissellement du secteur. Ces bassins sont conçus pour effectuer la sédimentation de la matière en suspension avant le rejet de l'eau dans les bassins hydrographiques d'aval. Ils peuvent aussi servir à compléter les volumes d'eau requis pour les procédés de préparation du minerai et à régulariser ou augmenter les débits en aval.

Au moment de la construction de la mine, pendant la mise en place de l'infrastructure de gestion de l'eau, les habitats aquatiques risquent de subir les effets à court terme de la variation des débits d'eau en aval et de changements dans la qualité de l'eau.

En cours d'exploitation cependant, le plan de gestion des eaux permettra de maintenir les débits. Les bassins seront utilisés de façon à limiter autant que possible les impacts en aval en ce qui a trait aux débits d'écoulement et à la qualité de l'eau, tel qu'exposé dans l'étude hydrologique (volume B, section 3.8). On prévoit cependant qu'il se produira une augmentation des débits dans la saison des pluies, en raison de l'enlèvement de la végétation dans le secteur de la mine et de l'augmentation subséquente du volume d'eaux de ruissellement.

Les augmentations des débits varieront selon les bassins versants et les périodes d'exploitation de la mine. Toutefois ils ne devraient pas, règle générale, excéder de plus de 20 % les débits de référence immédiatement en aval des bassins de rétention. L'apport d'eau des affluents viendra par la suite, en allant vers l'aval, atténuer l'effet de cette augmentation. Pendant l'exploitation et à la fermeture de la mine, les débits accrus modifieront légèrement d'autres paramètres physiques de l'habitat aquatique : une faible augmentation de la profondeur de l'eau, de la surface mouillée des chenaux et de la vitesse d'écoulement (tableaux 3.8-11 et 3.8-12, volume B, section 3.8 sur l'hydrologie).

Les modifications au bassin versant occasionnées par la mine entraîneront des changements dans l'écosystème aquatique et possiblement dans sa fonction écologique. Toutefois, la mise en œuvre d'un processus de contrôle des eaux visant à reproduire des patrons de débits saisonniers devrait maintenir en grande partie les communautés aquatiques existantes et la diversité des habitats.

L'ampleur des impacts en aval, qui résultent des activités de la mine et des variations dans les débits d'écoulement, est ainsi jugée faible.

En ce qui concerne la conduite d'approvisionnement en eau de la rivière Mangoro, l'étude hydrologique prévoit une réduction de 0,3 % du débit moyen annuel de la rivière, et une réduction maximale de 1,4 % par rapport à la valeur de débit le plus faible des 10 dernières années. Ces modifications de débit ont peu de chances de produire un effet mesurable sur l'habitat aquatique ou sur l'utilisation de la rivière par les communautés aquatiques existantes.

Changements dans la qualité de l'eau

Les changements de la qualité de l'eau affectant l'habitat aquatique dans le secteur de la mine seront essentiellement reliés aux travaux dans les cours d'eau, à l'érosion (sédimentation) causée par le ruissellement des eaux de surface, aux débordements ou aux émissions des bassins collecteurs et à l'impact des matériaux miniers dans l'eau souterraine.

Une sédimentation et une turbidité accrues pendant la construction sont les principaux changements de la qualité de l'eau susceptibles de produire un impact sur les écosystèmes aquatiques à l'endroit de la prise d'eau et le long de la conduite d'approvisionnement en eau, des voies d'accès et des routes de service. La mise en oeuvre durant la construction de systèmes de lutte contre l'érosion et de contrôle du débit solide réduira au minimum les effets potentiels; les impacts seront faibles.

4.3.5.6 Analyse des impacts

Impacts résiduels

Le tableau 4.3-7 résume les impacts résiduels résultant de la perte d'habitat aquatique à la suite de la construction, de l'exploitation et de la fermeture du projet minier d'Ambatovy.

L'état de l'habitat aquatique du secteur de la mine est moyennement connu, mais la quantité d'information de base pour certains habitats sensibles (les mares temporaires, les cours d'eau de premier ordre et le marais de Torotorofotsy) demeure peu élevée. En ce qui a trait à la classification des impacts à l'intérieur de l'empreinte de perturbation au sol de la mine, le niveau de confiance des prévisions est élevé car les possibilités d'atténuation des impacts restent limitées. Quant au niveau de confiance des prévisions de l'impact sur les habitats en aval, tout particulièrement en ce qui concerne le marais de Torotorofotsy, il s'avère plutôt moyen en raison de la connaissance limitée qu'on a des fonctions

écologiques des zones humides et de l'information généralement qualitative dont on dispose.

Tableau 4.3-7 Effets potentiels et impacts résiduels sur l'habitat aquatique

Phase du projet	Effets potentiels	Mesures d'atténuation	Impacts résiduels
construction	<p>perte directe et déplacement d'habitats aquatiques critiques; sur les rives, dans les cours d'eau et dans les mares temporaires</p> <p>effets sur les débits et la qualité de l'eau en aval pendant la construction de l'infrastructure de gestion des eaux</p> <p>effets sur les habitats aquatiques et riverains pendant la construction de la conduite d'alimentation en eau et des routes</p>	<p>gestion locale des eaux</p> <p>lutte contre l'érosion</p> <p>réduction de l'empreinte de perturbation au sol dans le bassin de Torotorofotsy</p>	<p>intensité forte: modification à long terme des plans d'eau et des cours d'eau dans l'empreinte de perturbation au sol de la mine</p> <p>intensité faible: perturbation à court terme de l'habitat pendant la construction de l'infrastructure</p>
exploitation	<p>défrichement, élimination et perturbation d'importants éléments aquatiques associés aux réseaux hydrographiques des secteurs des gisements de minerai</p> <p>altération potentielle des habitats du biote aquatique dans les cours d'eau en aval en raison des changements de débits et de qualité de l'eau</p> <p>effets potentiels sur le marais de Torotorofotsy causés par les changements des débits des bassins versants et de la qualité de l'eau</p>	<p>plan de gestion des eaux; bassins de rétention</p> <p>aire de protection azonale</p> <p>lutte contre l'érosion et contrôle du débit solide</p>	<p>intensité forte: modification à long terme des plans d'eau du secteur local de la mine; possible impact de faible ampleur sur d'autres plans d'eau à proximité du secteur de la mine en raison du rabattement de la nappe</p> <p>intensité faible: modification à moyen terme des cours d'eau et des zones humides en aval</p> <p>impact positif à long terme de la protection des mares temporaires et des cours d'eau de premier ordre dans les aires de protection azonales</p>
fermeture	<p>changements dans le paysage et développement de caractéristiques hydrographiques de surface favorisant un habitat aquatique productif</p>	<p>gestion des eaux; lutte contre l'érosion.</p> <p>réhabilitation et construction sur le site de plans d'eau et de zones riveraines.</p>	<p>intensité faible. Modification à long terme de la topographie et du réseau hydrographique réhabilités.</p>

Les objectifs de la fermeture et de la réhabilitation des lieux prendront en compte les plans d'eau de surface (lacs subsistant à la fin de l'exploitation des fosses), les restes des bassins collecteurs (et de rétention) et les réseaux de connexion. Si la revégétalisation et le renouvellement du couvert forestier réussissent, de tels habitats pourraient se révéler capables de supporter la réintroduction d'espèces de poissons endémiques. Les habitats constitués par les mares temporaires, cependant, seront définitivement perdus.

Le tableau 4.3-8 présente une classification générale des impacts résiduels. La classification globale en fonction des conséquences sur l'environnement se base sur le système d'évaluation décrit à la section 7 du volume A.

Tableau 4.3-8 Classification des impacts résiduels concernant les effets sur l'habitat aquatique

Phase	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
effet: élimination des habitats riverains et aquatiques dans les cours d'eau et les mares temporaires du site de la mine							
construction	négative	forte	locale	long terme	non	moyenne	élevée
exploitation	négative	forte	locale	long terme	non	moyenne	élevée
effet : variations de la qualité de l'eau et du débit des bassins versants en aval							
construction	négative	faible	locale	moyen terme	non	moyenne	faible
exploitation	négative	faible	locale	moyen terme	non	moyenne	faible
fermeture	négative	faible	locale	long terme	non	moyenne	faible
effet : perturbation de l'habitat et variations de la qualité de l'eau causées par l'infrastructure							
construction	négative	faible	locale	court terme	oui	moyenne	faible
exploitation	négative	faible	locale	long terme	oui	moyenne	faible
effet : réhabilitation du site de la mine et aires protégées							
exploitation ^(a)	positive	faible	locale	long terme	s/o	faible	faible
fermeture	positive	faible	locale	long terme	s/o	faible	faible

^(a) L'effet pendant l'exploitation est estimé en fonction de la mise en place d'aires protégées; l'effet au moment de la fermeture dépend des mesures de réhabilitation et des aires protégées.

La perte de poisson dans les secteurs de cours d'eau éliminés par le projet minier, même considérant la conservation d'aires azonales sur le site, engendre des impacts résiduels classés comme élevés sur les habitats aquatiques du secteur local d'étude. Cela met l'accent sur la nécessité de trouver des zones compensatoires hors site pour en faire des aires de conservation de la forêt azonale et des habitats aquatiques qui lui sont associés.

Surveillance

Il n'est proposé aucune surveillance ou mesure de suivi particulière concernant les effets de la construction ou de l'exploitation de la mine sur l'habitat aquatique dans la zone immédiate de perturbation, étant donné que l'habitat en question se trouvera totalement supprimé par l'implantation de la mine. Les eaux rejetées et les eaux d'aval feront l'objet d'un contrôle en ce qui a trait aux débits, aux niveaux et à la qualité des eaux, tel que décrit dans les sections 3.8 et 3.9 du volume B. Un suivi des valeurs d'écoulement et de qualité de l'eau sera assuré après la fermeture pour vérifier l'efficacité et l'intégrité des mesures de réhabilitation.

Quant aux mesures prises pour protéger et conserver les mares temporaires et les cours d'eau de premier ordre dans des aires de végétation azonale protégées, elles feront l'objet d'un suivi pour s'assurer qu'elles remplissent leurs fonctions.

La surveillance des cours d'eau d'aval sera basée sur la collecte de données mesurant les effets sur l'environnement, tels que les débits et la qualité de l'eau, combinées à des observations sur l'état des habitats.

4.3.6 Question clé FA-2: Quel effet le projet aura-t-il sur l'abondance du biote aquatique, la survie des espèces endémiques ou natives et la structure de la communauté?

4.3.6.1 Liens d'impact

Les activités se déroulant sur le site de la mine durant les phases de construction, d'exploitation et de fermeture risquent de produire des impacts sur l'abondance et la survie du biote aquatique (communautés de poissons et d'invertébrés). Ainsi, des changements peuvent survenir par la suite:

- de modifications à la communauté (habitat) et à l'état de santé des poissons
- de l'introduction ou de la venue d'espèces non indigènes

- des programmes de réhabilitation

Modification de la communauté (habitat) et de la santé des poissons

L'élimination et l'assèchement des cours d'eau et des plans d'eau existants font en sorte que le secteur local de la mine ne puisse plus abriter de poissons et d'autres formes de biote aquatique. Cela risque également de causer de la mortalité à l'intérieur de l'empreinte de perturbation au sol de la mine. La dégradation ou la perturbation des habitats aquatiques en aval de la mine (causées par les variations de débits et de qualité de l'eau) sont aussi des facteurs susceptibles d'influencer directement ou indirectement la productivité et la composition des communautés de poissons et d'invertébrés. Les franchissements de cours d'eau construits dans le cadre du projet pour le passage de la conduite d'approvisionnement en eau et des voies d'accès et de service perturberont également ces populations. Ainsi, le projet minier créera des pertes et des perturbations au sein des poissons et des autres communautés aquatiques vivant dans ces habitats. La question clé FA-1 traitait de l'évaluation physique des habitats; la présente section concerne plutôt la question de l'utilisation des habitats par les diverses espèces de poissons et de macroinvertébrés.

Des effets sur la santé se produisent lorsque les caractéristiques physiques ou chimiques de l'eau varient au-delà des limites que peut tolérer le poisson. La construction et l'exploitation des installations de production de la mine, de même que les infrastructures connexes, sont susceptibles d'entraîner des changements dans l'état de santé des poissons. En effet, le poisson peut subir les effets de la présence de contaminants (provenant de déversements, du rejet d'effluents et d'émissions atmosphériques) et des changements dans la qualité (sédiments) et la quantité d'eau (débits). Aussi, certaines activités de construction se déroulant dans les cours d'eau ou à proximité produisent des effets létaux, sub-létaux ou chroniques sur les poissons.

Introduction d'espèces non indigènes ou envahissement

Les opérations minières et les activités connexes se déroulant dans les bassins versants du secteur d'étude sont susceptibles de nuire à l'intégrité de l'habitat aquatique. Ce faisant, elles permettent la propagation et la reproduction d'espèces de poissons exotiques qui tolèrent une plus forte turbidité, une sédimentation plus importante et les autres changements subis par des cours d'eau dégradés. Les accès plus faciles et plus nombreux aux bassins versants du secteur local d'étude de la mine risquent de favoriser l'introduction d'espèces associées à l'activité humaine.

Programmes de réhabilitation

Ces programmes engloberont à la fois les aspects relatifs à la réhabilitation du secteur et à la conservation hors site. La réhabilitation des habitats aquatiques du secteur de la mine permettra d'y rétablir les populations de poissons et de biote. Quant aux mesures de conservation hors site prises durant l'exploitation de la mine, elles auront pour effet de protéger et de favoriser le rétablissement à long terme des populations de poissons natives et d'autres écosystèmes aquatiques (c.-à-d. les communautés peuplant les mares temporaires).

4.3.6.2 Méthodes d'évaluation

Les données de perte d'habitat générées pour les cours d'eau (question clé FA-1) et celles sur l'intégrité de l'habitat rassemblées au cours des inventaires de référence sur le terrain ont été étudiées en relation avec les données concernant la taxonomie des espèces et la composition des communautés (poissons et macroinvertébrés), obtenues par l'échantillonnage quantitatif et qualitatif des populations lors de l'inventaire de référence des divers bassins versants du secteur de la mine. Dans le cadre de l'étude de référence, une analyse multivariable a permis d'évaluer les tendances en matière de composition des communautés. Un examen de la liste rouge de l'UICN (2004) et d'autres listes de vérification récentes a servi à évaluer la situation des espèces de poissons endémiques et natives quant à la conservation. On a jugé de la santé des poissons et de l'écosystème en interprétant les prévisions de qualité et de quantité d'eau (volume B, sections 3.7, 3.8 et 3.9). Quant aux données de référence sur les contaminants, elles proviennent d'un échantillon de poisson prélevé à la sortie du marais de Torotorofotsy (volume B, section 5.4, Santé humaine et santé écologique).

L'estimation de la possibilité d'introduction d'espèces non indigènes et exotiques repose sur un examen du plan de la mine, sur l'information publiée sur le sujet et sur les données portant sur la taxonomie et la structure des communautés particulières au secteur.

Les plans de fermeture de la mine et la littérature scientifique ont servi de fondement à l'évaluation des solutions de rétablissement des espèces de poissons endémiques.

4.3.6.3 Mesures d'atténuation

Parmi les mesures d'atténuation qui limiteront la perte d'espèces et de populations au sein des communautés de poissons et d'invertébrés, se trouvent les suivantes:

Eléments de conception

- Toute mesure d'atténuation spécifique à l'habitat, telles que celles présentées à la section 4.3.5.4, procurera une certaine protection (directe ou indirecte) des communautés de poissons et de biote aquatique.
- Tout surplus d'eau non requis pour la mine et provenant de la rivière Mangoro sera rejeté dans le bassin hydrographique de la Mangoro afin de limiter le risque d'introduction de biote aquatique non indigène au sein des autres bassins versants.
- La conception et l'installation d'un grillage sur la prise d'eau de la station de pompage de la rivière Mangoro empêchera que de petits poissons, des larves ou des oeufs ne soient entraînés avec l'eau pompée.

Construction et exploitation

- Mettre en oeuvre un programme de sauvetage des poissons dans les cours d'eau clés avant de perturber les plans d'eau. Le programme de sauvetage comprendra:
 - La remise en liberté (des poissons endémiques capturés) dans des habitats naturels similaires ou convenables, considérant les espèces endémiques recherchées sur le marché des poissons d'aquarium (retombées économiques locales).
 - La mise en valeur de l'expertise malgache en ce qui a trait à l'évaluation des techniques de gestion à long terme de la conservation.
- Inclure dans des programmes de sensibilisation à l'environnement des notions de protection de la faune endémique et du risque posé par l'introduction de nouvelles espèces.
- Protéger des écosystèmes aquatiques et des communautés uniques (mares temporaires et cours d'eau de premier ordre) au sein des aires de conservation hors site proposées pour les secteurs d'Ambatovy et d'Analamay.

Fermeture

- Réhabiliter la surface du terrain pour créer des habitats aquatiques dans les plans d'eau laissés par l'exploitation de fosses, dans ce qui reste des

bassins de rétention et dans le réseau hydrographique de connexion (section 4.3.5.4).

- Si des habitats convenables peuvent leur permettre de survivre, réintroduire des espèces endémiques, précédemment supprimées du site, à partir de programmes d'élevage en captivité (en aquarium ou autre).
- Proposer le concept d'une pêche artisanale dans les lacs résiduels (mettant à profit des espèces endémiques appropriées) et montrer le potentiel du site à cet égard.

Compensation

- Appuyer le projet de gestion de Torotorofotsy comme site Ramsar, notamment en participant à la conception des plans de gestion des ressources halieutiques.

4.3.6.4 Résultats

Modification de la communauté (habitat)

Le secteur local d'étude de la mine renferme un faible nombre d'espèces endémiques par rapport aux 22 espèces endémiques répertoriées pour l'écotériorité des hautes terres orientales de Madagascar dont le site fait partie (Sparks et Stiassny, 2003). De façon générale on note une forte abondance aux endroits de la forêt primaire non perturbée et une faible abondance aux endroits perturbés ou déboisés.

Empreinte de perturbation au sol de la mine

Au sein de l'empreinte de perturbation de la mine, quatre des six hauts bassins versants (cours d'eau de deuxième et troisième ordre) exhibent des structures communautaires limitées à des espèces de poissons indigènes et/ou endémiques. Il s'agit des bassins versants de Sakalava, d'Ankaja, d'Antsahalava et de la partie supérieure du bassin de Torotorofotsy.

Le projet supprimera des parties des populations locales des espèces endémiques *Ratsirakia* et *Rheocles*, d'espèces natives (c.-à-d. *Anguillidae*) et de biote aquatique vivant dans les réseaux hydrographiques correspondant à la future empreinte de perturbation de la mine. Des mesures d'atténuation (sauvetage des poissons) seront prises dans une tentative de sauver des poissons lorsque possible; toutefois, des mortalités se produiront en nombre non quantifiable. On prévoit cependant que les aires de conservation azonales in situ (dans le secteur local d'étude de la mine) permettront la survie des espèces qu'elles abritent. En outre, ces aires de conservation assureront la protection des communautés aquatiques de cinq écosystèmes de mares temporaires. De plus, comme elles

comportent plusieurs cours d'eau de premier ordre, les aires en question offriront également une protection à certains membres de la faune aquatique des invertébrés endémiques (*Probosciodopocia*, éphémère commune et *Madenemura*, plécoptère endémique « *stonefly* ») vivant dans les eaux pures et fraîches de plus haute altitude.

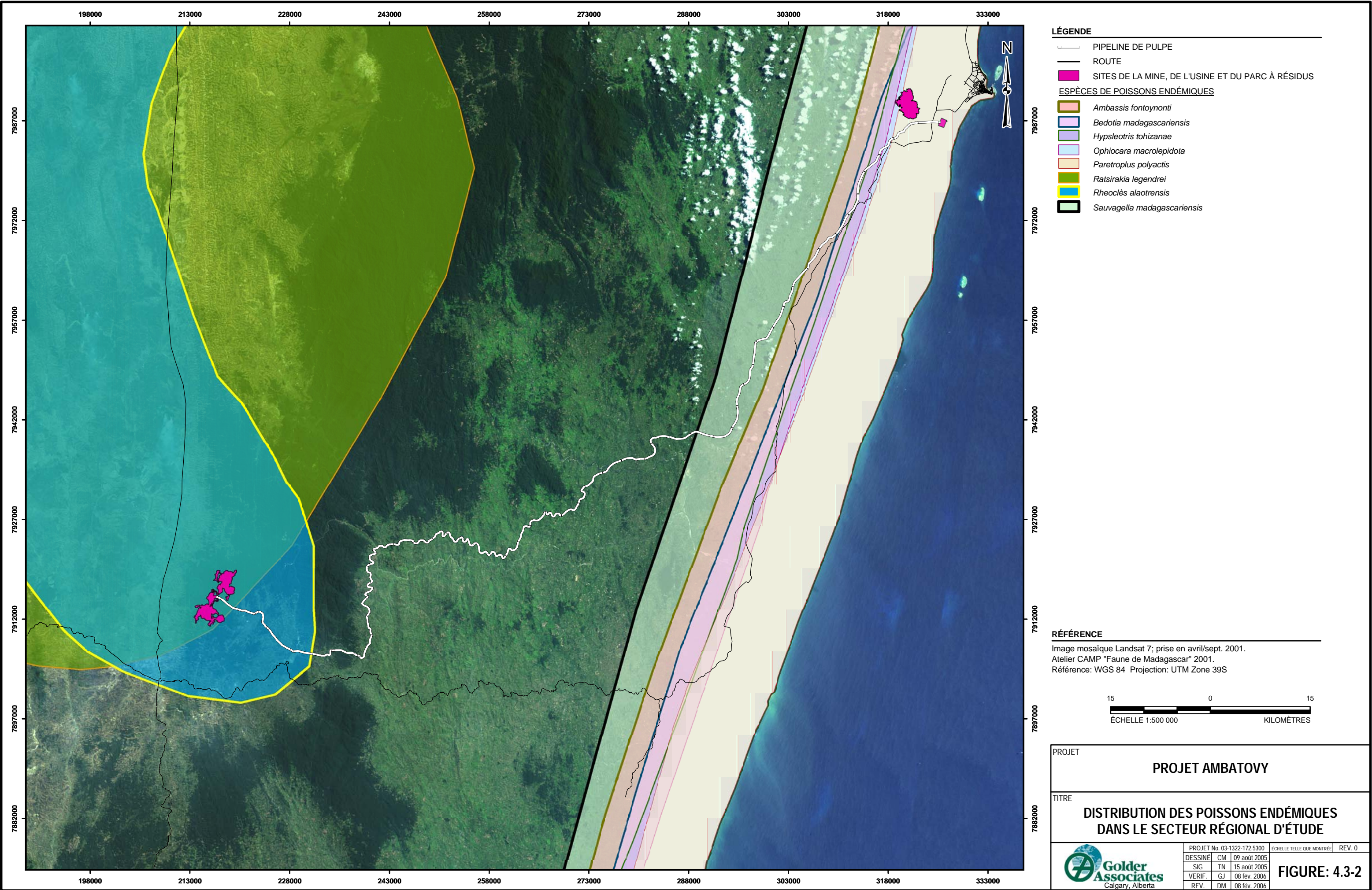
Un impact de niveau élevé se fera également sentir parmi les autres communautés de poissons, natives ou non (exotiques), à l'intérieur des limites de l'empreinte de perturbation au sol de la mine. Cependant, l'effet global sur les populations (nombre d'individus) de ces espèces, en dehors des limites en question, sera vraisemblablement négligeable compte tenu de la vaste aire de distribution de ces espèces et de leur capacité d'adaptation à divers habitats.

Réseau hydrographique d'aval

Le plan de gestion des eaux de la mine reproduira les régimes d'écoulement saisonniers. Cela devrait maintenir de façon générale les conditions dont jouissent actuellement les communautés de poissons. Les impacts en aval associés aux modifications des débits sont donc considérés comme étant de faible intensité. En revanche, la perte d'une grande part des populations d'amont de *Rheocles alaotrensis* et de *Ratsirakia legendrei* risque d'influer sur la capacité à long terme de ces espèces endémiques de maintenir au niveau actuel les populations en aval du secteur de la mine.

Rheocles alaotrensis et *Ratsirakia legendrei* bénéficient, à l'extérieur du secteur local d'étude de la mine, d'une aire de distribution régionale assez étendue, dans les secteurs supérieurs des réseaux hydrographiques des hautes terres orientales de Madagascar (CAMP 2001, figure 4.3-2). Toutefois, leur présence extrêmement localisée et fragmentée (en particulier dans le cas de *R. alaotrensis*) dans les bassins versants de la région, ainsi que la concurrence et la prédation de la part d'espèces introduites, représentent des préoccupations majeures en ce qui a trait à leur conservation et protection (profil des espèces, Liste rouge des espèces menacées de l'UICN, 2004). Il est possible, en fonction de la distribution régionale des communautés existantes d'espèces endémiques et de la divergence génétique au sein des bassins versants, que le projet ait un effet sur la survie et sur la diversité de ces espèces dans le secteur local d'étude ou à l'échelle régionale.

I:/2003/03-1322/03-1322-172/mxd/Fish_Aquatics/Fig4.3-2_Fish spp_French.mxd



Marais de Torotorofotsy

Une faible portion de l’empreinte de perturbation de la mine se trouve dans le bassin à l’ouest du marais de Torotorofotsy, ce qui aura comme conséquence la perte pour le marais de certains affluents. Toutefois, grâce au plan de gestion des eaux, le débit des eaux de ruissellement restera le même durant la saison sèche et n’augmentera que légèrement au moment de la saison des pluies (de 1 à 3 %, selon l’étude hydrologique, volume B, section 3.8). Les changements dans la qualité de l’eau devraient être négligeables (selon l’étude sur la qualité de l’eau, volume B, section 3.9).

L’étude portant sur la structure de la communauté de poissons et sur les associations d’espèces (volume J, annexe 3.1, pièce jointe 1, section 5.1.5.4) pour les emplacements au périmètre du marais a révélé qu’une majorité de ces derniers abritaient des assemblages de poissons de groupe II (c.-à-d. dominés par des espèces exotiques mais dont la faune endémique originale subsiste). En général, *R. legendrei* et *R. alaotrensis* vivaient en ces endroits. L’un des emplacements de marais ne renfermait que des espèces endémiques (assemblage de poissons de groupe I), soit *R. alaotrensis*, *R. legendrei* et une espèce non répertoriée de *Ratsiraki*. La présence d’espèces exotiques dans la plupart des emplacements marécageux échantillonnés indique cependant que Torotorofotsy est peu susceptible de fournir un habitat à une importante population de base de l’ichtyofaune native et endémique. Les changements apportés au bassin versant par la réalisation du projet (débits et qualité de l’eau) devraient donc avoir un faible impact sur la structure de la communauté de poissons du marais de Torotorofotsy.

Tracé de la conduite d’approvisionnement en eau

La construction de la conduite d’approvisionnement en eau peut avoir des effets temporaires sur les populations de poissons résidentes. Existe aussi le risque, à l’endroit de la prise d’eau, que des poissons soient entraînés ou blessés, ce qui entraînerait une certaine mortalité. La majeure partie des communautés de poissons des ruisseaux et des rivières le long de la conduite, ainsi qu’à la prise d’eau, sont constituées d’espèces exotiques. Vraisemblablement, les impacts du projet seront peu importants sur ces espèces en raison de leur tolérance à la dégradation de l’habitat et à une mauvaise qualité de l’eau.

Santé des poissons et de l’écosystème

Les changements dans la qualité de l’eau peuvent influencer sur la santé des poissons et de l’écosystème. La réalisation du projet risque de faire augmenter les concentrations dans l’eau de certains métaux (chrome, plomb et zinc) au-delà des valeurs émises par les *South African Aquatic Ecosystem guidelines* (selon l’étude sur la qualité de l’eau, volume B, section 3.9). À noter qu’à la base, selon l’étude

de référence, les concentrations dans l'eau de certains de ces paramètres excèdent déjà les critères en question. Les métaux en cause ont tous des effets toxiques sur les poissons et les autres communautés aquatiques. L'exposition du biote aux métaux peut se faire par la voie de l'eau, des sédiments (les substances inorganiques ont tendance à être adsorbées par les sédiments) ou de la nourriture (bioaccumulation de certains métaux). Le chrome, le métal le plus préoccupant découvert dans le cadre de l'étude sur la qualité de l'eau, produit toute une gamme d'effets néfastes sur les organismes aquatiques mais ses effets toxiques se font principalement sentir aux niveaux trophiques inférieurs (périphyton et invertébrés, USEPA, 2005). Une augmentation des concentrations des autres métaux est également inquiétante. Le cadmium peut produire des effets à de faibles concentrations dans l'environnement (Eisler 1993) et les poissons d'eau douce s'y montrent tout particulièrement vulnérables. Il a également été démontré que des teneurs élevées en zinc nuisent à la survie, à la croissance et à la reproduction des poissons (Sorensen 1991).

Introduction d'espèces non indigènes ou envahissement

La prolifération d'espèces envahissantes non indigènes constitue l'un des plus grands dangers pour la biodiversité des eaux douces (Williams et Meffe, 2000). En ce moment, il s'agit de la principale menace à la survie des poissons endémiques d'eau douce de Madagascar (Loiselle 2003). Plus de 20 espèces exotiques ont ainsi été introduites dans l'île, remplaçant les espèces natives et endémiques pratiquement partout dans les terres d'altitude moyenne près de Moramanga (Sparks et Stiassny, 2003). La plupart de ces espèces exotiques tolèrent les habitats dégradés et une mauvaise qualité d'eau et, dans de telles conditions, elles dominent la faune aquatique.

Les habitats dégradés et les espèces exotiques se retrouvent couramment dans la portion inférieure des bassins versants du secteur local d'étude de la mine et aussi dans la portion supérieure de certains autres (c.-à-d. celui de la rivière Sahamarirana), toujours à l'intérieur des limites de la mine. Les communautés de poissons en aval de la rivière Sahaviara, aux abords du tracé de la conduite, comptent cinq espèces introduites (*Tilapia zilli* et *Gambusia holbrooki* comme espèces dominantes) et une espèce native. Considérant l'occupation actuelle du sol, ce n'est probablement qu'une question de temps avant que certaines de ces espèces ne s'étendent plus loin en amont. La réalisation du projet, entraînant l'augmentation de la turbidité et de la sédimentation et altérant physiquement des habitats, crée du stress et des perturbations qui rendent les bassins versants supérieurs vulnérables à un envahissement par des espèces exotiques. Si des portions isolées et non perturbées du bassin versant subsistent, elles pourront abriter des espèces endémiques. Il s'agirait là toutefois d'un phénomène uniquement temporaire, puisque sans une protection complète de tout le bassin,

l'habitat résiduel serait probablement trop restreint pour soutenir des populations viables d'espèces endémiques.

L'introduction de certaines espèces envahissantes venues du réseau hydrographique de la Mangoro par la conduite d'approvisionnement en eau pourrait avoir une grande incidence sur la diversité biologique et génétique de la faune aquatique du secteur de la mine, ou du versant est des réseaux d'aval, comme celui de Torotorofotsy. Une espèce en particulier, le fibata (*Channa maculata* ou channa tacheté), observée dans le bassin versant de la Mangoro, se propage rapidement dans tout Madagascar et a déjà produit un impact majeur sur les populations de poissons natifs (Benstead *et al.*, 2003). Ce poisson a été introduit à Madagascar vers 1978; un groupe était stocké dans des bassins à Antananarivo, tout près des eaux d'amont de la rivière Betsiboka et un autre dans des bassins près de Vatomandry sur la côte est. À la suite de cyclones, des inondations ont entraîné avec elles les fibatas en dehors des bassins, jusque dans les eaux naturelles adjacentes (Coutenay et Williams, 2004). Au cours des relevés effectués pour le présent projet, la présence de *C. maculata* a été notée dans la rivière Mangoro et dans le bas de la rivière Sahaviara. Le fibata n'a cependant pas encore été vu dans la plupart des bassins versant médians et supérieurs des réseaux hydrographiques orientaux, dont Torotorofotsy, en dehors des limites du secteur de la mine. La mise en place de mesures d'atténuation (grillage adéquat à la prise d'eau) et une attention particulière à l'isolement des eaux pompées de la Mangoro permettront de réduire le risque que le fibata et d'autres espèces de la faune aquatique non indigène ne se propagent dans les eaux d'amont ou celles des réseaux du versant est du site minier.

Des espèces de poissons exotiques ont déjà envahi le marais de Torotorofotsy, vraisemblablement par la rivière Firikana ou par introduction délibérée. Au cours du présent inventaire, quatre espèces exotiques ont été trouvées dans le marais, dont *Tilapia zilli*, un poisson exotique de plus grande taille, souvent introduit à des fins de consommation domestique. Il y a peu de chances que la portée directe des effets en aval de la mine modifie suffisamment les habitats pour influencer la présence ou l'état de ces poissons exotiques. Il est difficile d'endiguer de tels phénomènes et les espèces exotiques vont poursuivre leur envahissement du marais. Il serait toutefois possible de mettre en place un quelconque système de barrière sur le réseau de la rivière Firikana pour prévenir la migration en amont et une éventuelle invasion du marais par de nouvelles espèces exotiques comme le fibata.

Conséquence d'un accès amélioré aux plans d'eau (comme le marais de Torotorofotsy) et d'un accroissement de la population locale en réponse au développement de la mine, il est probable que les résidents de la région introduisent dans le secteur local d'étude des espèces de poissons exotiques (pour

élevage piscicole local ou consommation). Des effets négatifs à long terme se produiront en ce qui a trait à la faune endémique résiduelle, mais l'impact sur les autres communautés (combinaison des faunes endémiques, natives et introduites) devrait s'avérer négligeable, à moins de l'introduction de grands prédateurs comme le fibata.

Réhabilitation

À la fermeture, la création sur le site de la mine d'habitats aquatiques appropriés et protégés pourrait mener au rétablissement des populations d'espèces endémiques et menacées ou précédemment éliminées du territoire (programmes de réhabilitation). Le secteur de la mine présenterait également du potentiel pour l'aménagement de plans d'eau à usage commercial (développement de pêcheries ou de ressources en invertébrés, que ce soit pour la consommation ou le commerce des poissons d'aquarium).

Les plans de fermeture de la mine prévoient actuellement l'aménagement d'habitats lacustres. Il faut toutefois pour cela créer un réseau de connexion au bassin versant afin de restaurer les communautés lotiques (habitant en eaux vives). L'impact d'une telle réhabilitation des lieux serait positif, bien qu'on n'en connaisse pas la viabilité et que ses effets seront vraisemblablement de faible envergure et limités à l'échelle locale.

4.3.6.5 Analyse des impacts

Impacts résiduels

Le tableau 4.3-7 résume les impacts résiduels des modifications dans l'abondance et la structure des communautés aquatiques ainsi que des entraves à la survie des espèces endémiques résultant de la construction, de l'exploitation et de la fermeture du projet minier d'Ambatovy.

La situation des espèces de poissons dans le secteur de la mine est passablement bien comprise. Toutefois, la quantité d'information de base concernant la biologie et le cycle biologique de la plupart des espèces de poissons et du biote endémiques du milieu aquatique est très limitée. En ce qui a trait à la classification des impacts à l'intérieur de l'empreinte de perturbation de la mine, le niveau de confiance des prévisions est élevé car les possibilités d'atténuation des impacts restent limitées. Quant au niveau de confiance des prévisions de l'intensité d'impact sur les poissons et les communautés aquatiques en aval, tout particulièrement en ce qui concerne le marais de Torotorofotsy, il s'avère plutôt moyen en raison de la connaissance limitée qu'on a des fonctions écologiques de ces zones humides.

Parmi les objectifs de fermeture et de remise en état figure le rétablissement (et la réintroduction) des espèces dans les plans d'eau de surface (les lacs résiduels), dans ce qui reste des bassins de rétention des eaux de ruissellement, dans les cours d'eau de connexion et dans les autres environnements réhabilités. Il est cependant impossible de prévoir avec précision le succès de ces mesures.

Tableau 4.3-9 Effets potentiels et impacts résiduels sur l'abondance et la survie des espèces aquatiques

Phase du projet	Effets potentiels	Mesures d'atténuation	Impacts résiduels
construction	<p>effet direct de mortalité et d'élimination d'importantes espèces aquatiques endémiques</p> <p>effets sur les débits et la qualité de l'eau en aval pendant la construction de l'infrastructure de gestion des eaux</p> <p>effets sur les habitats aquatiques et riverains pendant la construction de la conduite d'alimentation en eau et des routes</p>	<p>gestion locale des eaux</p> <p>lutte contre l'érosion</p> <p>réduction de l'empreinte de perturbation au sol dans le bassin de Torotorofotsy</p>	<p>intensité forte: modification à long terme de l'ichtyofaune et du reste de la faune aquatique au sein de l'empreinte de perturbation au sol de la mine</p> <p>intensité faible: perturbation à court terme de l'habitat pendant la construction des infrastructures</p>
exploitation	<p>perte continue de biote aquatique associée aux réseaux hydrographiques des secteurs des gisements de minerais</p> <p>possible modification du biote d'aval en raison des changements de débits et de qualité de l'eau</p> <p>réduction de la possibilité de maintenir des populations de poissons endémiques dans le secteur local d'étude et dans la région</p> <p>effets potentiels sur le biote du marais de Torotorofotsy causés par les changements des débits des bassins versants et de la qualité de l'eau</p>	<p>plan de gestion des eaux; bassins de rétention</p> <p>aire de protection azonale</p> <p>conception d'un système de lutte contre l'érosion et de contrôle du débit solide</p> <p>grillage empêchant le passage des poissons à la prise d'eau</p> <p>mesures de conservation et de préservation hors site; recherche</p>	<p>intensité forte: effet à long terme sur les écosystèmes aquatiques situés dans l'empreinte de perturbation au sol de la mine</p> <p>intensité faible: effet à moyen terme sur les communautés d'aval en raison des changements de débits et de qualité de l'eau</p> <p>intensité moyenne: effet à long terme sur des espèces endémiques particulières du secteur local d'étude et de la région</p> <p>intensité faible: effets de peu d'envergure sur les communautés de poissons et la faune aquatique du marais de Torotorofotsy</p>
fermeture	<p>changements dans le paysage et développement de caractéristiques hydrographiques de surface favorisant un habitat aquatique productif</p> <p>développement de l'industrie locale connexe (c.-à-d. le commerce de poissons d'aquarium, etc.)</p>	<p>réhabilitation et construction in situ de plans d'eau et de zones riveraines</p> <p>réintroduction d'espèces endémiques à l'échelle locale ou autre</p> <p>éventuels modes de contrôle (barrières) de la dispersion des poissons exotiques</p>	<p>intensité faible: rétablissement à long terme des espèces et des populations endémiques</p> <p>intensité faible: avantages sociaux à long terme</p>

Le tableau 4.3-10 présente une classification générale des impacts résiduels. La classification globale en fonction des conséquences sur l'environnement se base sur le système d'évaluation décrit à la section 7 du volume A.

Tableau 4.3-10 Classification des impacts résiduels concernant les effets sur l'abondance et la survie des espèces aquatiques

Phase	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
effet: modification de l'habitat							
construction	négative	forte	locale	long terme	non	moyenne	élevée
exploitation mine / région	négative	moyenne	locale	long terme	non	moyenne	moyenne
exploitation aval	négative	faible	locale	long terme	non	moyenne	faible
exploitation Torotorofotsy	négative	faible	locale	long terme	non	moyenne	faible
effet: changements dans la santé des poissons et de l'écosystème							
construction	négative	faible	locale	court terme	oui	faible	négligeable
exploitation	négative	moyenne	locale	long terme	oui	moyenne	moyenne
effet: envahissement par des espèces exotiques							
exploitation	négative	faible	locale	long terme	non	moyenne	moyenne
fermeture	négative	faible	locale	long terme	non	moyenne	moyenne
effet: restauration et réintroduction des espèces							
exploitation ^(a)	positive	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o
fermeture	positive	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o

^(a) On pose comme supposition de base qu'en cours d'exploitation, l'effet se fait sentir en dehors du site, comme pour les programmes d'élevage en captivité.

s/o Critère non applicable aux impacts positifs.

Tel qu'observé dans le cas de la précédente question clé, la présence d'impacts résiduels élevés après l'application de mesures d'atténuation confirme le besoin de réaliser des projets de conservation hors site.

Surveillance

- Réaliser des inventaires supplémentaires à l'intérieur de l'empreinte de perturbation au sol de la mine afin de cibler cela pour les efforts à

déployer avant la construction pour le sauvetage d'espèces (poissons des cours d'eau et invertébrés des mares temporaires).

- Surveiller les débits et la qualité de l'eau en aval du site afin de protéger les habitats qui s'y trouvent.
- Effectuer un suivi des mares temporaires pour s'assurer que les mesures de conservation remplissent leur rôle, à la fois sur le site de la mine et dans les aires de conservation hors site.
- Procéder régulièrement à l'inspection et à l'entretien du grillage de la prise d'eau pour s'assurer qu'il est en bon état et fonctionne correctement, de façon à réduire autant que possible l'entraînement de biote.
- À la fermeture, faire un suivi des programmes de réhabilitation et de rétablissement des espèces.

4.3.7 Question clé FA-3: Quel effet le projet aura-t-il sur la pêche artisanale?

4.3.7.1 Evaluation des liens d'impact

Les étapes de construction, d'exploitation et de fermeture de la mine peuvent avoir un effet sur la pêche artisanale du biote aquatique (communautés de poissons et d'invertébrés). Ces effets découlent de:

- l'accessibilité au secteur de la mine
- variations dans l'abondance et la santé des poissons
- changements d'espèces

Accessibilité

Les modifications de l'accès au secteur de la mine risquent d'encourager la pêche artisanale de poissons et d'invertébrés (pour consommation ou pour le marché des aquariums).

Abondance et santé des poissons

L'exploitation de la mine peut nuire aux populations de poissons faisant actuellement l'objet de pêche dans le secteur local d'étude, voire les éliminer. Le projet de mine risque aussi d'avoir un impact sur la santé et l'état des poissons aux endroits des infrastructures (conduite d'approvisionnement en eau et voies de service) et des réseaux hydrographiques d'aval. Il s'agit là d'une voie d'impact

possible si des espèces ou des populations indiquées pour la pêche artisanale se trouvent dans les bassins versants du secteur local ou y subsistent.

Changements dans les espèces

Il peut se produire des changements dans les espèces à la suite d'introductions de nouvelles espèces ou en raison de la dégradation de l'habitat occasionnée par l'exploitation de la mine. De tels changements peuvent également se produire au cours de la fermeture et de la réhabilitation.

4.3.7.2 Méthodes d'évaluation

Le plan de la mine a fait l'objet d'un examen qui visait à évaluer les accès et tout autre changement relié aux infrastructures.

Les espèces de poissons et d'invertébrés susceptibles d'intéresser la pêche artisanale ont été déterminées à partir : 1) des observations faites dans l'étude de référence, 2) du jugement professionnel basé sur la composition en espèces telle qu'elle a été relevée, ou 3) de rapports et autres publications.

Quant à l'état de santé des poissons, il a été estimé par une interprétation des prévisions relatives à la quantité et la qualité de l'eau. On dispose aussi de données de référence concernant les contaminants des poissons, provenant d'un échantillon de poisson prélevé à l'exutoire du marais de Torotorofotsy (voir le volume B, section 5.4, Santé humaine et santé écologique).

4.3.7.3 Mesures d'atténuation

Construction et exploitation

- Poser des barrières aux limites du site de la mine afin de réduire l'accessibilité et limiter l'exploitation des populations d'espèces endémiques rares et protégées.

Fermeture

- Développement de ressources en poissons et invertébrés destinés au commerce de poissons d'aquarium.
- Développement d'une pêcherie artisanale dans les lacs formés à la suite de l'exploitation des fosses et basée sur des espèces endémiques appropriées.

4.3.7.4 Résultats

La construction de la route de la mine a créé un accès local supplémentaire au secteur. L'addition de nouvelles routes de transport et de voies de service, de même que la mise en place de la conduite d'approvisionnement en eau, fourniront un meilleur accès à tous les cours d'eau traversés. Néanmoins, si l'on se fie à l'assemblage d'espèces observées au sein de l'empreinte de perturbation de la mine et au fait que les travaux de terrain n'y ont révélé aucune activité humaine de recherche alimentaire, l'accessibilité plus grande au secteur ne devrait pas occasionner de changements notables en ce qui a trait à la pêche artisanale. Il se peut toutefois que la pêche connaisse une croissance dans les plus grands plans d'eau d'aval (route et conduite d'approvisionnement en eau), qui renferment des poissons plus gros et affichant une plus grande diversité.

Tel que mentionné auparavant, les mesures d'atténuation appliquées aux questions des sédiments, des émissions atmosphériques, de l'écoulement des eaux de surface et de la qualité de l'eau permettront de maintenir les effets à l'intérieur des normes acceptées. En conséquence, les effets sur la santé et l'état des poissons sont considérés comme étant faibles après l'application des mesures d'atténuation, et s'accompagnent d'un niveau faible de conséquence sur l'environnement.

Des changements sont possibles dans les espèces de poissons et d'invertébrés, comme résultat d'introductions accidentelles ou délibérées ou conséquence de la dégradation de l'habitat découlant de la réalisation du projet. Il est difficile de déterminer les impacts produits sur la pêche artisanale locale. À moins que des populations de prédateurs tels que le fibata ne s'établissent dans le secteur, l'effet pourrait bien être neutre, puisque les poissons pêchés à l'heure actuelle sont d'espèces exotiques (comme le *Tilapia* sp. de la rivière Mangoro). Il existe en outre la possibilité d'introduire, à la fermeture, de nouvelles espèces (endémiques) dans le secteur de la mine sujet à réhabilitation. Cela pourrait avoir comme résultat le développement de pêcheries artisanales de poissons destinés à la consommation, ou au marché des poissons d'ornement, avec les conséquences positives à long terme que cela comporte.

4.3.7.5 Analyse des impacts

Impacts résiduels

Le tableau 4.3-11 résume les impacts résiduels sur la pêche artisanale suivant la construction, l'exploitation et la fermeture du projet minier d'Ambatovy.

Tableau 4.3-11 Effets potentiels et impacts résiduels sur la pêche artisanale

Phase du projet	Effets potentiels	Mesures d'atténuation	Impacts résiduels
construction	<p>éradication d'importantes espèces de poissons durant l'exploitation minière</p> <p>effets sur les espèces aquatiques durant la construction de la conduite d'approvisionnement en eau et des routes</p>	sauvetage des poissons; usage local ou vente	<p>faible intensité: perte à long terme au sein de l'empreinte de perturbation au sol de la mine</p> <p>faible intensité: perte à court terme durant la construction des infrastructures</p>
exploitation	<p>perte de biote aquatique associée aux réseaux hydrographiques des gisements de minerais</p> <p>modification potentielle de l'exploitation du biote aquatique en aval en raison d'un accès plus facile</p> <p>introduction et propagation d'espèces exotiques de poissons</p>	<p>programme de sauvetage</p> <p>programmes locaux de sensibilisation à l'environnement</p>	<p>faible intensité: long terme</p> <p>faible intensité: changements à moyen terme en conséquence de la récolte de poissons et de biote en aval</p> <p>effet neutre sur la pêche locale à cause de l'introduction d'espèces exotiques de poissons</p>
fermeture	aménagement de plans d'eau de surface dans le but de soutenir la croissance de populations productives d'espèces endémiques de poissons	introduction d'espèces endémiques de valeur	faible intensité: effet à long terme sur la récolte de biote aquatique

L'étendue des ressources aquatiques au sein de l'empreinte de perturbation au sol de la mine ainsi que leur utilisation sont passablement bien comprises, sur la base des observations faites au cours des travaux de terrain. La situation s'avère toutefois moins bien cernée en aval de cette empreinte et dans le reste du secteur local d'étude en raison du peu d'information dont on dispose sur la récolte et l'usage spécifique des ressources aquatiques. En ce qui a trait à la classification des impacts à l'intérieur des limites de l'empreinte de perturbation de la mine, le niveau de confiance des prévisions est moyen, considérant le faible potentiel d'utilisation de la ressource. Quant au niveau de confiance des prévisions de l'ampleur de l'impact sur l'usage des poissons et des communautés aquatiques d'aval, il est jugé faible.

Parmi les objectifs de fermeture figure l'introduction de poissons dans les plans d'eau de surface (les lacs résiduels) ou dans d'autres environnements réhabilités. Il se peut qu'une industrie de la pêche de poissons de consommation ou de poissons d'ornement se développe. Il est cependant impossible d'en prévoir le succès.

Le tableau 4.3-12 présente une classification générale des impacts résiduels. La classification globale en fonction des conséquences sur l'environnement se base sur le système d'évaluation décrit à la section 7 du volume A.

Tableau 4.3-12 Classification des impacts résiduels concernant les effets sur la pêche artisanale

Phase	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
effet : modification de l'accessibilité							
construction	négative	faible	locale	long terme	oui	élevée	faible
exploitation	négative	faible	locale	long terme	oui	moyenne	faible
effet : changements dans l'abondance ou dans l'état de santé des poissons							
construction	négative	faible	locale	long terme	non	faible	faible
exploitation	négative	faible	locale	moyen terme	non	moyenne	faible
fermeture	positive	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o
effet : changements dans la composition des espèces							
exploitation	neutre	faible	locale	long terme	non	faible	faible
fermeture	positive	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o

s/o critère sans objet pour un impact positif.

Surveillance

À la fermeture il sera fait un suivi de la réintroduction des espèces et de l'efficacité de cette mesure, afin de surveiller l'évolution du développement et de la réussite des pêcheries artisanales.

4.3.8 Conclusions

Malgré l'aménagement sur le site de zones de conservation visant à protéger les habitats aquatiques, la construction et l'exploitation de la mine produiront des impacts résiduels qui engendreront de grandes conséquences sur l'environnement pour les habitats aquatiques et les espèces endémiques rares. Une telle conclusion souligne le besoin d'établir des aires compensatoires hors site.

L'introduction ou la propagation d'espèces exotiques, résultat de la réalisation du projet, ainsi que leur impact sur les espèces de poissons ou les populations endémiques résiduelles peuvent également avoir un niveau de conséquence sur

l'environnement moyen. Même après la mise en place de mesures d'atténuation, il y a une forte probabilité que la réalisation du projet favorise la propagation des espèces exotiques. Toutefois, compte tenu de leur présence actuelle dans les plans d'eau du secteur d'étude et des pratiques d'occupation du territoire, il est vraisemblable qu'à long terme les espèces exotiques entraîneront l'éradication des espèces endémiques. Cela même en l'absence de mine.

Quant aux impacts sur l'habitat et les espèces aquatiques situés en aval, y compris le marais de Torotorofotsy, ils devraient être largement atténués et de faible conséquence. On s'attend aussi à ce que les effets sur la pêche artisanale aient un niveau de conséquence faible.

La conservation sur le site, par le moyen d'aires protégées, de quelques mares temporaires sensibles et d'un petit nombre d'habitats de cours d'eau aura des effets positifs, quoique limités.

Des impacts positifs, dont les conséquences demeurent pour le moment inconnues, accompagneront la préservation des mares et autres habitats aquatiques au sein d'aires protégées hors site (habitat azonale).

Au moment de la fermeture, la restauration d'habitats aquatiques, l'implantation ou la réintroduction de poissons et d'autres espèces aquatiques endémiques, de même que l'éventuel développement de pêcheries artisanales, pourraient engendrer des impacts positifs.

4.4 HABITATS NATURELS ET BIODIVERSITE

4.4.1 Introduction

Cette section de l'Etude d'impact environnemental (EIE) fournit une évaluation des effets potentiels du projet Ambatovy proposé (« le projet ») sur les habitats naturels et la biodiversité dans le secteur d'étude de la mine. L'évaluation est liée de façon intrinsèque aux composantes de la biodiversité : flore, faune et poissons. Conformément aux Termes de référence (volume H, section 1), des données propres au site ont été collectées afin de traiter des éléments suivants des habitats naturels et de la biodiversité:

- décrire le niveau actuel de perturbation et de biodiversité de chaque type de communauté naturelle terrestre et aquatique dans le secteur d'étude
- décrire la vulnérabilité de chaque communauté à la perturbation et sa capacité d'être restauré
- déterminer le statut (distribution et abondance) de chaque communauté
- décrire les caractéristiques du paysage dans le secteur d'étude telles que la connectivité et la fragmentation de l'habitat
- discuter les mécanismes d'atténuation et de compensation à utiliser pour réduire/compenser les pertes subies au sein des communautés naturelles
- discuter des possibilités que le projet améliore les conditions du maintien de la biodiversité
- évaluer les impacts résiduels des phases d'exploitation et de post-fermeture du projet sur les types de communautés naturelles et sur la biodiversité
- fournir des détails sur la surveillance et la gestion des habitats naturels et de la biodiversité qui font appel à la participation des résidents locaux

Cette section de l'EIE présente l'information suivante:

- Une description du secteur d'étude utilisé pour collecter des données de référence et évaluer les impacts liés au projet sur les habitats naturels et la biodiversité.
- Un résumé des données de référence collectées et des conditions actuelles. Le résumé met l'accent sur l'information la plus pertinente à l'évaluation des impacts prévus. Une description complète de la méthodologie, de l'analyse et des résultats de l'étude de référence est fournie dans le volume J (annexe 4.1).

- Une évaluation des impacts liés au projet sur les habitats naturels et la biodiversité, y compris la portée des enjeux, les méthodes d'évaluation, les mesures d'atténuation, les impacts résiduels prévus et un aperçu des activités de surveillance proposées.
- Un résumé des conclusions concernant les impacts résiduels prévus, et des mesures d'atténuation et activités de surveillance connexes.

4.4.2 Secteur d'étude

La zone principale du secteur local d'étude de la mine pour les ressources terrestres englobe le complexe du gisement (les gisements d'Ambatovy et d'Analamay) et des portions du marais de Torotorofotsy qui bordent le plateau et les bassins versants connexes (volume A; figure 7.2-1). Le secteur local d'étude comprend également l'empreinte au sol de la conduite d'eau proposée, ainsi que sa zone tampon de 500 m, qui s'étend sur 23 km à l'ouest à partir de la zone principale jusqu'à la rivière Mangoro.

4.4.3 Résumé de l'étude de référence

La présente section fournit un résumé des résultats sur le potentiel actuel de biodiversité et sur les paramètres de paysage des habitats naturels et des pratiques d'occupation des sols dans le secteur local d'étude. Le résumé se concentre sur les résultats qui sont importants pour évaluer les impacts du projet. Une description complète de la méthodologie, de l'analyse et des résultats de l'étude de référence est fournie dans le volume J (annexe 4.1).

4.4.3.1 Diversité de l'écosystème

Au total, 975 espèces de plantes, d'animaux et de poissons ont été identifiées jusqu'à présent dans le secteur d'étude de la mine (tableau 4.4-1). Parmi ces espèces, 343 sont endémiques dans l'île de Madagascar. Quarante-deux pour-cent des espèces végétales collectées ont été identifiées jusqu'à maintenant. Les espèces animales comprennent des fourmis, des papillons, des amphibiens, des reptiles, des oiseaux, des chauves-souris, des petits mammifères et des lémuriers. Quarante-trois espèces animales, deux espèces de poissons et neuf espèces de plantes ont un statut répertorié à l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN).

Tableau 4.4-1 Richesse en espèces, endémisme et statut de conservation de la flore, de la faune et des poissons dans le secteur local d'étude de la mine

		Richesse en espèces	Nombre d'espèces endémiques	Espèces UICN	Espèces CITES ^(a)
faune	oiseaux	113	63	15	16
	reptiles et amphibiens	111	110	16	21
	lémuriens	7	9	7	9
	petits mammifères	18	indéterminé	2	0
	chauves-souris	12	6	1	0
	papillons	131	environ 45 à 50%	1	0
	fourmis	75	indéterminé	1	0
	total	469	214	43	46
flore		494	127	9	58
poissons		12	2	2	0

^(a) CITES = Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction.

En proportion, d'après leur superficie au sein du secteur local d'étude, les écotypes azonaux, de transition et marécageux étaient extrêmement rares par rapport à l'habitat zonal (volume J, annexe 4.1, section 6.1.2). Dans le même ordre d'idées, l'endémisme de ces rares peuplements végétaux était également élevé, particulièrement dans le cas des habitats azonaux et de transition qui seront touchés par la mine. L'écotype de marais (c.-à-d. Torotorofotsy) ne subira pas d'impact de l'empreinte au sol de la mine ou le pipeline de pulpe. A l'opposé, l'habitat zonal se retrouve ailleurs à Madagascar et il présente un niveau intrinsèque plus faible d'endémisme. Dans l'ensemble, le classement cumulatif des habitats naturels était le plus élevé pour les écotypes azonaux et de transition, suivis par les écotypes marécageux et zonaux.

Le nombre d'espèces végétales endémiques était le plus élevé au site d'Ambatovy, suivi par Analamay et le marais de Torotorofotsy (volume J, annexe 4.1; section 6.1.3.2). Le nombre d'espèces répertoriées comme appartenant à la classe de Priorité 2 (potentiellement endémique à l'empreinte au sol du projet) et 3 (endémique à Madagascar) était similaire pour les deux gisements. Le nombre d'espèces répertoriées comme appartenant à la classe de Priorité 1 (potentiellement endémique dans l'empreinte du projet) était 2,5 fois plus grand dans le site d'Ambatovy. Le faible nombre d'espèces endémiques au site de Torotorofotsy était vraisemblablement corrélé à une intensité d'échantillonnage plus faible dans ce secteur par rapport à celui de l'empreinte au sol de la mine.

Pour ce qui est de la faune, une espèce de fourmi a été désignée comme appartenant à la classe de Priorité 1 dans le site d'Ambatovy et deux espèces d'amphibiens ont été classifiées comme appartenant à la classe de Priorité 1 des endémiques dans le site d'Analamay. Aucune espèce faunique n'a été répertoriée comme appartenant à la classe de Priorité 1 dans le marais de Torotorofotsy. Le nombre d'espèces désignées comme appartenant à la classe de Priorité 2 était largement composé d'amphibiens et de reptiles dans les sites d'Ambatovy (84%) et d'Analamay (73%), tandis que les fourmis (32%) et les reptiles et amphibiens (54%) constituaient la vaste majorité des espèces répertoriées comme appartenant à la classe de Priorité 2 dans le marais de Torotorofotsy.

Les deux espèces endémiques de poissons étaient abondantes dans les écotypes forestiers les plus primaires, tandis que les espèces exotiques étaient plus abondantes dans les régions perturbées. Une certaine faune endémique d'origine persistait dans les zones moyennement déboisées, mais ces animaux n'ont pas été détectés dans les zones fortement perturbées (c.-à-d. composées à 100% d'espèces exotiques). Aucun poisson n'a été répertorié dans des mares temporaires (volume J, annexe 3.1).

Le score global du potentiel de biodiversité variait de 185 pour l'écotype marécageux à 894 pour la forêt azonale (volume J, annexe 4.1, section 6.1.3). L'habitat azonale a obtenu la cote la plus élevée pour la plupart des paramètres d'écosystème, particulièrement pour la richesse en espèces, le caractère unique et l'endémisme, ainsi que la rareté et l'endémisme de l'habitat. Les écotypes de transition et zonaux ont présenté des cotes similaires pour les paramètres d'espèce, mais les valeurs de l'habitat étaient plus élevées pour l'habitat de transition. L'écotype combiné marais/forêt en bordure de marais (« marais ») a présenté de façon constante des cotes plus faibles que les autres habitats pour tous les paramètres d'écosystème, sauf l'endémisme de l'habitat. Cependant, un échantillonnage moins intensif de la flore et de la faune dans l'écotype de marais pourrait être lié au nombre relativement faible d'espèces répertoriées. Ainsi, par rapport aux écotypes forestiers, les efforts d'échantillonnage moins soutenus dans l'écotype de marais se sont possiblement traduits par un biais négatif au niveau des paramètres des espèces de l'écosystème et du potentiel de biodiversité connexe.

4.4.3.2 Diversité du paysage

Dans le secteur local d'étude de la mine, les habitats naturels ont été classés en six écotypes primaires d'origine, tandis que les îlots (« patches ») boisés présentement perturbés et non boisés ont été classés en tant que « zones perturbées d'occupation du sol ». Toutefois, très peu des habitats dans le secteur local d'étude n'ont pas été dégradés par une forme ou une autre de perturbation

d'origine humaine ou naturelle, puisque 89% du paysage est actuellement perturbé. Les résultats de l'analyse de la fragmentation des types de couverts primaires sont présentés au tableau 4.4-2. Voici un résumé des résultats afférents au potentiel de biodiversité:

- L'habitat azonal (comprenant la forêt azonale et les fourrés) représente une faible partie du secteur local d'étude mais possède le potentiel de biodiversité le plus élevé. La quantité actuelle de lisière associée à cet écotype est relativement faible par rapport à d'autres écotypes.
- La forêt de transition présente également un potentiel de biodiversité élevé et est peu représentée dans le secteur local d'étude.
- La forêt zonale représente la plus importante portion contiguë du paysage du secteur local d'étude. Compte tenu de la grande superficie, la quantité de lisière associée à la forêt zonale est la plus élevée de tous les types de couverts.
- Les écotypes combinés de forêt en bordure de marais et de marais forment 5% du secteur local d'étude; tous ces écotypes sont extrêmement rares par rapport à l'habitat zonal.
- Les mares temporaires, qui sont propres à la forêt azonale, représentent l'écotype le plus rare du secteur local d'étude de la mine. Dans l'étude de 1997 menée par Phelps Dodge (PDM), il était prévu que les îlots de forêt en bordure de marais et les mares temporaires fussent hautement vulnérables aux impacts en raison de leur petite étendue et de leur distribution irrégulière.
- Les zones perturbées d'occupation du sol présentent un faible potentiel de biodiversité. La quantité de lisière associée à ces zones est également élevée.

Tableau 4.4-2 Résultats de la fragmentation des communautés végétales primaires (écotypes) et des zones perturbées d'occupation du sol dans le secteur local d'étude de la mine

Paramètres du paysage	Habitat azonal	Forêt de transition	Forêt zonale	Mares temporaires	Forêt en bordure de marais	Marais	Zones perturbées ^(a)
superficie totale (ha)	1 380	1 489	12 573	5	231	915	6 301
proportion de la superficie totale (%)	6,0	6,5	54,9	0,02	1,0	4,0	27,5
superficie moyenne des îlots (ha)	460	372	349	0,2	14	229	37
nombre d'îlots	3	4	36	30	16	4	171
distance moyenne au plus proche voisin (m)	607	343	96	182	336	233	120
coefficient de variation de la distance au plus proche voisin (%)	123	99	105	124	176	89	124
lisière totale (km)	70	127	665	6	58	114	580

^(a) Comprend les pâturages, les rizières, les terres boisées d'eucalyptus, les brûlis et les villages.

Les classes de terres forestières comprenaient des habitats arborés naturels perturbés et non perturbés et des terres boisées d'eucalyptus. Les classes de terres non forestières comprenaient des habitats naturels perturbés en début de succession et divers îlots d'occupation agricole des sols. Les zones humides, les rizières et les implantations humaines ont été exclues de cette analyse. L'analyse de la fragmentation a indiqué que les terres couvraient 15 887 ha d'habitat terrestre dans le secteur local d'étude, tandis que la superficie non boisée occupait 5 539 ha. La taille moyenne des îlots d'habitat boisé était de 241 ha et les îlots étaient très dispersés dans le paysage (Coefficient de variation de la distance au plus proche voisin [CVDPPV] = 297%). Les îlots non boisés étaient nombreux et moyennement dispersés dans l'ensemble du paysage (nombre d'îlots = 205, CVDPPV = 153%) (voir volume J, annexe 4.1 pour plus de détails concernant le CVDPPV).

4.4.4 Evaluation des impacts

4.4.4.1 Portée des enjeux

L'un des principaux aspects de l'identification des enjeux environnementaux liés au projet Ambatovy faisait intervenir le processus de consultation publique. Lors du processus de consultation publique, on invitait les communautés locales, les organisations de conservation et les organismes gouvernementaux de tous les niveaux à émettre leurs commentaires pour l'intégration de l'élaboration du projet. Les enjeux suivants afférents aux impacts du projet sur les habitats

naturels et la biodiversité ont été basés sur la consultation publique et les Termes de référence (volume A, section 6):

- changements apportés aux habitats naturels rares ou vulnérables, tels que la forêt azonale et la forêt en bordure de marais
- changements au niveau de la richesse en espèces
- fragmentation additionnelle des forêts situées à l'ouest du corridor forestier Mantadia-Zahamena et du site Ramsar de Torotorofotsy
- induction d'impacts indirects dans le corridor forestier Mantadia-Zahamena et le marais de Torotorofotsy, liés à l'immigration de personnes
- effets positifs liés à des possibilités de contribuer à la conservation du corridor Mantadia-Zahamena par des activités d'atténuation ciblées à l'extérieur du site et de restauration sur les lieux du site

Parmi les activités liées au projet qui devraient entraîner des changements au niveau des habitats naturels et de la biodiversité, notons la construction et l'exploitation de la mine d'Ambatovy et la réhabilitation durant l'exploitation et la fermeture. Des détails spécifiques sur le projet sont décrits dans le volume B, à la section 2.0. Brièvement, les activités primaires et les installations associées à la mine qui influent sur les habitats naturels et la biodiversité sont les suivantes:

- Construction des installations et exploitation (par ex. la nouvelle infrastructure minière, l'usine de préparation du minerai et la station de pompage pour le transfert de pulpe).
- Construction et exploitation des fosses minières à ciel ouvert des gisements d'Ambatovy et d'Analamay, ainsi que le transport du matériau à faible teneur ou du stérile jusqu'aux haldes.
- Construction et exploitation de la station de prise d'eau sur la rivière Mangoro et du tracé de la conduite d'eau jusqu'à l'empreinte au sol de la mine (23 km de long).
- Construction et exploitation du pipeline de pulpe dans le secteur local d'étude de la mine. Le minerai sera réduit en pulpe à l'usine de préparation du minerai située entre les deux gisements puis pompé de l'usine de préparation du minerai jusqu'à l'usine de traitement située dans la région de Toamasina.
- Construction et exploitation des routes.
- Réhabilitation durant l'exploitation et la fermeture (par ex. mise hors service et enlèvement des installations, établissement d'un couvert végétal autosuffisant, réhabilitation de la forêt).

Tout au long de l'EIE, des questions clés ont été employées pour élaborer des liens de cause à effet, ou diagramme de liens (volume A; section 7). Le diagramme de liens illustrant les liens entre les activités du projet et les effets sur les habitats naturels et la biodiversité est présenté dans le volume H à l'annexe 9. Ces activités de projet influent également sur les populations végétales et animales qui représentent des composantes de la biodiversité. Ainsi, les changements à la flore et de la faune (y compris des poissons) et de l'habitat ont été évaluées en posant une question clé:

Question clé HB-1 Quel impact le projet Ambatovy aura-t-il sur les habitats naturels et la biodiversité ?

Seuls les liens qui présentent le potentiel d'affecter directement les habitats naturels et la biodiversité, tels que mesurés par les paramètres d'écosystème et de paysage (volume B, section 4.4.3), sont évalués et étudiés. Les effets indirects sur des composantes de la biodiversité telles que la flore, la faune, les poissons et les ressources aquatiques sont abordés dans le volume B, aux sections 4.1, 4.2 et 4.3. Un résumé de ces effets anticipés est présenté au tableau 4.4-3; le tableau indique également les autres sections de l'EIE où se trouvent les analyses d'impact.

4.4.4.2 Evaluation des impacts

Les indicateurs utilisés pour classifier le potentiel de biodiversité des écotypes primaires (habitats) dans le secteur local d'étude comprenaient la rareté de l'habitat, l'endémisme de l'habitat, la richesse en espèces, l'endémisme des espèces et le statut de conservation des espèces (UICN et CITES) pour les végétaux, la faune et les poissons (volume B, section 4.4.3). Les impacts directs du projet sur des indicateurs de l'habitat et de la biodiversité seront évalués selon les modifications de la superficie, de la composition et de la configuration spatiale des habitats dans le paysage (c.-à-d. les paramètres du paysage; volume B, section 4.4.3).

Tableau 4.4-3 Emplacement de l'information relative à l'analyse des impacts sur la biodiversité

Activités du projet	Enjeu	Impacts potentiels sur les habitats naturels et la biodiversité	Section de l'EIE sur la biodiversité	Section de l'EIE sur la flore	Section de l'EIE sur la faune	Section de l'EIE sur les ressources aquatiques	Section de l'EIE sur la santé
Construction et exploitation							
défrichement et infrastructure du site	perte et fragmentation de la végétation et de l'habitat faunique et aquatique	pertes d'espèces végétales, animales et de poissons	O	O	O	O	
		perte de végétaux, d'animaux et de poissons endémiques et inscrits	O	O	O	O	
		changement de la composition du paysage	O				
		changement de la configuration du paysage	O				
		mortalité directe d'espèces de faune			O	O	
		obstacles au mouvement de la faune et des poissons			O	O	
		obstacles à la dispersion		O	O	O	
		troubles sensoriels de la faune et des poissons			O	O	
	changement d'accès	changement de la chasse, du piégeage, de la pêche et de la prédation			O	O	
		augmentation des collisions entre véhicule et animaux sauvages			O		
	changement de la qualité de l'air	changement à la qualité des tissus végétaux et animaux		O	O	O	O
	changement de l'hydrologie	changement aux habitats terrestres et aquatiques		O	O	O	
	changement de la qualité de l'eau	changement à la qualité des tissus végétaux et animaux		O	O	O	O
Exploitation et fermeture							
réhabilitation	remplacement de l'habitat	changement au niveau de tous les impacts potentiels susmentionnés	O	O	O	O	

Note : O = Oui

Liens d'impacts potentiels

L'aménagement du projet provoquera la perte ou l'altération d'environ 1849 ha d'habitat dans le secteur local d'étude (y compris les zones tampons connexes et les tracés de la route et du pipeline qui mènent à la mine). Parmi toutes les sources possibles d'impacts découlant de la construction et de l'exploitation, la perte d'habitat compte parmi les plus importantes, puisqu'elle réduit la capacité du paysage à soutenir les espèces végétales, animales et de poissons (Fahrig 1997; Andrén 1999; Fahrig 2003). Depuis que la théorie de la biogéographie insulaire a été présentée par MacArthur et Wilson (1967), de nombreuses études ont démontré la relation négative qui existe entre la superficie d'habitat et la richesse en espèces et leur abondance (voir la revue faite par Debinski et Holt 2000). Plusieurs espèces sont également endémiques ou ont un statut de conservation spécial (volume B, section 4.4.3).

L'enlèvement et l'altération de l'habitat durant la construction et l'exploitation entraînent aussi la fragmentation (ou le morcellement) des écotypes du paysage. Les changements clés qui sont associés à la fragmentation comprennent la taille moyenne et le nombre d'îlots, la connectivité de l'habitat (distance moyenne et coefficient de variation de la distance au plus proche voisin) et la quantité de lisière (Fahrig 2003). La quantité d'habitats rares et endémiques sera influencée par des changements de la taille moyenne et du nombre d'îlots. La connectivité et les effets de lisière n'affectent toutefois pas la quantité d'habitats rares et endémiques.

L'impact potentiel le plus grand de la fragmentation sera sur le biote qui habite le paysage du secteur local d'étude, particulièrement les types d'habitat azonaux et de transition qui sont caractéristiques des gisements d'Analamay et d'Ambatovy adjacents au corridor Mantadia-Zahamena. Le processus de fragmentation entraîne souvent la déconnexion des lambeaux d'habitat, se soldant par une proportion élevée de périmètres ouverts. Par la suite, la fragmentation peut accroître la quantité de lisières d'habitat, diminuer la quantité d'intérieur d'habitat et augmenter la distance entre les îlots d'habitat (Turner 1996; Fahrig 1997, 2003).

Les changements relatifs à la lisière et à l'intérieur de la forêt peuvent avoir une influence négative sur les espèces qui peuplent les habitats en modifiant les régimes d'humidité, de lumière et de nutriments (Kitchell et al. 1979; Kapos 1989; Saunders et al. 1991; Brown 1993; Nichol 1994). De tels changements du microclimat affectent de façon particulièrement importante certaines espèces de plantes, de poissons, d'amphibiens et de reptiles. Ils augmentent aussi les risques d'introduction (accidentelle ou autre) d'espèces envahissantes ou exotiques qui peuvent supplanter et remplacer des espèces natives dans des niches uniques que

ces dernières occupaient précédemment dans un écosystème (Turner 1996; Debinski et Holt 2000; Benstead et al. 2003). Les mesures d'atténuation visant la destruction des mauvaises herbes et des espèces envahissantes devraient limiter ces effets (voir la section sur les mesures d'atténuation). Les lisières peuvent aussi modifier la dynamique des populations et des communautés, ainsi que la composition des espèces natives (Karieva 1987; Fagan et al. 1999).

La séparation spatiale accrue des habitats peut avoir un impact sur le mouvement, la dispersion (des animaux et des plantes), la survie et la reproduction des individus, ce qui peut affecter la probabilité de persistance des populations (Turner 1996; Fahrig et Paloheimo 1988; Pulliam 1988; Hanski 1996; Debinski et Holt 2000). Il y a un lien d'impact potentiel valide pour les effets de fragmentation.

La réhabilitation durant l'exploitation et lors de la fermeture est souvent la première étape du rétablissement d'un écosystème naturel. La réhabilitation réussie lors de la fermeture pourrait inverser certains des effets du projet sur les habitats naturels et la biodiversité. Il y a un lien d'impact potentiel valide pour la réhabilitation.

Le tableau 4.4-4 présente un résumé de l'évaluation des liens d'impact potentiel pour les habitats naturels et la biodiversité.

Tableau 4.4-4 Résumé des liens d'impacts potentiels sur les habitats naturels et la biodiversité

Paramètres des habitats naturels et de la biodiversité	Liens d'impacts potentiels					
	Superficie de l'habitat	Taille moyenne des îlots	Nombre d'îlots	Connectivité de l'habitat	Effets de lisière	Réhabilitation
rareté de l'habitat (superficie)	O	O	O	N	N	O
endémisme de l'habitat	O	O	O	N	N	O
richesse en espèces	O	O	O	O	O	O
endémisme des espèces	O	O	O	O	O	O
statut de conservation des espèces	O	O	O	O	O	O

O = Oui

N = Non

Méthodes d'évaluation

Les données de référence portant sur la rareté et l'endémisme de l'habitat, la richesse, l'endémisme et le statut de conservation des espèces (listes UICN et CITES) pour les plantes et la faune ont été utilisées pour estimer le potentiel actuel de biodiversité des écotypes primaires dans le secteur local d'étude (volume B, section 4.4.3). De l'information sur la richesse en espèces, l'endémisme et le statut de conservation des espèces de poissons a aussi été obtenue afin d'évaluer la contribution relative de la macrofaune aquatique à la biodiversité dans le secteur local d'étude. Il existe un lien fort entre les patrons de biodiversité, la persistance des populations et les attributs du paysage (ou paramètres) tels que la superficie de l'habitat, la taille des îlots, la dispersion spatiale des îlots, la connectivité et les lisières (Brown 1995; Debinski et Holt 2000; Fahrig 2003). L'analyse de la fragmentation du secteur local d'étude dans des conditions de référence a donc été effectuée pour quantifier la superficie, la composition et la configuration spatiale actuelles des habitats (volume B, section 4.4.3).

Les impacts directs du projet sur des indicateurs de l'habitat et de la biodiversité ont été évalués par le biais de changements de la superficie, de la composition et de configuration spatiale des habitats du paysage. Une analyse de la fragmentation du secteur local d'étude a été effectuée afin d'estimer les changements de superficie du paysage liés au projet, après avoir superposé l'empreinte au sol de la mine au paysage (scénario – projet réalisé). L'empreinte au sol comprenait la superficie principale de la mine (par ex. les installations, les routes, les fosses, les haldes de stériles), la conduite d'eau et une portion du pipeline de pulpe s'étendant de l'usine jusqu'aux limites du secteur local d'étude. Les perturbations principales sur le site de la mine comprenaient une zone tampon de 50 m; le pipeline de pulpe et la conduite d'eau étaient entourés d'une zone tampon de 50 m et de 25 m respectivement. L'analyse a été effectuée à l'aide de FRAGSTATS (Version 3.0), sur plate-forme SIG (Système d'information géographique).

L'impact potentiel du projet sur des indicateurs de la biodiversité a été estimé en calculant la différence relative entre les paramètres du paysage du scénario après projet et ceux des conditions de référence selon l'équation suivante:

$$\frac{(\text{indicateur du scénario projet réalisé} - \text{indicateur aux conditions de référence})}{\text{indicateur aux conditions de référence}}$$

La valeur calculée a ensuite été multipliée par 100 pour donner le pourcentage de changement du paramètre de paysage imputable au projet par rapport aux conditions de référence et pour fournir tout à la fois l'orientation et l'intensité de

l'impact. Par exemple, une valeur négative élevée pour la superficie de l'habitat indiquerait une perte substantielle de cet habitat. En revanche, une valeur négative pour la distance moyenne au plus proche voisin indique une augmentation de la connectivité de l'habitat. Les changements de paramètres du paysage ont ensuite été utilisés avec des critères d'évaluation (voir ci-dessous) pour prévoir les impacts du projet sur le potentiel de biodiversité entre écotypes et à l'intérieur du secteur local d'étude. Les impacts sur les habitats liés à des activités humaines d'occupation du sol (potentiel de biodiversité négligeable) n'ont pas été évalués dans le cadre de cette étude (voir le volume B, section 5.3 [Occupation du sol]).

Les impacts ont été évalués pour la période de construction jusqu'à l'exploitation, ainsi que pour la phase de fermeture. On suppose que les impacts maximaux se produiront durant la période de construction jusqu'à l'exploitation, particulièrement durant la construction et les étapes initiales de l'exploitation, alors que la perte directe et l'altération des habitats azonaux et de transition seront les plus fortes. Par contre, étant donné qu'il est proposé que la réhabilitation se fasse au cours de la fin de l'exploitation et lors de la fermeture, des impacts pourraient avoir été évalués de la construction jusqu'à la fermeture, ce qui aurait diminué l'intensité prévue des effets (il est supposé que la réhabilitation atténue les impacts). Cette approche n'a pas été adoptée pour les raisons suivantes : (1) le but était d'évaluer les impacts potentiels maximaux du projet et (2) la durée d'une réhabilitation réussie est incertaine.

Critères d'évaluation

Les impacts résiduels ont été déterminés selon un système de classification qui intègre l'orientation, l'intensité, la portée géographique, la durée, la réversibilité et la fréquence de l'impact, tel que décrit dans le volume A, à la section 7.4. Les termes de classification des effets résiduels propres aux habitats et à la biodiversité sont définis au tableau 4.4-5. La détermination des conséquences globales sur l'environnement emploie l'intensité, la portée géographique et la durée; ceci est décrit dans le volume A, à la section 7.

L'intensité, ou la sévérité, de l'impact constitue le critère le plus difficile à évaluer. Dans un monde idéal, les valeurs seuils relatives aux effets seraient connues et les paramètres mesurés pourraient être calculés précisément avec un niveau élevé de certitude. Cependant, les seuils des effets écologiques sont mal connus, particulièrement dans les systèmes tropicaux et les paramètres biologiques sont généralement associés à un écart naturel considérable. L'approche utilisée pour classer l'intensité était fondée sur des ouvrages scientifiques et sur une approche prudente.

En fonction d'une démarche fondée sur l'évaluation du risque, Suter et al. (1995) a déterminé que la règle de 20 % pour la sévérité des effets à la suite d'une contamination est applicable à différentes échelles spatiales des effets écologiques (c.-à-d., qu'un changement de 20 % dans les paramètres mesurés constitue un effet écologique). D'autres études empiriques et théoriques ont examiné le lien entre la perte d'un habitat convenable et le type de territoires et la probabilité du déclin de la population (Andrén 1994; Fahrig 1997; With 1997; Mönkkönen et Reunanen 1999; Andrén 1999). Ces études suggèrent que les seuils critiques pour les déclins chez les oiseaux non tropicaux et les espèces de mammifères interviennent entre 10 % et 60 % de l'habitat initial. Autrement dit, une diminution dans l'abondance et la richesse en espèces peut être observée lorsque la quantité d'habitats convenables perdus dépasse une valeur seuil de 40 % à 90 %. Ces impacts sont variables et les espèces montrent habituellement un éventail varié de réactions à la perte et à la fragmentation des habitats en fonction des caractéristiques démographiques et des capacités de dispersion (With et King 1999).

Puisque les valeurs seuils des effets sur l'habitat à l'égard de la persistance de la population dans les systèmes tropicaux n'ont pas été mesurées, une valeur plus prudente de 20 % a servi à définir la sévérité maximale d'un impact (tableau 4.4-5). Cette valeur correspond également au seuil des effets recommandés par Suter et al. (1995) afin de déterminer le risque écologique potentiel.

Tableau 4.4-5 Critères de description des impacts sur les habitats naturels et la biodiversité

Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence
neutre: aucun changement des indicateurs de biodiversité négative: changement des indicateurs de biodiversité	négligeable: aucun effet mesurable sur les indicateurs de biodiversité faible: <10 % de changement des indicateurs de biodiversité moyenne: 10 à 20 % de changement des indicateurs de biodiversité forte: >20 % de changement des indicateurs de biodiversité	locale: effet retreint au secteur local d'étude régionale: effet s'étendant au-delà du secteur local d'étude	court terme: <3 ans moyen terme: 3 à 30 ans long terme: >30 ans	réversible ou irréversible	faible: se produit une fois moyenne: se produit par intermittence élevée: se produit en continu

Mesures d'atténuation

Plusieurs mesures d'atténuation sont envisagées afin de réduire l'intensité, la portée géographique et la durée des impacts directs occasionnés par le projet sur les habitats naturels et la biodiversité dans le secteur d'étude du site minier. De plus amples renseignements sur ces mesures d'atténuation sont fournis dans les sections de la flore, de la faune et des ressources aquatiques de l'EIE (volume B, sections 4.1, 4.2 et 4.3). Les mesures d'atténuation comprennent :

- L'établissement de deux zones de conservation sur place représentant 306 ha. Une zone sera située sur le site Ambatovy (211 ha) et renferme trois mares temporaires (0,18 ha), une forêt azonale non perturbée (52 ha), et une forêt de transition perturbée (159 ha). L'autre zone sera située sur le site Analamay (95 ha) et renferme trois mares temporaires (0,13 ha), une forêt de transition de type azonale non perturbée (92 ha) et une forêt de transition perturbée (3 ha).
- La construction de clôtures pour certaines sections stratégiques entre les zones d'empreinte au sol de la mine et les zones de conservation.
- La prévention des effets directs (perturbation physique) et la réduction des effets indirects (changements dans la quantité et la qualité de l'eau) sur le marais de Torotorofotsy.
- La tenue de séances publiques d'information et de sensibilisation concernant les pratiques d'occupation du sol près des zones de restauration et de conservation.
- La création d'un refuge sur place pour les espèces floristiques vulnérables (la transplantation, la culture/multiplication, la réintroduction).
- La mise en œuvre de la destruction des mauvaises herbes dans les zones nouvellement développées.
- La relocalisation de la faune vulnérable vers des sites sécuritaires tels que des zones de conservation et un habitat azonale à l'extérieur du site.
- La tenue de travaux et d'études de restauration des habitats en utilisant des espèces natives afin de soutenir les plans de réhabilitation et de fermeture.
- La participation à la planification des ressources régionales avec le gouvernement de Madagascar.

Mesures de compensation

- Participation à l'élaboration et à la mise en œuvre d'un plan de gestion forestière afin de conserver l'intégrité biologique des zones de conservation (volume B, section 7).

- Protection d'habitats de compensation azonaux similaires à l'extérieur du site.

Dans la présente section, l'analyse s'attache à la définition des impacts résiduels sur le secteur local d'étude, après application des mesures d'atténuation. Les autres avantages des mesures compensatoires sur la biodiversité sont décrits plus en détail dans la section traitant des effets cumulatifs (volume G, section 3.4).

Résultats

La structure et la composition de la végétation des habitats primaires terrestres et marécageux (écotypes) du secteur local d'étude de la mine sont associées à des régimes spécifiques d'humidité, de nutriments et de sol (p.ex., cuirasse ferrallitique, pisolite, argile, tourbe) (volume J, annexe 1.1). Ces différences dans les attributs abiotiques et floristiques soutiennent des espèces fauniques et des communautés différentes (volume J, annexes 2.1 et 3.1), dont certaines peuvent être plus résistantes que d'autres à la perturbation. Les liens empiriques et théoriques entre la perte des habitats et les effets négatifs sur la biodiversité reposent sur une documentation abondante, par contre, la plupart des études ont été effectuées dans des environnements non tropicaux. La perte d'habitat a été reliée à des déclinis au niveau de la richesse en espèces, de l'abondance et de la répartition de la population et de la diversité génétique des espèces (Lande 1987; Hanski et al. 1996; Findlay et Houlihan 1997; Gibbs 1998; Wettstein et Schmid 1999; Best et al. 2001; Gibbs 2001; Bascombe et al. 2002; Donovan et Flather 2002; Schmiegelow et Mönkkönen 2002). On a également démontré que la perte d'habitat modifie d'une manière négative les interrelations entre les espèces (par ex., le taux de prédation, la compétition) de même que la dispersion réelle, le succès de reproduction et le comportement de recherche alimentaire des individus (voir Fahrig 2003).

La fragmentation de l'habitat peut aussi avoir une influence négative sur les processus de l'individu, de la population et de la communauté, qui sont jumelés à la biodiversité, mais les effets de la fragmentation auront un impact moindre que la perte d'habitat (Fahrig 1997; Andrén 1999; Fahrig 2003). Tout comme pour la perte d'habitat, on remarque une absence d'études sur les effets de la fragmentation dans les systèmes tropicaux. La fragmentation des habitats quant au territoire change la taille et le nombre de d'îlots, la connectivité entre les îlots d'habitat similaires et la quantité d'îlots résiduels à l'intérieur et à la lisière. Tel qu'il est mentionné précédemment, il a été établi que ces changements au niveau du paysage modifient les processus abiotiques (l'humidité, les nutriments) et biotiques, tels que la dispersion, le succès de la reproduction, la prédation, le parasitisme et la compétition.

Un résultat remarquable provenant des études de fragmentation consiste dans le fait que tous les effets ne sont pas négatifs (voir les études par Debinski et Holt 2000, et Fahrig 2003). A titre d'exemple, parmi les 17 études examinées par Fahrig (2003), la probabilité d'effets positifs ou négatifs provenant de la fragmentation était similaire.

L'analyse indique que le potentiel de biodiversité dans le secteur local d'étude sera très probablement touché par la perte d'habitat, la fragmentation de la forêt de transition azonale et les mares temporaires. Ces écotypes sont situés dans les gisements d'Ambatovy et d'Analamay adjacents au corridor de Mantadia-Zahamena. Les données de référence ont montré que l'écotype azonale qui est classé en premier parmi les indicateurs de la biodiversité, particulièrement la richesse en espèces, le nombre d'espèces endémiques, la rareté des habitats et l'endémisme des espèces (volume B, section 4.4.3). Les écotypes de transition et zonale étaient similaires quant aux indicateurs des espèces, mais les valeurs d'habitat étaient plus élevées pour l'habitat de transition. La disponibilité faible, la répartition fragmentée et l'endémisme élevé des mares temporaires (c.-à-d., l'association à la cuirasse ferrallitique dans l'habitat azonale) rendent aussi cet écotype sensible aux perturbations (volume B, section 4.4.3). La combinaison des écotypes de « forêt en bordure de marais » et de « marais », qui sont situés dans le marais de Torotorofotsy, a également un potentiel de biodiversité variant de moyen à élevé, mais ne sera pas touchée directement par le projet (tableau 4.4-6).

La mise en œuvre du projet devrait réduire la zone de l'habitat azonale (y compris les zones combinées de forêt azonale et de fourrés azonaux) et les mares temporaires dans une proportion respective de 71 % (de 1 380 à 395 ha) et de 87 % (de 5 à 0,6 ha) (tableau 4.4-6). L'habitat de transition sera réduit dans une proportion de 23 % (de 1 489 à 1 145 ha) ainsi qu'une diminution de 3 % (de 12 573 à 12 188 ha) est anticipée dans l'habitat zonale. La diminution dans la zone d'habitat zonale ne devrait avoir que des effets négligeables sur la biodiversité sur le secteur local d'étude, néanmoins, la perte de forêt azonale, de forêt de transition de type azonale et les mares temporaires auront probablement un impact négatif sur les populations de flore et de faune.

Une diminution de la taille des populations est associée à des risques plus élevés à la persistance des populations à cause de la stochasticité environnementale et démographique (Gilpen et Soulé 1986; Hanski 1996). Cependant, l'absence de connaissances à l'égard de la taille actuelle des populations et les variables démographiques pour les espèces de flore et de faune (par ex., la survie, le recrutement et la distance effective de dispersion) parmi les fragments d'habitat sur le territoire engendrent une incertitude dans la prévision de l'intensité de l'impact sur les indicateurs de biodiversité.

Tableau 4.4-6 Changement (%) dans les paramètres du paysage suite à la mise en opération complète de la mine par rapport aux conditions de référence pour habitats naturels et zones perturbées d'occupation des terres dans le secteur local d'étude

Paramètre du paysage	Habitat azonal	Forêt de transition	Forêt zonale	Mares temporaires	Forêt de bordure de marais	Marais	Zones perturbées ^(a)
superficie totale	-71,4	-23,1	-3,1	-87,2	0,0	0,0	27,2
superficie moyenne des îlots	-96,7	-86,6	-34,0	-56,3	0,0	0,0	35,1
nombre d'îlots	767	475	47,2	-73,3	0,0	0,0	-6,4
distance moyenne au plus proche voisin (DMPPV)	-80,6	-70,3	-13,5	17,0	0,0	0,0	-1,7
coefficient de variation de la distance au plus proche voisin (CVDPPV)	-23,8	-14,1	-1,9	-10,5	0,0	0,0	-3,2
lisière totale	-20,0	-15,7	2,6	-83,3	0,0	0,0	13,3

Note : Les valeurs sont calculées en tant que (scénario après projet – référence)/référence.

^(a) Inclut l'infrastructure, les pâturages, les rizières, les boisés d'eucalyptus, les zones de brûlis et les villages.

La superposition de l'infrastructure du projet a aussi occasionné la fragmentation des habitats actuels au sein du secteur local d'étude. La taille moyenne des îlots de type azonal a diminué dans une proportion de 97 % (de 460 à 15 ha) suivie d'un accroissement correspondant du nombre d'îlots (de 3 à 26). De même, la taille moyenne des îlots d'habitat de transition a diminué de 87 % (de 372 à 50 ha) et le nombre d'îlots s'est accru de quatre à 23 à la suite du l'aménagement du projet (tableau 4.4-6). Par contre, la diminution de 56 % de la taille moyenne des îlots des mares temporaires (de 0,2 à 0,07 ha) était associée à une diminution de 73 % (de 30 à 8) de leur nombre; et la petite taille des îlots individuels. Six d'entre elles sont situées dans les zones de conservation proposées d'Ambatovy et d'Analamay.

Les îlots plus petits peuvent produire des effets négatifs similaires à ceux qui sont liés à la perte d'habitat. Dans une certaine mesure, la superficie des îlots peut être insuffisante pour soutenir une population locale durable ou la distance entre les populations locales peut être trop grande pour une émigration efficace, ce qui réduit le succès de la recolonisation et de la persistance de la métapopulation (Hanski 1996; Pulliam 1996; Turner 1996; Fahrig 2003).

Les changements dans les interactions des populations et des communautés (par ex., la compétition, le mutualisme, le commensalisme, le parasitisme et la prédation) peuvent provoquer une perte d'espèces végétales et animales. Réciproquement, la perte d'espèces peut modifier ou endommager négativement la fonction, la stabilité et la résilience des écosystèmes (Lawton 1994). A titre d'exemple, des études près de Manaus en Amazonie, au Brésil, ont démontré que

les petits fragments renferment un moins grand nombre d'espèces de termites, de coléoptères, de grenouilles, d'oiseaux des sous-bois, de petits mammifères et de primates que les îlots de forêt plus grandes ou plus étendues (voir Turner 1996). D'autres études ont démontré qu'il existait une différence identifiable dans la composition et la richesse en espèces d'une communauté de coléoptères sur un îlot de 100 ha par rapport à une forêt continue (Laurance et Bierregaard 1996). Certaines espèces d'amphibiens de la famille des Mycrohylidae à Madagascar ont été détectées seulement dans des fragments boisés d'une taille de 30 ha à 40 ha (Vallan 2003). Cependant, s'il y a de l'eau dans les fragments boisés, alors les amphibiens seront plus tolérants à l'égard des réductions de la taille des îlots que les reptiles, les oiseaux et les petits mammifères (Vallan 2003).

L'analyse a également indiqué que le projet a légèrement modifié la dispersion et la connectivité spatiales des habitats azonal, de transition et de mares temporaires sur le territoire. Il y a eu une réduction de 11 % à 24 % du regroupement de ces habitats au sein de la zone locale adjacente au corridor Mantadia-Zahamena (tableau 4.4-6). A l'intérieur du secteur local d'étude, ces habitats sont devenus dispersés d'une façon plus aléatoire. A titre d'exemple, le CVDPPV est passé de 123 % à 93 % pour l'habitat azonal, et de 124 % à 111 % pour les mares temporaires. La distance moyenne au plus proche voisin (DMPPV) pour l'habitat azonal a diminué de 607 à 118 m, et de 343 à 102 m pour l'habitat de transition. Cependant, la perte de mares temporaires a produit une augmentation de la DMPPV de 182 à 213 m. La lisière totale des trois écotypes a diminué en ce qui a trait aux conditions de référence (tableau 4.4-6).

Les études sur la fragmentation dans les systèmes tropicaux et non tropicaux ont suggéré que des écarts de 50 à 100 m entre les îlots de forêt peuvent constituer des obstacles majeurs au mouvement de nombreuses espèces d'oiseaux et d'insectes (Turner 1996; Debinski et Holt 2000). Puisque plusieurs espèces d'oiseaux, d'insectes et de petits mammifères (incluant les chauves-souris) sont des transporteurs de pollen et de graines, des obstacles au déplacement des animaux peuvent aussi retarder le flux génétique et la dispersion des espèces végétales parmi les îlots d'habitat. L'augmentation de la connectivité entre les îlots de forêt et la diminution de la lisière totale, associés au projet, peuvent profiter à certaines espèces. Mais encore une fois, l'absence de connaissances sur la situation des populations et la distance réelle de dispersion des espèces réduit la confiance accordée à l'évaluation de la force des impacts de la fragmentation sur la richesse en espèces de flore et de faune et sur le nombre d'espèces endémiques et inscrites.

Impacts résiduels

En dépit de l'atténuation, les activités relatives à la construction, à l'exploitation et à la fermeture de la mine, provoqueront des changements négatifs aux habitats naturels et à la biodiversité. Même si l'information de référence a déterminé que le secteur local d'étude de la mine est actuellement perturbé à 89 %, il y a plusieurs écotypes qui soutiennent de nombreuses espèces de flore et de faune, dont plusieurs sont endémiques à Madagascar et ont un statut conservation particulier. Ces écotypes comprennent la forêt azonale, de transition et zonale, les mares temporaires (que l'on trouve seulement dans la forêt azonale), la forêt en bordure de marais et l'habitat de marais associé. Puisque l'empreinte au sol de la mine ne touchera pas le marais de Torotorofotsy, aucun impact à la forêt en bordure de marais ou à l'habitat des marais n'est anticipé. De plus, la légère diminution de la forêt zonale (3 %) associée au projet par rapport à la zone actuelle (12 573 ha) ne devrait avoir que des répercussions négligeables sur les végétaux et les animaux qui dépendent de cet écotype.

L'analyse de la superficie du paysage a indiqué que la fraction d'habitat naturel que l'on prévoit perdre du à l'empreinte au sol de la mine correspond à 71,4 % (985 ha) de la forêt azonale, 23,1 % (344 ha) de la forêt de transition et 87,2 % (4,4 ha) des mares temporaires. La taille moyenne des îlots de ces écotypes a diminué par un facteur variant entre 56 % et 97 % (tableau 4.4-6). L'augmentation de la connectivité des îlots peut profiter aux espèces qui habitent la forêt de transition azonale, mais la diminution de la connectivité entre les mares temporaires aura probablement des répercussions négatives sur les espèces dépendant de cet écotype. En fonction des changements négatifs sur la zone d'habitat, la taille moyenne des îlots et les critères d'évaluation, on prévoit que l'intensité de l'impact produit par le projet sur ces habitats naturels et sur la biodiversité connexe, sera forte pendant la construction et l'exploitation (tableau 4.4-7).

On prévoit que les impacts directs occasionnés par le projet sur les écotypes de transition azonaux seront locaux quant à leur portée géographique. Il est prévu que les impacts provoqués par la construction et l'exploitation seront moyens au niveau de la fréquence puisque la construction des installations et l'exploitation du gisement de minerai se dérouleront par étapes. Les effets occasionnés par le projet sur la perte d'habitat, la taille des îlots, la connectivité et la biodiversité se poursuivront jusqu'à la période de fermeture et seront, par conséquent, à long terme (tableau 4.4-7).

L'excavation du gisement enlèvera la cuirasse ferrallitique qui soutient la forêt azonale et la perte d'habitat de cet écotype (et des mares temporaires connexes) sera irréversible (volume B, section 4.1). Il est prévu que les premiers stades de

regénération de la forêt zonale et de la forêt dégradée s'établissent d'une manière relativement rapide dans les secteurs réhabilités (volume B, section 4.1).

Tableau 4.4-7 Classification des impacts résiduels sur les habitats naturels et la biodiversité

Phase du projet	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
Quel impact le projet Ambatovy aura-t-il sur les habitats naturels et la biodiversité?							
construction / exploitation	négative	forte	locale	long terme	irréversible	moyenne	élevée
fermeture	négative	moyenne	locale	moyen terme	réversible	moyenne	moyenne

Il est prévu que la réhabilitation lors de la fermeture renverse les impacts pour atteindre une intensité moyenne. La revégétalisation permettra vraisemblablement de fournir des habitats possédant une structure et une composition similaire à la forêt de transition et de transition de type zonal et offrir un habitat convenable pour certaines espèces de flore et de faune endémiques. La poursuite de programmes publics de sensibilisation, à partir du début de l'exploitation et jusqu'à la fermeture, sur les avantages écologiques de mener des pratiques d'occupation du sol à l'écart des zones de conservation et de réhabilitation devrait aider à renverser les impacts, y compris dans la zone tampon boisée régionale. De plus, la participation de Projet Ambatovy à un plan de gestion forestière pour la région peut accroître le potentiel de biodiversité dans une zone qui est actuellement perturbée à 89 % et qui sera probablement déboisée au cours des 20 prochaines années (Green and Sussman 1990).

Les changements dans la dynamique des populations et des communautés dans le secteur local d'étude au cours de la construction et de l'exploitation devraient commencer à diminuer au fur et à mesure de l'augmentation de la stabilité dans l'écosystème. Il est important de reconnaître que les habitats et l'écosystème ne retourneront probablement pas aux conditions actuelles à l'intérieur du secteur local d'étude. Les populations, les communautés et les écosystèmes réagissent constamment aux perturbations environnementales naturelles et liées aux activités humaines et sont dans un état d'équilibre dynamique (Holling 1973; Matthews et al. 1996). La situation postérieure au développement d'un écosystème peut être tout aussi fonctionnelle avec la structure et la composition recherchées, mais celle-ci ne sera pas la même qu'avant l'aménagement (Landis et McLaughlin 2000).

La réhabilitation surviendra périodiquement (fréquence moyenne) pendant la fermeture, et l'établissement d'un habitat convenable est prévu se réaliser au cours des 30 prochaines années (durée moyenne). Comme pour la construction et l'exploitation, les effets des activités de fermeture se produiront à l'échelle de la région.

Tenant compte de tous les critères, on prévoit que les conséquences sur l'environnement des impacts directs occasionnés par le projet sur les habitats naturels et la biodiversité seront élevées pendant la construction et l'exploitation et seront moyennes pendant la fermeture (tableau 4.4-7). Cette conclusion est directement associée au lien entre les habitats azonaux et le sol des gisements qui seront exploités. La préservation de zones azonales de conservation sur le site constitue un engagement d'atténuation très important. Cependant, étant donné la conséquence écologique élevée des impacts pendant la construction et l'exploitation, la recherche continue d'un plus grand nombre de zones azonales de conservation demeure également une priorité (Volume B, Section 4.1).

Niveau de confiance des prévisions

Comme tous résultats et inférences de nature scientifique, les prévisions d'impacts résiduels doivent être tempérées par l'incertitude associée aux données et aux connaissances actuelles du système. Dans le cas présent, la confiance envers les prévisions d'impact est liée aux trois éléments principaux:

- l'adéquation des données de référence pour la compréhension des conditions actuelles
- la compréhension des impacts liés au projet sur l'écosystème
- les connaissances quant à l'efficacité des mesures d'atténuation

L'estimation des paramètres utilisés dans l'évaluation de la biodiversité actuelle dans le secteur local d'étude (c.-à-d., la richesse en espèces, l'endémisme et l'état de conservation des espèces) a été réalisée en fonction de l'intensité et de la répartition de l'échantillonnage, et des types de taxons échantillonnés. Dans le cas de plusieurs groupes taxonomiques tels que les plantes, les fourmis et les papillons, les courbes cumulatives du nombre d'espèces n'ont pas un comportement asymptotique, laissant présager qu'un échantillonnage plus intense aurait généré un plus grand nombre d'espèces. Ceci n'est pas étonnant compte tenu des efforts requis pour recueillir un inventaire détaillé d'espèces tropicales, même dans une seule région (Lawton et al. 1998). De plus, l'échantillonnage était restreint au secteur local d'étude qui a produit vraisemblablement une surestimation du nombre d'espèces endémiques de priorité 1 et de priorité 2 qui peuvent être touchées. La compréhension de ce que sont les conditions de

référence est relativement bonne, néanmoins, principalement en raison de la complexité de la science, il subsiste un degré élevé d'incertitude à l'égard de la compréhension des relations et des mécanismes fonctionnels qui ont mené au nombre actuel et à la répartition des espèces observées dans le secteur d'étude.

Le niveau de confiance envers la compréhension des impacts occasionnés par le projet est variable; malgré l'abondance de la documentation confirmant le fait que la perte d'habitats provoque des impacts négatifs sur les populations et les communautés, les effets des impacts liés à la fragmentation ou à la perturbation indirecte sont moins bien compris. La confiance envers la prévision des impacts varie, par conséquent, de faible à moyenne.

La cessation des activités minières et la réhabilitation des habitats devraient favoriser le renversement des effets négatifs du projet (c.-à-d., stabiliser l'écosystème). Au niveau de la forêt zonale, des premiers stades de régénération devraient s'établir rapidement sur les zones en cours de réhabilitation. Le rétablissement de l'habitat de transition sera probablement plus difficile, mais sera néanmoins réalisé avec succès par le biais d'une série d'essais sur le site. Pour ce qui est de l'habitat azonale, les prévisions indiquent qu'il ne retournera pas à son état original. Des événements aléatoires (par ex. : un feu, une sécheresse extrême ou des cyclones) et les pratiques futures d'occupation du sol par les humains (par ex. : plantations, agriculture) peuvent porter atteinte ou éliminer les avantages potentiels des zones de conservation et de réhabilitation.

Surveillance

L'objectif global de la surveillance consiste à tester l'efficacité des mesures d'atténuation et de détecter les effets imprévus. Notamment, s'il s'avérait que des problèmes surgissent à l'égard de la viabilité des zones de conservation azonales sur le site, la protection de zones de compensation à l'extérieur du site devrait alors être mise en place. Le programme de surveillance en matière de biodiversité sera celui mis en oeuvre pour les composantes de la biodiversité : flore, faune et poissons (volume B, sections 4.1, 4.2 et 4.3). Les changements aux processus et à la fonction de l'écosystème auront pour cible les facteurs abiotiques tels que la qualité de l'eau, l'hydrologie et la qualité de l'air (poussières et émissions atmosphériques). La perte d'habitat et les paramètres de fragmentation seront également évaluées périodiquement (c.-à-d. tous les deux ou trois ans). Des placettes d'échantillonnage permanentes seront installées dans les zones de conservation azonales. Les zones de réhabilitation et les habitats situés à différentes distances de l'empreinte au sol de la mine feront l'objet d'une surveillance de certaines espèces de flore et de faune pré-sélectionnées.

4.4.5 Conclusions

Les changements dans la superficie, la composition et la configuration spatiale des habitats ont été utilisés pour évaluer les impacts directs occasionnés par le projet sur les habitats naturels et la biodiversité. Les analyses ont indiqué qu'après la mise en place de mesures d'atténuation il n'y aurait pas d'impacts résiduels sur le marais de Torotorofotsy et des effets négligeables aux espèces habitant l'écotype de la forêt zonale. Les impacts les plus élevés proviendront de la perturbation aux habitats azonaux, à la forêt de transition et aux mares temporaires. On prévoit que les impacts résiduels au cours de la construction et de l'exploitation seront d'une intensité élevée, de portée géographique régionale, continus et à long terme. Pendant la fermeture, il est prévu que la réhabilitation et la protection en continu des zones de conservation permettront de renverser les impacts résiduels (à l'exception de la perte d'habitat azonale et des mares temporaires connexes) pour les amener à une intensité moyenne. La portée des effets sera régionale et de durée moyenne. Dans l'ensemble, on prévoit que les conséquences sur l'environnement du projet sur les habitats naturels et la biodiversité seront importantes au cours de la construction et de l'exploitation, et moyennes pendant la fermeture.

Le projet aura des impacts négatifs sur les habitats naturels et leur biodiversité à l'intérieur du secteur d'étude. Néanmoins, la gravité de l'impact sur l'écosystème est incertaine. L'établissement de zones de conservation azonales sur le site et la réhabilitation des habitats favoriseront l'atténuation des impacts. De plus, eu égard au niveau élevé des impacts résiduels dans le secteur local d'étude, qui ne peut être évité, des mesures de compensation des pertes relatives à la biodiversité seront réalisées hors site, et comprendront des habitats azonaux et zonaux dans des zones tampons. Une analyse des impacts combinés du projet sur la biodiversité, incluant les effets positifs des mesures de compensation, est présentée au volume G, section 3.4. Du point de vue cumulatif, la gestion des zones tampons boisées et autres mesures de compensation se rapportant à la biodiversité pourrait permettre au projet de générer un impact net positif sur l'état de la biodiversité durant les phases d'exploitation et de fermeture.

Le programme de surveillance de la flore et de la faune testera l'efficacité des mesures d'atténuation touchant la biodiversité et pourra détecter les effets imprévus. Le programme de surveillance permettra de déterminer si des changements devraient être apportés aux mesures d'atténuation.

4.5 AIRES PROTEGEES

4.5.1 Introduction

Cette section présente l'évaluation environnementale des effets de la mine sur les aires protégées existantes et proposées. Conformément aux Termes de référence du projet Ambatovy, les impacts potentiels de la mine sur l'intégrité écologique et la durabilité économique (par ex., le tourisme) des aires protégées dans le secteur régional d'étude sont évalués.

4.5.2 Secteur d'étude

Pour les aires protégées, deux secteurs d'étude sont concernés : un secteur local d'étude qui englobe la zone susceptible d'être touchée directement par le projet Ambatovy (le projet) et un secteur régional d'étude qui comprend la zone sujette aux effets indirects des populations qui viennent s'installer dans la région pour travailler à la mine.

Le secteur local d'étude de la mine pour les aires protégées est le même que le secteur local d'étude terrestre présenté au volume A, section 7, figure 7.2-1. Il comprend les zones de perturbation de la mine et de la conduite de la prise d'eau, plus une zone tampon de 500 m autour de ces zones dans toutes les directions. Le secteur local d'étude comprend aussi le marais de Torotorofotsy et son bassin jusqu'à 500 m de ce marais. Le secteur régional d'étude de la mine comprend toutes les zones à moins de 100 km du site de la mine.

4.5.3 Résumé de l'étude de référence

Le site Ramsar de Torotorofotsy est situé en partie dans le secteur local d'étude de la mine (volume J, section 6.1, figure 6.1-1). Torotorofotsy est le marais naturel continental le plus vaste et le plus intact de l'est de Madagascar. Les sites Ramsar ne sont pas protégés tant qu'une loi spécifique n'a pas été adoptée par l'Etat de Madagascar; cependant, les sites Ramsar sont des zones humides d'importance internationale reconnue qui ont été désignés en fonction de leur importance aux plans de l'écologie, la botanique, la zoologie, la limnologie ou l'hydrologie. On s'attend généralement, en vertu de la Convention Ramsar, à ce que les sites Ramsar reçoivent un statut de protection incorporant la notion d'«exploitation judicieuse» (Secrétariat Ramsar 2004). Le marais de Torotorofotsy est présentement utilisé pour l'écotourisme, la chasse et la récolte des plantes à petite échelle et (sur le périmètre du marais) la riziculture, la foresterie durable à petite échelle (plantations d'eucalyptus) et l'habitation humaine; 83 pour cent du site Ramsar se trouve à l'intérieur du secteur local

d'étude de la mine et des classes d'occupation du territoire y ont été établies. Selon les conditions de référence, 40 pour cent de la portion de ce site Ramsar se trouvant dans le secteur local d'étude a déjà été perturbée soit par culture sur brûlis (tavy), soit par les plantations d'eucalyptus, soit par les rizières.

La zone de conservation proposée de Mantadia-Zahamena¹ se trouve aussi en partie dans le secteur local d'étude de la mine. Le corridor forestier de Mantadia-Zahamena ne jouit présentement d'aucun statut de protection mais est en instance d'être défini comme un « site de conservation » par le Gouvernement de Madagascar avec le concours d'autres parties intéressées. Depuis la rédaction de ces lignes, un arrêté temporaire de protection a été signé par le Ministre de l'environnement. Les limites provisoires de la zone de conservation à proximité de la mine sont illustrées au volume J, section 6.1, figure 6.1-1. Une entente a été signée entre Dynatec et les représentants du Gouvernement de Madagascar (le 21 juin 2005), stipulant que les limites de la zone de conservation n'empiéteront pas sur les secteurs où Dynatec a des droits miniers (ou « carrés miniers »). Les limites exactes et le statut de protection exact de la zone n'ont pas encore été établis mais devraient l'être en 2006. L'aire protégée devrait prévoir des zones de protection de la biodiversité (75%) et des zones à usages multiples (25%).

Les autres aires protégées proposées ou existantes à l'intérieur du secteur régional d'étude de la mine sont le Parc national de Mantadia, la Réserve spéciale d'Analamazaotra, le corridor forestier d'Anjozorobe et la forêt domaniale et les zones de protection privées de Maromiza.

Plus de détails au sujet de toutes les aires protégées proposées et existantes dans les secteurs local et régional d'étude de la mine sont présentés au volume J, section 6.1.

En général, le tourisme à Madagascar, y compris le tourisme dans les aires protégées, a connu une forte croissance entre 1992 et 2002, et de nouveau depuis 2002, malgré une baisse en 2002 pour des raisons politiques (PTE/EDENA 2004; Site web Madagascar-Contacts. 2004). L'écotourisme est perçu comme un important secteur de croissance au niveau national.

¹ Dans le nouvel arrêté 20-021, ratifié le 30 décembre 2005, le corridor porte la dénomination Ankeniheny - Zahamena (CAZ). En outre, cet arrêté propose une série de nouvelles limites afin d'assurer la protection temporaire de la zone de conservation en création. Au cours de l'élaboration de cette EIE, ces informations n'étaient pas disponibles, et la présente étude reflète donc l'état des choses au milieu de l'année 2005.

4.5.4 Portée des enjeux

Les aires protégées constituent à la fois une source de revenus touristiques et un moyen de préserver le patrimoine naturel de Madagascar. Les effets sur ces aires, tant existantes que proposées, doivent être considérés soigneusement et minimisés dans la mesure du possible, soit en choisissant les options d'emplacement et de tracé les plus appropriées, soit en appliquant des mesures d'atténuation efficaces. La consultation publique a relevé la préoccupation que le projet ne devra pas avoir d'impact sur les aires protégées, y compris sur le site Ramsar de Torotorofotsy (volume A, section 6).

Les effets potentiels suivants de la mine sur les aires protégées peuvent résulter des causes énoncées:

- altération directe des habitats dans une zone due à l'aménagement du projet
- morcellement de l'habitat dans une zone due à l'aménagement du projet
- impacts indirects dans une zone dus aux changements à la qualité de l'eau ou à sa quantité
- impacts indirects dans une zone dus au développement induit, changements à l'occupation du territoire ou au tourisme
- protection et gestion rehaussées des terres protégées par suite de l'appui financier du projet

Les liens entre les effets sur les aires protégées et les autres composantes du projet sont illustrés dans un diagramme de liens (volume H, annexe 9).

La question clé concernant les aires protégées est la suivante:

Question clé PR-1 Quels effets, directs et indirects, la mine aura-t-elle sur les aires protégées?

4.5.5 Evaluation des impacts

L'empreinte au sol de la mine aura un impact direct sur une partie du site Ramsar de Torotorofotsy, y compris une partie du bassin versant du marais, mais aucun impact sur le marais même. Puisque la mine sera située sur le côté ouest du marais de Torotorofotsy et hors du corridor forestier de Mantadia-Zahamena, elle ne morcellera pas les aires protégées.

Des changements dans les débits des cours d'eau ou à l'écoulement des eaux souterraines pourraient affecter le marais de Torotorofotsy et les cours d'eau traversant le corridor forestier de Mantadia-Zahamena. Ces effets ont le potentiel de provoquer des changements à la végétation aux abords du marais et des cours d'eau.

L'aménagement de la mine entraînera une augmentation de la population de la zone. Il pourrait en résulter des menaces supplémentaires sur les aires protégées, notamment l'occupation du sol accrue par le développement induit et l'accroissement du tourisme. Ces effets peuvent être positifs ou négatifs.

Le projet s'est engagé à protéger deux aires de conservation azonales sur le site de la mine et à apporter son appui à la gestion d'autres aires protégées dans le secteur régional d'étude. Ceci représente un effet positif sur les aires protégées.

4.5.5.1 Méthodes d'évaluation

L'évaluation des effets sur les aires protégées repose sur les éléments suivants:

- une analyse d'un point de vue physique de l'étendue des aires protégées du secteur local d'étude sur lesquelles l'empreinte au sol de la mine empiète
- les résultats des études sur l'hydrologie, l'hydrogéologie et la qualité de l'eau; ceux-ci indiquent comment l'écoulement de l'eau sera affecté dans le secteur local d'étude
- l'information sur les impacts socioéconomiques; celle-ci aide à déterminer les effets démographiques indirects sur les aires protégées du secteur régional d'étude

Un logiciel SIG (Système d'Information Géographique) a été utilisé pour faire l'analyse spatiale des impacts sur les aires protégées. Les résultats de la modélisation de l'hydrologie, l'hydrogéologie et la qualité de l'eau ont été utilisés pour discuter des impacts potentiels sur l'eau au site Ramsar de Torotorofotsy. Un modèle socioéconomique, décrit au volume B, section 5.1, a été utilisé pour estimer les changements démographiques; cette information a été appliquée à l'analyse des impacts sur les aires protégées.

4.5.5.2 Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation présentés au tableau 4.5-1 ont été utilisés pour évaluer les impacts sur les aires protégées.

Tableau 4.5-1 Critères de description des impacts sur les aires protégées

Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence
positive: gestion améliorée des aires protégées neutre: aucun changement aux aires protégées négative: dégradation des aires protégées	négligeable: aucun effet mesurable faible: effets physiques sur 1% ou moins d'une aire protégée et/ou impacts indirects mineurs moyenne: effets physiques sur 10% ou moins d'une aire protégée et/ou impacts indirects moyens forte: effets physiques sur 10% ou plus d'une aire protégée et/ou impacts indirects élevés	locale: effet restreint au secteur local d'étude régionale: effet s'étendant au-delà du secteur local d'étude dans le secteur régional d'étude supra-régionale: effet s'étendant au-delà du secteur régional d'étude	court terme: <3 ans moyen terme: 3 à 30 ans long terme: >30 ans	réversible ou irréversible	faible: se produit une fois moyenne: se produit par intermittence élevée: se produit en continu

4.5.5.3 Mesures d'atténuation

L'empreinte au sol de la mine sera limitée à la superficie minimum possible pour en assurer une exploitation efficace et économique.

Un plan de gestion de l'eau pour la mine sera mis en œuvre pour assurer que les débits dans les bassins versants du marais de Torotorofotsy demeurent en accord avec les niveaux des variations naturelles historiques. Le débit solide sera contrôlé et la charge en sédiments et autres substances dans l'eau se déversant dans le site Ramsar de Torotorofotsy et dans le corridor forestier de Mantadia-Zahamena seront maintenus dans des limites acceptables déterminées en fonction des besoins des gens et des écosystèmes aquatiques. Des mesures d'atténuations additionnelles relatives à la gestion des eaux sont fournies dans les évaluations de l'hydrogéologie, de l'hydrologie et de la qualité de l'eau (volume B, sections 3.7, 3.8 et 3.9).

Le projet apportera son appui à la protection de deux portions d'habitat de forêt azonale sur le site et aux activités de gestion et de planification ou à la recherche dans le site Ramsar de Torotorofotsy.

Les superficies des bassins versants du site Ramsar de Torotorofotsy seront réhabilitées afin de maintenir les régimes d'écoulement à long terme et minimiser l'envasement et les effets sur la qualité de l'eau du site Ramsar par suite de la fermeture de la mine.

Les installations de gestion des eaux de la mine seront conçues et construites de manière à minimiser le risque de débordement des bassins. Les détails concernant cette mesure d'atténuation sont fournis dans les sections sur les risques naturels et les ressources aquatiques (volume B, sections 3.6 et 4.3).

4.5.5.4 Résultats

Les effets sur les aires protégées des secteurs local et régional d'étude doivent être examinés dans le contexte plus large de Madagascar. Le pays accorde une importance majeure aux aires protégées et envisage présentement de porter à six millions d'hectares les aires protégées. Le but est de conserver à la fois la biodiversité et les systèmes environnementaux tels que les fonctions des bassins versants, tant pour protéger les habitats naturels uniques du pays que pour encourager le tourisme comme appui à l'économie.

Impacts sur le milieu physique

La zone devant être affectée directement par la mine empiète sur le site Ramsar de Torotorofotsy. Les lignes directrices au sujet des sites Ramsar insistent sur une exploitation judicieuse, c'est-à-dire une utilisation qui ne modifie pas en permanence les qualités biologiques du site. Jusqu'à maintenant, environ 40% du site Ramsar a été modifié directement par l'exploitation humaine, bien que ces effets soient réversibles. Le projet aura un impact sur 3% additionnels de la superficie du site Ramsar (300 ha sur 9300 ha).

Impacts sur l'eau

Le marais de Torotorofotsy et le corridor forestier de Mantadia-Zahamena seront affectés par l'altération du débit d'eau en aval du projet résultant de la dérivation des cours d'eau d'amont. Cependant, le défrichement du site aura pour effet d'augmenter l'écoulement de surface vers le marais. Le marais pourrait aussi être affecté par la perte d'apports en eaux souterraines parce qu'une zone de dépression de la nappe d'eau souterraine sera créée autour de la mine. Dans l'ensemble, les écoulements devraient suivre les variations naturelles historiques durant l'exploitation et après la fermeture (volume B, section 3.8). De plus, l'utilisation d'une conduite d'approvisionnement en eau puisant dans la rivière Mangoro apporte une marge de manœuvre dans la gestion des eaux de la mine. Avec l'approfondissement des connaissances au sujet du fonctionnement de

l'agro-écosystème de Torotorofotsy, il se pourrait que le projet puisse mieux gérer les émissions d'eau de manière à apporter un avantage additionnel au site Ramsar.

L'eau de ruissellement des aires perturbées sera stockée dans des bassins de décantation durant l'exploitation normale et sera rejetée seulement lorsqu'elle satisfait aux normes applicables. La qualité de l'eau et les débits seront surveillés, y compris dans la région de Torotorofotsy. Compte tenu des résultats, le besoin d'une surveillance biotique sera évalué.

La percolation ou l'infiltration des eaux provenant des installations de la mine a le potentiel d'affecter la qualité des eaux souterraines en aval du secteur de la mine; de même, la percolation dans les eaux souterraines d'eaux ayant été en contact avec des matériaux générateurs de solutés se produira après la fermeture des installations. Les prévisions sont que la qualité de l'eau hors site respectera les lignes directrices internationales (volume B, section 3.9).

Impacts sociaux indirects

La population de la région de Moramanga devrait augmenter à cause des retombées économiques directes et indirectes de la mine.

Le marais de Torotorofotsy peut être affecté par le développement induit, si le développement économique dans le secteur de la mine entraîne l'établissement de nouvelles collectivités dans les régions adjacentes. Les migrants arrivant dans la région n'auront pas tous un emploi à la mine et plusieurs se tourneront vers l'activité agricole pour subsister. Par conséquent, malgré l'élaboration de plans de gestion pour cette région, les impacts liés à la production du riz et autres formes d'occupation du sol pourraient augmenter à cause des impacts sociaux indirects.

Certains effets bénéfiques pour le marais de Torotorofotsy pourraient résulter d'une meilleure accessibilité et de la publicité accrue, découlant des activités à la mine. Le niveau de tourisme devrait augmenter, y compris le tourisme des employés de la mine. Le tourisme est une industrie en croissance à Madagascar et il s'agit d'un impact positif.

La zone de conservation proposée de Mantadia-Zahamena devrait aussi être affectée par le développement induit par la mine parce que la mine constituera un fort pôle d'attraction des migrants dans la région.

Les autres aires protégées proposées ou existantes dans le secteur régional d'étude de la mine sont le Parc national de Mantadia, la Réserve spéciale d'Analamazaotra, le corridor forestier d'Anjozorobe et la forêt domaniale de Maromiza. Ces zones pourraient connaître de légers effets relatifs à l'augmentation du tourisme résultant de l'augmentation d'une population ayant des revenus disponibles à Moramanga. Là encore, il s'agit d'un impact positif.

4.5.5.5 Analyse des impacts

Impacts résiduels

Les impacts résiduels sur les aires protégées par suite de l'application de mesures d'atténuation sont résumés au tableau 4.5-2.

Tableau 4.5-2 Effets potentiels et impacts résiduels sur les aires protégées

Phase du projet	Effets potentiels	Mesures d'atténuation	Impacts résiduels
construction	défrichement du paysage et dérivation de cours d'eau vers des bassins de rétention	lutte contre l'érosion gestion de l'eau, y compris aucune utilisation du bassin de Torotorofotsy aux fins de la mine ingénierie de la stabilité des pentes	modification physique d'intensité faible/à court terme du site Ramsar de Torotorofotsy
exploitation	défrichement du paysage dérivation de cours d'eau vers des bassins de rétention et impacts sur la qualité de l'eau effets sociaux indirects d'un accroissement de population établissement d'aires protégées azonales sur le site	lutte contre l'érosion gestion de l'eau conçue de manière à maintenir le régime naturel des cours d'eau du bassin versant des marais ingénierie de la stabilité des pentes réhabilitation progressive planification de la gestion forestière pour les zones entourant le secteur local d'étude de la mine n.a.	modification d'intensité moyenne/à moyen terme du site Ramsar modification d'intensité faible/à moyen terme de l'hydrologie du site Ramsar impact négatif de faible intensité/à moyen terme sur les aires protégées dans le secteur local d'étude impacts positifs à moyen terme sur les aires protégées dans le secteur régional d'étude impact positif à long terme sur la préservation des aires azonales
fermeture	percolation de l'eau du secteur de la mine et effets sur la qualité de l'eau	planification de la réhabilitation	effets d'intensité négligeable/à long terme sur la qualité de l'eau d'aval

n.a. = ne s'applique pas.

Durant la phase de construction de la mine, seulement une petite partie du site Ramsar sera modifiée. Les effets, au cours de cette période, seront de faible

intensité et à court terme. La modification du terrain se fera de façon intermittente et à une fréquence considérée comme moyenne. Cet effet est réversible et la conséquence sur l'environnement est négligeable.

Durant la phase d'exploitation de la mine, un maximum de 3% du site Ramsar sera modifié. Cet effet est considéré d'intensité moyenne et de durée moyenne (ou à moyen terme). La conséquence globale de cet effet sur l'environnement est faible.

Le ruissellement de l'eau vers le marais de Torotorofotsy sera soigneusement maintenu durant l'exploitation de manière à ce que le débit demeure dans la gamme des variations naturelles du système à chaque saison et à ce que la qualité de l'eau respecte les normes les plus rigoureuses de Madagascar et de la Banque Mondiale. Le plan de gestion des eaux de la mine donne la priorité au maintien des débits en saison sèche. Cependant, la modification du bassin versant pourrait entraîner de légers changements à la fonction du système, y compris un plus fort débit de pointe durant la saison des pluies. Cet impact est considéré de faible intensité. La durée de l'effet est à moyen terme, sa fréquence moyenne et l'effet est réversible. La conséquence sur l'environnement de cet impact est faible.

L'aire protégée de Mantadia-Zahamena est alimentée par le bassin de la Sakalava à Analamay. La gestion de l'eau dans ce bassin causera des débits plus élevés en saison des pluies, tout en maintenant les débits dans la gamme des variations naturelles en saison sèche. À deux kilomètres en aval de la mine, il est prévu que les volumes d'eau augmenteront de 10 à 15% durant les mois les plus humides (décembre, janvier, février et mars). Plus de détails sur les impacts hydrologiques sont fournis dans la section sur l'hydrologie (volume B, section 3.8). Les mesures de lutte contre l'érosion et l'utilisation du système de bassins de clarification au nord-est d'Analamay auront un effet d'atténuation sur la sédimentation; la surveillance de la qualité de l'eau sera effectuée périodiquement. Cet impact est considéré comme de faible intensité, de portée locale et à moyen terme. Toutefois, l'effet n'est pas réversible parce que les changements dans les volumes d'eau continuera à exister après la fermeture. La conséquence sur l'environnement de cet impact est faible.

Les effets indirects de la migration de populations vers Moramanga et la région voisine de la mine sont difficiles à prévoir mais il est estimé de façon conservatrice qu'ils seront faibles à l'égard des aires protégées après l'application des mesures d'atténuation et grâce à la planification de l'occupation du territoire. Ces effets seront à moyen terme, de fréquence moyenne et ils seront réversibles. La conséquence sur l'environnement de cet impact sera donc faible.

Les impacts susmentionnés résultant de l'aménagement de la mine ne devraient pas affecter négativement la durabilité économique et le potentiel touristique du site Ramsar de Torotorofotsy, du corridor forestier de Mantadia-Zahamena ou de toute autre aire protégée dans le secteur régional d'étude. Cependant, un effet additionnel sur les touristes visitant ces aires protégées pourrait résulter des impacts visuels décrits au volume B, section 3.10. Des impacts positifs à moyen terme sont prévus pour le tourisme régional (dans les aires protégées du secteur régional d'étude). Des impacts positifs à long terme sont attendus par suite de la conservation sur le site et hors site d'aires protégées azonales. Parce que ces effets sont positifs, ils ne sont pas classés parmi les conséquences sur l'environnement.

Grâce aux activités de réhabilitation à la fermeture, la plupart des impacts sur les aires protégées deviendront négligeables. Cependant, tel que présenté au volume B, section 3.8, des débits plus élevés sont prévus pour la saison des pluies après la fermeture.

Tableau 4.5-3 Classification des impacts résiduels sur les aires protégées

Phase	Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
enjeu : défrichement ou morcellement des aires protégées							
construction	négative	faible	locale	court terme	oui	moyenne	négligeable
exploitation	négative	moyenne	locale	moyen terme	oui	moyenne	faible
enjeu : changements à la qualité de l'eau et à sa quantité							
construction/exploitation	négative	faible	locale	moyen terme	non	moyenne	faible
fermeture	négative	faible	locale	long terme	non	moyenne	faible
enjeu : impacts indirects des changements sociaux/démographiques (modification à l'occupation du territoire)							
exploitation	négative	faible	locale	moyen terme	oui	moyenne	faible
enjeu : impacts indirects des changements sociaux / démographiques (tourisme)							
exploitation	positive ^(a)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
enjeu : protection directe des aires azonales							
toutes	positive ^(a)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

^(a) la classification des impacts n'est pas applicable aux impacts positifs.

n.a. = ne s'applique pas.

Niveau de confiance des prévisions

Dans l'ensemble, le niveau de confiance des prévisions pour cette évaluation est moyen. Les incertitudes concernant les effets sur les aires protégées proviennent des incertitudes décrites dans les sections sur la qualité de l'eau, l'hydrologie, l'hydrogéologie et les aspects socioéconomiques. Des incertitudes supplémentaires sont associées aux mesures d'atténuation telles la mise en œuvre d'un plan de gestion forestière et le degré de succès de ce plan à l'égard des activités d'occupation du sol à l'intérieur et aux environs des aires protégées du secteur local d'étude.

4.5.5.6 Surveillance

La qualité de l'eau rejetée dans le système du marais de Torotorofotsy sera surveillée selon tel qu'il est décrit dans la section sur la qualité de l'eau du présent volume (volume B, section 3.9). Les débits dans le marais de Torotorofotsy seront surveillés régulièrement afin d'assurer que les niveaux sont dans la gamme des variations naturelles indiquées dans les données de référence.

4.5.6 Conclusions

Un niveau faible de conséquences sur l'environnement dans les aires protégées résultera de plusieurs impacts durant la phase d'exploitation. Le site Ramsar de Torotorofotsy devrait être touché par le défrichement direct d'une petite partie de son bassin versant, par les changements à la qualité de l'eau et à sa quantité et par les effets indirects de l'accroissement de la démographie régionale sur l'occupation du territoire. Le corridor forestier de Mantadia-Zahamena projeté pourrait aussi être affecté par les changements locaux à la qualité et à la quantité de l'eau des cours d'eau et par les effets indirects de l'accroissement démographique régional sur l'occupation du territoire.

Les impacts durant la phase de construction devraient avoir un niveau de conséquence négligeable.

Les impacts suivant la fermeture devraient avoir un niveau de conséquence faible, atténué en grande partie par les mesures de réhabilitation.

Des impacts positifs sont prévus, en regard des apports économiques accrus via le tourisme dans les aires protégées du secteur régional d'étude et via la protection par le projet des aires azonales.

Les impacts résultant de l'aménagement du site de la mine ne devraient pas affecter négativement le potentiel touristique des aires protégées du secteur régional d'étude.

5.1 ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES

5.1.1 Introduction

Les cinq communes de Morarano Gare, Ambohibary, Moramanga, Ampasimpotsy et Andasibe constituent les principales zones d'impact de la mine. Ces communes sont les plus proches du site de la mine, et elles peuvent s'attendre à des d'interactions significatives avec la mine en termes d'opportunités économiques, étant donné l'engagement du projet de contribuer à la formation et l'emploi local. Moramanga, où seront menées toutes les activités de recrutement pour la mine, montre une économie plus diversifiée que d'autres communautés rurales et pourrait ainsi bénéficier de plus grandes retombées économiques. De plus, étant donné la possibilité qu'elles ressentent davantage d'impacts négatifs, ce sont ces communes qui bénéficieront des mesures d'atténuation sociale et des investissements sociaux potentiels du secteur de la mine du Projet Ambatovy (le projet). Ces communes utilisent les ressources terrestres, en eau et forestières, ressources qui pourraient être affectées négativement par la mine. Les résidents de ces cinq communautés sont également susceptibles de subir des impacts négatifs associés à l'immigration interne à Madagascar. Les fokontany au sein de ces communes qui sont les plus près du site de la mine sont plus exposés à des impacts négatifs. Les données socio-économiques de référence sont présentées à l'annexe 1.1, volume K.

5.1.2 Mesures d'atténuation des impacts et de maximisation des retombées positives

Les mesures d'atténuation socio-économiques et de maximisation des retombées positives du projet seront en grande partie planifiées et implantées pour l'ensemble du projet. Bien que certaines initiatives soient spécifiques à des composantes du projet ou aux effets spécifiques de ces composantes la plupart des mesures mises de l'avant par le promoteur sont applicables à tous ou à la plupart des composantes du projet, du moins en termes d'objectifs, de principes et d'approches. Cette section s'applique donc de façon générale aux cinq composantes du projet; des précisions sont apportées lorsqu'il est nécessaire de différencier entre les composantes. La matrice des mesures d'atténuation des impacts et de maximisation des retombées positives, présentée dans le tableau 5.1, fournit également plus de détail sur la façon dont les mesures décrites ci-dessous s'appliquent de façon spécifique à la mine.

Tableau 5.1 Mesures d'atténuation des impacts et maximisation des retombées positives

impact	Mesures d'atténuation d'impact et de maximisation des retombées positives
Tout le projet	
Emploi	Initiative de développement des ressources locales (IDRL). Inclura des cibles par type et niveau d'emploi qui évolueront avec le temps et un programme de formation (au sein de l'entreprise et via les institutions malgaches) visant à augmenter progressivement: a) le nombre de salariés malgaches et b) le niveau des emplois confiés à ces salariés. Etablira une distinction entre la mine et l'usine, entre les contextes de Moramanga et de Toamasina ainsi que les phases de construction et d'exploitation. Tiendra compte de la formation nécessaire afin d'assurer que les opérations du projet n'utilisent pas trop de main d'œuvre qualifiée à Toamasina au détriment d'autres entreprises locales. Considérera des mesures de soutien aux organismes de formation locaux, afin que la main d'oeuvre soit disponible en réponse au potentiel d'effets économiques induits et indirects du projet. Les contrats des entrepreneurs des pays étrangers impliqués dans la construction et l'opération incluront des mesures de participation à l'IDRL.
Achat de biens et services	Un Plan d'Achat (PA) identifiera les sources malgaches de fourniture de biens et services requis pour la construction et l'exploitation. Comprendra des mesures pour le renforcement, dans le temps, de la capacité des fournisseurs malgaches de biens et services. Le PA pourra comprendre, par exemple : le morcellement des achats de manière à permettre que les appels d'offres pouvant être satisfaits par des fournisseurs ou intermédiaires malgaches, soient effectués localement, ou assister des fournisseurs malgaches potentiels de sorte qu'ils puissent former des agréments de consortium (Joint Venture) avec des fournisseurs étrangers. Les entrepreneurs de construction et d'exploitation de l'étranger seront obligés de participer au PA.
Développement de la capacité de la main-d'œuvre et des entreprises	L'IDRL et le PA, tel que présenté ci-dessus. Ceci étant un objectif à long terme, l'accent pourra être mis sur les éléments de la phase de construction qui sont applicables à long terme à la période d'opération ainsi que sur la phase d'opération elle-même.
Croissance économique nationale, incluant les effets induits et indirects	Le PA, tel que présenté ci-dessus
Retombées fiscales positives pour les instances gouvernementales et les administrations décentralisées	Aucune mesure requise.
Renforcement du secteur minier	Aucune mesure requise.
Amélioration de l'infrastructure nationale	Interventions planifiées par le projet dans les opérations de Madarail (construction, approvisionnement en biens d'équipement, gestion, etc.). Interventions planifiées par le promoteur en construction de route d'accès. Achat potentiel d'électricité au réseau national.
Effet de démonstration sur le potentiel d'investissement étranger	Aucune mesure requise.
Site de la mine	
Emploi	IDRL, tel que ci-dessus, avec des sections spécifiques à l'exploitation minière et au contexte de Moramanga.
Achat local de biens et services	PA, tel que ci-dessus, avec des sections spécifiques à l'exploitation minière et au contexte de Moramanga.

Tableau 5.1 Mesures d'atténuation des impacts et de maximisation des avantages (suite)

impact	Mesures d'atténuation d'impact et de maximisation des retombées positives
Effets économiques indirects et induits par les emplois et les achats directs du projet sur la main-d'œuvre et les entreprises	L'IDRL ou le PA, tel que ci-dessus.
Formation et renforcement des capacités de la main-d'œuvre, des entreprises et administrations décentralisées locales	L'IDRL ou le PA, tel que ci-dessus. L'implication du projet dans les initiatives de planification régionales décrites ci-dessous devrait avoir un effet positif sur la capacité de l'administration décentralisée locale.
Croissance économique locale	Aucune mesure requise.
Diversification de l'économie locale	Aucune mesure additionnelle au PA, tel que ci-dessus
Recettes additionnelles pour l'administration décentralisée locale résultant de la distribution de redevances	Aucune mesure requise. Cependant, le projet considèrera à offrir une assistance en ce qui concerne la gestion budgétaire si les régions et les communes en font la demande.
Amélioration des services gouvernementaux résultant des recettes supplémentaires de redevances	Aucune mesure spécifique requise. L'implication du projet dans les initiatives de planification régionale décrites ci-dessous devrait avoir un effet positif sur la prestation de services gouvernementaux.
Assistance au développement des communautés et renforcement des capacités locales	Partenariats avec les communautés, les administrations décentralisées, le gouvernement et ONG pour la planification et le développement des communautés. Les modalités de participation aux interventions dans le développement des communautés seront identifiées, de même que : le rôle éventuel du projet; les zones géographiques cibles; les secteurs d'intervention prioritaires (l'éducation, les activités productives, la santé, etc.); ainsi que les mécanismes de réalisation en partenariat avec les populations affectées, leurs administrations décentralisées et les organisations partenaires éventuelles.
Soutien aux initiatives de planification régionale	Contribution et modalités d'appui à la planification régionale à être identifiées par le biais de consultations et partenariats avec les populations affectées, leurs administrations décentralisées et les organisations partenaires éventuelles. L'appui aux initiatives de planification régionale comprendra des éléments pour augmenter les capacités des planificateurs régionaux.
Accroissement du niveau de bien-être résultant de revenus accrus et la prestation de services améliorée.	Aucune mesure requise.
Possibilité que la réinstallation d'un petit nombre de ménages soit nécessaire	Plan de réinstallation
Ménages et ressources de subsistance affectées par l'aménagement linéaire des terres et les exigences de la servitude	Les tracés détaillés des aménagements linéaires (conduite d'approvisionnement en eau, lignes électriques, routes) éviteront le plus possible les villages, les habitations et les terres agricoles. En cas d'impossibilité, des compensations seront accordées ou, à la limite, une réinstallation sera envisagée en fonction de la perte de ressources de subsistance encourue..

Tableau 5.1 Mesures d'atténuation des impacts et de maximisation des avantages (suite)

impact	Mesures d'atténuation d'impact et de maximisation des retombées positives
Nuisances associées aux activités de construction et d'exploitation, augmentation de la congestion du trafic, du bruit, des poussières, du changement de la qualité de l'air, etc.	Mesures d'atténuation de tous les effets environnementaux de manière à éliminer les effets sociaux, et mise en œuvre les meilleures pratiques en matière de construction et d'exploitation.
Effets de la quantité et qualité des eaux de surface et eaux souterraines sur la santé et les moyens de subsistance	Tout besoin sera lié à la planification de la surveillance environnementale des effets et aux consultations. Selon le cas, remplacement des ressources en eau, ou réinstallation. Le remplacement de la ressource favorisera un approvisionnement en eau de façon « durable », c.-à-d. enraciné dans l'économie locale et géré localement, plutôt que l'achat et la livraison d'eau par le projet. Cette dernière alternative ne saurait être qu'une solution temporaire en attendant une solution à long terme.
Perte ou accès réduit aux ressources forestières, qui servaient de moyen de subsistance, résultant des besoins en terrains du projet ainsi que des mesures d'atténuation des effets biologiques	Implication des parties prenantes et recherche de consensus dans la gestion de l'aménagement de zones forestières tampon. Au besoin, remplacement des ressources forestières perdues ou fourniture de ressources alternatives. Tel que ci-dessus, le remplacement de la ressource ou d'une ressource alternative doit être durable dans l'économie locale et géré localement.
Pression sur l'agriculture et les terres de pâturage résultant de changements dans l'occupation du sol et d'un petit nombre de réinstallations.	Aucune mesure d'atténuation directe possible. En attendant les consultations publiques avec les communautés, le projet pourra envisager la promotion d'initiatives agricoles visant l'amélioration de la gestion et de la productivité des terres. Une consultation continue et un mécanisme d'enregistrement des plaintes pourront identifier tout effet particulièrement négatif attribuable au projet dans le cadre d'une gestion adaptative.
Migration et effets résultants (voir ci-dessous pour les effets résultants)	Politiques d'entreprise, élaborées et rendues publiques, en matière de gestion du personnel et visant à décourager directement ou indirectement la migration. Ces politiques pourraient inclure des mesures telles qu'aucun embauche sur le site du projet, la concertation avec les résidents et les autorités locales pour assurer que les résidents des communes riveraines soient identifiés et présélectionnés pour embauche; maximisation des contacts entre la main d'œuvre expatriée et l'économie locale; fourniture d'hébergement pour les travailleurs malgaches non locaux, etc. Un certain niveau de migration sera cependant observé, et l'atténuation de ses impacts négatifs potentiels sur la population locale sera envisagée par d'autres mesures (voir ci-dessous).
Hausse de l'incidence du VIH/SIDA et autres maladies transmissibles résultant de revenus accrus, présence de main-d'œuvre non locale, migration, etc.	Mise en place de programmes VIH/SIDA sérieux et persuasifs pour les travailleurs et le public et mise en application de codes de conduite pour les travailleurs, en accord avec les efforts de l'état et les efforts locaux pour minimiser les impacts de la maladie.
Menaces sur la santé et la sécurité publique résultant de revenus accrus, présence de main-d'œuvre non locale, migration, trafic accru, etc.	Gestion de la main-d'œuvre, y compris les programmes de formation interculturelle et l'application de codes de conduite. Après consultations publiques, des interventions spécifiques ciblant la santé publique pourraient être prioritaires. Des consultations publiques continues et un mécanisme d'enregistrement des plaintes pourront identifier tout effet particulièrement négatif attribuable au projet dans le cadre d'une gestion adaptative.

Tableau 5.1 Mesures d'atténuation des impacts et de maximisation des avantages (suite)

impact	Mesures d'atténuation d'impact et de maximisation des retombées positives
Pressions sur les infrastructures sociales et physiques locales (écoles, services de santé, logement, etc.) découlant de la migration.	En cas de difficulté à contrôler la migration, le projet évaluera les impacts sur l'infrastructure locale et appuiera les efforts locaux pour les corriger. Après consultation publique avec les communautés, une assistance sera fournie pour la planification des infrastructures sociales et des investissements requis, en ciblant en priorité les services de santé et d'éducation. Des consultations publiques continues et un mécanisme d'enregistrement des plaintes pourront identifier tout effet particulièrement négatif attribuable au projet dans le cadre d'une gestion adaptative.
Inflation résultant des revenus accrus, et hausse de la demande locale de biens et services	Aucune mesure d'atténuation directe possible. Les retombées positives du projet ainsi que l'aide aux initiatives de développement des communautés devraient produire des bénéfices économiques pour l'ensemble de la région de Moramanga. Il est attendu que le déséquilibre entre l'offre et la demande se corrigera à court terme. Des consultations publiques continues et un mécanisme d'enregistrement des plaintes pourront identifier tout effet particulièrement négatif attribuable au projet dans le cadre d'une gestion adaptative.
Conflits sociaux entre les travailleurs non locaux et les résidents, de même qu'entre les membres des familles, individus, villages et communes	Politiques de gestion des travailleurs pour la main d'œuvre non locale incluant de la formation interculturelle et la mise en application de codes de conduite. Les conflits au sein de la population locale ne pourront être atténués directement. Des consultations publiques continues et un mécanisme d'enregistrement des plaintes pourront identifier tout effet particulièrement négatif attribuable au projet dans le cadre d'une gestion adaptative.
Changements culturels	Aucune mesure d'atténuation directe possible. Les effets potentiels ne peuvent être prévus et seront autant positifs que négatifs. Des consultations publiques continues et un mécanisme d'enregistrement des plaintes pourront identifier tout effet particulièrement négatif attribuable au projet dans le cadre d'une gestion adaptative.
Impacts associés aux risques d'accidents réels ou perçus liés aux infrastructures du site de la mine, pour les travailleurs autant que pour le public en général.	Politique d'entreprise en matière de santé et sécurité, incluant de la formation sur la santé et sécurité. Education du public sur les risques réels. Planification de l'intervention d'urgence. Assurance médicale pour les salariés, incluant l'assurance invalidité. Service médical sur le site.
Fermeture et effets économiques et sociales	Politique d'entreprise en matière de durabilité. Considération de la fermeture éventuelle de la mine dans tous les plans d'investissements sociaux.

Les principales différences entre les effets socio-économiques des diverses composantes du projet sont mises en contexte ci-dessous:

- Les zones de la mine et du secteur de l'usine/parc à résidus ressentiront toute la gamme des impacts positifs et négatifs typiques que l'introduction d'un projet important dans les milieux ruraux occasionnent généralement. Ceci inclut la réinstallation, dont la planification (mesures d'atténuation) sera décrite dans un plan de réinstallation séparé.
- Le pipeline subira des effets à court terme pendant sa construction. Alors que les mesures d'atténuation et de maximisation des retombées positives telles que décrites ci-dessous seront appliquées au pipeline, puisque les effets à long terme sont largement négligeables, ces mesures mettront l'accent dans ce qui suit sur le site de la mine et le secteur de l'usine/parc à résidus.
- Toamasina, un centre urbain important, bénéficiera particulièrement des retombées économiques du projet. Même si le changement qu'il implique une économie améliorée pour une ville peut avoir un impact négatif sur certaines personnes, ce que le promoteur prévoit prendre en considération, les effets seront plutôt du type de ceux habituellement associés à un contexte de relance économique.
- La disponibilité des emplois sera plus importante au site de l'usine, alors qu'elle sera moins importante au site de la mine. Les emplois le long du pipeline seront principalement de courte durée pour la période de sa construction.

5.1.2.1 Principes et objectifs

Les principes suivants guident la l'élaboration des mesures d'atténuation des impacts sociaux et de maximisation des retombées positives:

- Les communautés et les personnes les plus susceptibles de subir les effets négatifs du projet recevront les bénéfices des plans sociaux de façon préférentielle. Cependant, autant le promoteur que le gouvernement de Madagascar ont intérêt à ce que les retombées positives soient distribuées plus largement dans le pays. Ceci implique que même si les communautés rurales au voisinage du site de la mine et du secteur de l'usine/parc à résidus auront priorité à cet égard, il est admis que lorsque les résidents locaux ne pourront ou ne voudront prendre avantage de ces bénéfices, des mesures devront être disponibles pour une distribution plus large sur Madagascar.
- Tout au long de la durée de vie du projet, la consultation publique et la participation permettront de définir les priorités, besoins et préférences, de manière à décider quelles mesures d'atténuation seront mises en œuvre, et comment elles le seront. Les mesures d'atténuation et de

maximisation des retombées positives telles que décrites ci-dessous n'ont pas encore été définies en détail. Cette définition sera complétée par des consultations publiques supplémentaires avec les populations affectées.

- L'élaboration et l'implantation des mesures d'atténuation et des maximisations des retombées positives se feront en partenariat non seulement avec les communautés, mais aussi une gamme d'organisations gouvernementales et de la société civile. Ces organisations pourront apporter une expérience culturelle et une connaissance appropriée, de manière à optimiser les bénéfices socio-économiques nets du projet. Ce partenariat assurera également que les initiatives mises en œuvre par les promoteurs sont cohérentes et complémentaires à la planification et la mise en œuvre d'initiatives de développement économique et social en cours, tel qu'assuré par les agences administratives décentralisées locales et régionales ainsi que les agences gouvernementales nationales.
- La planification et l'implantation des mesures d'atténuation et de maximisation des retombées positives ainsi que de toutes les opérations du projet se réaliseront dans un contexte d'imputabilité et de transparence. Cela inclut la présentation de rapports destinés au public sur les programmes, le financement, les résultats des mesures d'atténuation et de maximisation des retombées positives, ainsi que des mécanismes d'accès aux promoteurs, pour les communautés, leurs administrations décentralisées et le gouvernement, dans le cas où des effets négatifs se produisent ou des plaintes sont soulevées. Ce besoin a été souligné lors des consultations publiques (volume A, section 6).
- Des critères de durabilité seront intégrés aux décisions sur les mesures d'atténuation et des maximisations des retombées positives, en considérant:
 - la demande démontrée pour chaque mesure
 - la volonté des personnes affectées de participer à la planification et l'implantation des mesures qui requièrent leur participation
 - les changements qui interviendront lors de la fermeture, de sorte que les projets n'impliquent pas la contribution à long terme du projet Ambatovy
 - une distribution équitable des projets aux populations affectées
 - une cohérence avec la planification gouvernementale
 - une durabilité financière assurée par le principe de l'utilisateur-payeur et/ou l'intégration des projets dans les structures gouvernementales et/ou de la société civile

Les principaux objectifs des mesures d'atténuation des maximisations des retombées positives sont:

- atténuer les impacts et accroître les avantages liés à la mise en œuvre du projet
- créer des opportunités de participation au projet, pour les résidents locaux, de manière à accroître l'autodétermination et la durabilité
- établir le rôle du projet Ambatovy en tant que membre actif de la communauté et participant au développement durable de Madagascar
- maintenir un esprit de bonne volonté et de bonnes relations avec les communautés et leurs chefs ainsi que le pouvoir en place

5.1.2.2 Emploi préférentiel, opportunités d'affaires et formation

Emploi

La politique d'emploi du projet est de maximiser l'embauche de salariés malgaches et de résidents locaux, de manière à assurer que les avantages du projet profitent à la fois à l'économie malgache, mais aussi à l'économie et à la population locale. Une telle politique exige la mise en place d'initiatives spécifiques au projet pour éliminer les barrières à l'emploi lorsque les personnes ont peu d'expérience dans le secteur minier. Dans le contexte du site de la mine, « local » doit être compris comme incluant Moramanga, où la plupart des qualifications pourraient être disponibles. Les résidents à proximité immédiate du projet, cependant, pourront bénéficier de programmes de formation académique et d'amélioration des compétences ainsi que d'opportunités d'emploi. Toutefois, de manière à limiter les effets d'une migration incontrôlée de main-d'œuvre vers les communautés riveraines les activités de recrutement seront conduites à Moramanga.

Il est important pour la population locale que le projet n'entre pas en conflit avec les activités de subsistance qui sont importantes au plan économique, social et culturel, en ce qui concerne l'identité culturelle des individus et des communes. Tel que décrit dans l'étude de référence (volume K, annexe 1.1), la sous-représentation des femmes dans la main-d'œuvre pourrait découler d'un manque d'opportunités davantage que d'un manque de désir de participer. Plusieurs des meilleurs emplois à la mine requerront au moins un diplôme d'études secondaires. Cette contrainte pourrait potentiellement constituer une barrière à l'emploi de plusieurs résidents locaux.

Le projet Ambatovy élaborera une Initiative de développement des ressources locales (IDRL) qui permettra d'accroître l'emploi à l'aide de procédures et d'une politique de ressources humaines, et pourrait comprendre:

- L'étude des barrières à l'emploi (comme le sexe, le degré d'alphabétisation, l'éducation, les compétences, les pratiques culturelles et sociales, etc.) en ce qui a trait aux besoins en main-d'œuvre du projet; et le développement d'une stratégie pour surmonter ces barrières.
- L'établissement d'objectifs réalisables visant l'accroissement progressif de la proportion de travailleurs a) recrutés localement et b) recrutés à Madagascar grâce à la maximisation des niveaux de qualifications.
- L'établissement d'un système qui assurera une distribution équitable des emplois entre les communautés affectées par le projet, dans le cas spécifique du site de la mine.
- La disponibilité d'information complète et facilement accessible sur les besoins en main-d'œuvre, les descriptions de tâche, les qualifications requises et les critères de performance. Le personnel de l'équipe de relations sociales sera disponible aux centres de recrutement pour aider les salariés potentiels dans leurs demandes d'emploi.
- L'évaluation préliminaire de tous les candidats à un emploi en fonction du lieu de résidence et en choisissant préférentiellement, à compétence égale, les candidats qui sont des résidents locaux pour les postes à combler.
- La revue des besoins en éducation et en formation pour les postes à combler, en effectuant l'évaluation des acquis avec l'optique de considérer les expériences antérieures au titre de qualifications lorsque c'est possible, en fonction des besoins opérationnels.
- La mise en place de : programmes de pré-emploi afin d'encourager les candidats potentiels à compléter leur formation primaire et secondaire ; programmes de formation spécialisée ; programmes de formation en gestion et de formation en cours d'emploi ; ceci en vue de rehausser le recrutement local, la fidélisation du personnel et l'avancement.
- La conduite d'entrevues de fin d'emploi, dans le but d'améliorer la compréhension des barrières à l'emploi à long terme et l'intégration des résultats dans des initiatives appropriées.
- L'offre de formation interculturelle à tous les salariés, de manière à faciliter l'intégration des salariés locaux dans la main-d'œuvre.
- Les points ci-dessus ne sont pas facilement applicables à la construction du pipeline, qui n'offrira que des opportunités d'emploi de courte durée à un endroit donné. Le développement des ressources locales comprendra un engagement assurant que les postes demandant le moins de qualifications techniques seront remplis en priorité par ceux

demeurant dans les environs immédiats, tout en prenant des mesures pour décourager la migration de travailleurs vers les communautés locales.

Opportunités d'affaires

Tout comme pour les emplois, la politique du projet est de maximiser les opportunités d'affaires pour la fourniture de biens et de services, à la fois à Madagascar et localement par rapport au projet et ce, pour que les retombées positives du projet bénéficient autant à l'économie nationale qu'aux communautés et économies locales. Là où les entreprises locales sont de petite taille (PME) ou n'ont qu'une expérience limitée dans le secteur minier, des initiatives spécifiques au projet pourront, avec le temps, éliminer les barrières à l'attribution des appels d'offres. Le promoteur développera de telles initiatives dans le cadre du programme de renforcement Ambatovy (volume G, section 4.1).

Au site de la mine spécialement, mais aussi à Toamasina, il y a peu d'entreprises actives qui ont la capacité de répondre aux besoins d'un projet minier de grande envergure. Il n'existe qu'une expérience limitée de gestion et de logistique des approvisionnements, incluant la préparation d'offres de biens et services. Ces entreprises existantes sont surtout de petite taille et elles n'ont pas l'envergure ni les ressources financières pour présenter des soumissions pour des gros contrats. Elles ont une expérience limitée en ce qui concerne l'approvisionnement pour de grandes exploitations à délai de livraison critique de plus, elles ont peu d'expérience en contrôle de qualité.

Le projet élaborera un Plan d'achat (PA) qui accroîtra la participation des entreprises malgaches et locales dans le projet. Le PA comprendra des éléments tels que:

- Analyse des contraintes à la fourniture de biens et de services par les entreprises malgaches et locales quant aux exigences d'approvisionnement du projet et l'élaboration d'une stratégie pour surmonter ces barrières.
- Distribution régulière des avis mensuels aux entreprises intéressées contenant toutes les informations requises sur les besoins en approvisionnement dans les domaines pour lesquels l'inventaire des entreprises indique un certain potentiel de fourniture locale. Cela peut inclure, par exemple : le transport et la logistique; la fourniture de produits consommables; et des équipements et mobiliers de bureau; l'impression et les publications; de la formation et des services professionnels; la fourniture de vêtements et de services de traiteur.

- Dans tous les cas où l'inventaire des entreprises indique un potentiel de fourniture locale, établissement d'une politique de conclusion de marchés qui répondra en premier aux marques d'intérêt des entreprises locales et négociations de bonne foi avec celles-ci; le recours à des appels d'offres à l'extérieur de la région ne sera pratiqué qu'en cas d'insuccès de telles démarches.
- Elaboration et appui à des programmes de formation à l'intention des entrepreneurs existants ou potentiels, particulièrement ceux des PME; de tels programmes amélioreront leur taux de réussite dans la fourniture de biens et de services au projet et dans le marché en général.

Education et formation

En plus de favoriser l'accès aux opportunités offertes par le projet, tel que décrit ci-dessus, le projet qu'un niveau d'instruction limité se traduit en général à des opportunités économiques limitées. Ce besoin d'éducation et de formation a été fréquemment signalé lors des consultations publiques (volume A, section 6).

Le projet élaborera un programme de formation destiné à accroître rapidement la saisie d'opportunités économiques par les travailleurs et les entreprises. Le programme de formation prévoit un investissement d'au moins 10 millions de dollars, pendant la durée de vie du projet, pour l'éducation et la formation directement reliée aux besoins du projet. De plus, dans le cadre d'une stratégie plus large d'éducation et de formation, des initiatives pourraient être mises en place visant non seulement à répondre aux besoins du projet à long terme pour une main-d'œuvre et une communauté d'affaires qualifiées mais visant aussi à apporter une contribution à la participation des gens à l'économie salariale et rurale en général, dans une optique de développement durable. Le projet prévoit travailler en partenariat avec les communautés locales, les institutions scolaires et les autorités à l'élaboration de programmes détaillés d'éducation et de formation des salariés, des entreprises et de la population en général; les buts et objectifs de cette formation et de cette éducation seront ambitieux. Des centres de formation seront établis dans les secteurs appropriés pour permettre le recrutement local et l'acquisition des compétences techniques nécessaires. Les participants au projet bénéficieront de séances d'introduction au projet et recevront une formation de base sur les politiques de santé et de sécurité ainsi que sur les procédures relatives à leur domaine de travail. Une formation plus spécialisée sera offerte dans les domaines techniques tels que la plomberie, la mécanique, l'électricité et l'opération d'équipement. D'autres programmes fourniront une formation sur des fonctions administratives, telles que la gestion du travail de bureau et des relations industrielles ainsi que sur des tâches plus générales telles que l'entretien de la base vie et la restauration. Afin de satisfaire les besoins en ressources humaines à plus long terme et de mieux contribuer à l'atteinte d'objectifs communautaires, le promoteur travaillera en partenariat avec les organisations

pour fournir de l'éducation générale et de la formation préalable à l'embauche. Des exemples d'initiatives possibles sont décrits ci-après:

- des contributions aux institutions scolaires et des programmes qui visent à encourager les élèves à demeurer à l'école, améliorer la qualité de l'éducation reçue et leur permettre de poursuivre des études plus avancées
- des programmes d'emplois d'été et des programmes coopératifs de stage dans les installations du projet pour offrir aux jeunes des expériences de travail
- une formation préalable à l'embauche pour les personnes désireuses de se préparer à entrer dans une économie salariale, que ce soit pour des emplois dans le projet ou pour chercher des emplois ailleurs
- soutien pour permettre aux salariés du projet de compléter leur programme scolaire primaire ou secondaire lorsqu'ils ne rencontrent pas les critères des emplois supérieurs, mais qui seraient par ailleurs de bons candidats pour une promotion
- des programmes de soutien aux institutions scolaires et aux organisations et associations d'entreprises de Moramanga et Toamasina pour le développement de formation à l'emploi (requis pour l'atténuation spécifique des effets potentiels d'une pénurie de main-d'œuvre pour les entreprises existantes, pénurie qui serait causée par l'attrait des emplois du projet)
- la mise en place de programmes de formation technique (les métiers techniques; l'opération d'équipements; l'utilisation d'équipements informatiques; le travail de bureau; la santé et sécurité; les services environnementaux, etc.) permettant aux salariés et/ou aux personnes qui seraient des bons candidats à l'emploi d'obtenir les qualifications techniques pour rehausser l'emploi et favoriser les promotions
- l'inclusion, dans les responsabilités du personnel expatrié, d'une exigence de mentorat des salariés malgaches, de manière à favoriser leur progression
- l'implantation des programmes ci-dessus en collaboration avec les organisations et institutions d'enseignement locales, en tant que contribution à l'amélioration de la qualité et de l'étendue de l'éducation post-secondaire à Moramanga et à Toamasina, ainsi que manière plus générale à Madagascar
- la collaboration avec d'autres organisations minières dans la région et les sous-traitants d'outre mer du projet pour améliorer les stratégies d'éducation et de formation en partageant leurs meilleures pratiques et leurs ressources

5.1.2.3 Gestion de la main-d'œuvre

Les consultations publiques soulèvent des préoccupations concernant les effets potentiels de l'introduction d'un grand nombre d'employés non locaux sur la santé publique, la disponibilité d'infrastructures sociales et physiques et les services, les valeurs sociales et l'intégrité culturelle (volume A, section 6). Des politiques de gestion de la main-d'œuvre seront mises en place pour gérer les contacts entre les résidents des zones locales du projet et la main d'œuvre non locale (expatriée ou malgache extérieure à la région), de manière à contrôler les comportements non adéquats et limiter le potentiel de migration interne de gens sans offre d'emploi. Les mesures de gestion de la main-d'œuvre comprendront:

- L'implantation d'un processus formel de demandes d'emploi et de recrutement qui : a) donnera priorité, à compétence égale et pour les activités du projet, aux résidents locaux possédant un statut de résidence confirmé et b) recherchera ensuite des candidats non locaux des centres urbains. Les politiques de demandes d'emploi et de recrutement viseront à décourager, dans la mesure du possible, toute migration spéculative de personnes en recherche d'emploi dans le cadre du projet.
- Des mesures concernant la question de la migration dans les contrats de construction.
- Des communications claires avec les administrations décentralisées locales et les populations par des séances de consultation publique régulières, des annonces d'ouvertures de postes dans les médias (journaux et radio) et via les documents d'information sur le projet (c.-à-d. les bulletins d'information et les interviews dans les médias) et des communications sur les politiques préférentielles d'embauche et les méthodes de recrutement.
- Là où c'est applicable, l'établissement de bases vies autonomes complètes pour les salariés non locaux (à l'exception des services d'urgence). Ces bases vies offriront tous les services d'hébergement, d'alimentation, de soins de santé et de loisirs sans besoin de recourir aux communautés locales.
- L'implantation et l'application rigoureuse de codes de conduite non seulement pour les salariés non locaux mais pour tous les salariés, s'appliquant au travail et pendant leurs déplacements entre le lieu de résidence et les sites du projet.
- Des formations interculturelles pour tous les salariés, afin d'encourager la compréhension mutuelle et le respect de la culture locale.

5.1.2.4 Mesures d'atténuation des effets potentiels sur les ressources naturelles

Le projet aura besoin de terrains au site de la mine, le long tracé du pipeline et au site de l'usine/parc à résidus. Ces terrains sont actuellement utilisés, à un certain degré, par les populations locales. De plus, le projet prévoit avoir des effets ponctuels sur la quantité et la qualité de l'eau aux sites de la mine et du parc à résidus; ces effets seront suivis de près. Finalement, afin d'atténuer les effets potentiels sur la biodiversité, au site de la mine, un plan de gestion forestière sera développé afin d'encourager son utilisation durable dans une optique de bénéfice à long terme. Les parties prenantes locales seront impliquées dans ce processus de planification forestière coopérative (volume H, annexe 6).

Les personnes vivant à l'intérieur ou à proximité immédiate de toute zone d'opération, et dont les stratégies de subsistance subiront des impacts, pourraient être réinstallées en conformité avec le plan de réinstallation. Certaines situations pourraient faire l'objet de mesure d'atténuation socio-économique.

L'accès à la forêt, dans la plupart des cas, l'usage forestier des terrains affectés par le projet n'est pas important. Les gens ont plus tendance à utiliser les ressources forestières à proximité immédiate de leurs résidences par contre les forêts montrent une utilisation intense, à un niveau qui met en danger leur stabilité. Une planification concertée est prévue ainsi que la mise en œuvre d'un plan de gestion forestière durable qui pourraient, à plus long terme, accroître l'usage de la ressource forestière en en tant que ressource de subsistance.

Il est probable que certaines personnes ne pourront plus poursuivre certaines activités économiques basées sur la forêt, qu'elles soient effectuées de manière durable dans des zones forestières non perturbées qui seront affectées par le projet ou dans des zones de forêt perturbées pour lesquelles les règles d'accès pourraient être modifiées. Les responsables des relations sociales au site de la mine s'assureront que, dans ces cas:

- Les personnes sont encouragées à venir démontrer que l'accès à la forêt a été restreint, entraînant une incidence économique.
- Toute réclamation fait l'objet d'une enquête rapide selon un mécanisme formel d'enregistrement des plaintes et de règlement des différends (voir ci-dessous), lorsque nécessaire, de sorte que tout cas puisse être résolu sans frais pour le plaignant.
- Lorsqu'il sera démontré que la ressource forestière a été affectée par le projet, résultant en un effet économique, des mesures d'atténuation seront négociées et pourraient comprendre le remplacement, par le

projet, de la ressource, l'assistance au plaignant pour remplacer cette activité économique par une alternative, ou une compensation.

- Le plan de gestion forestière visera à ce que toute mesure d'atténuation permette au plaignant, à moyen terme, de maintenir son bien-être économique sans devenir dépendant des ressources fournies par le projet sur une base régulière. Cela peut inclure, par exemple, la négociation d'un droit pour le plaignant dans le cadre du projet de gestion de la ressource forestière, de la formation pour trouver une activité économique alternative; de l'établissement de systèmes de pâturage alternatifs, de plantations ou de jardins pour assurer une source de produits forestiers, etc.

La gestion des ressources en eau fait l'objet d'attention spéciale au site de la mine et au parc à résidus. L'évaluation des impacts conclut que les effets en aval des sites, bien que sans conséquence lorsqu'examinés sur une base annuelle ou saisonnière, peuvent, à des moments spécifiques, entraîner : a) des déficits d'eau de surface (secteur du parc à résidus) et/ou b) un surplus d'eau de surface (secteur de la mine), qui pourraient affecter les agriculteurs. De plus, même sans effets réels sur le régime hydrologique causé par l'exploitation minière, il est possible que les gens perçoivent que les problèmes reliés aux volumes d'eau soient attribués à la présence de la mine et du parc à résidus.

Certaines personnes pourraient faire l'expérience ou percevoir des effets sur la ressource en eau, des effets qui, à leur tour, affecteraient les activités économiques et/ou la santé. Cela peut inclure la culture des rizières ou du baiboho, la pêche, l'approvisionnement en eau pour le bétail et pour les usages domestiques. Le personnel de l'équipe des relations sociales au site de la mine s'assurera que, dans ces cas:

- les personnes seront encouragées à venir présenter leurs préoccupations voulant que les effets sur l'eau aient une incidence sur l'économie ou la santé
- toute réclamation est l'objet d'une enquête rapide selon un mécanisme formel d'enregistrement des plaintes et règlement des différends (voir ci-dessous), lorsque nécessaire, de sorte que tout cas puisse être résolu sans frais pour le plaignant
- lorsqu'il sera démontré que la ressource en eau a été affectée par le projet, résultant en un effet économique ou sur la santé, des mesures d'atténuation seront négociées pour atténuer cet effet du projet ou il y aura compensation dans le cas où l'effet est économique
- lorsqu'il sera jugé que l'approvisionnement en eau n'est pas affecté par le projet, une explication sera fournie à la personne concernée ; sinon, il y aura recours à une assistance en gestion de l'eau, de sorte que la

personne concernée puisse être convaincu que le projet n'a pas d'effet sur son bien-être économique. Il faut noter que, bien que des plaintes jugées non valides puissent être déposées pour des secteurs très éloignés de tout effet potentiel du projet, il existe une zone d'incertitude entre l'empreinte au sol du projet et des plaines d'inondation jusqu'à 10 km en aval dans les six bassins versants principaux potentiellement affectés par la mine

- le plan de gestion des plaintes visera à ce que toute mesure d'atténuation permette au plaignant, à moyen terme, de maintenir son bien-être économique sans devenir dépendant des ressources fournies par le projet sur une base régulière. Cela comprendrait principalement une assistance en gestion de l'eau, selon toute probabilité

De façon globale, le promoteur à l'intention d'implanter des mesures d'atténuation complètes pour tout effet économique et de tenir compte de toute perte culturelle subie en fonction de la réduction de la base de ressources.

5.1.2.5 Contributions aux infrastructures

La description du projet comprend des informations sur des interventions planifiées pour améliorer les infrastructures nationales dans la mesure où elles coïncident avec les besoins du projet (domaines ferroviaire, portuaire et routier). Ces améliorations constitueront un des bénéfices du projet pour Madagascar, au-delà des contributions au succès du projet lui-même.

De plus, les promoteurs examineront des options pour collaborer avec le gouvernement et éventuellement assurer l'entretien, à long terme, des routes d'accès le long du tracé éventuel du pipeline. La construction du pipeline exigera la construction de routes et celles-ci seront planifiées de manière à faciliter leur conversion en infrastructures permanentes, lorsque possible. Les populations vivant le long d'une grande partie du tracé du pipeline font face à des contraintes concernant leur subsistance en raison des difficultés à acheminer les surplus de production agricole aux marchés. Leur qualité de vie est également affectée par un accès réduit aux services d'éducation et de santé. L'éloignement et le manque d'accès aux centres administratifs régionaux impliquent aussi le manque d'accès à toute une panoplie de services gouvernementaux potentiels, notamment en vulgarisation agricole et en gestion des ressources.

Alors que la construction des routes d'accès peut avoir des effets sur l'intégrité biologique (en permettant l'accès à de nouveaux territoires pour une surexploitation de la forêt et d'autres ressources naturelles) le projet s'attend à travailler de concert avec les autorités pour minimiser les effets négatifs

potentiels de la construction de ces routes, afin qu'elles puissent apporter des bénéfices aux populations voisines du tracé du pipeline.

Les communautés le long du tracé du pipeline observeront des perturbations, sur les ressources foncières et les ressources en eau, découlant de la construction des routes d'accès. De telles perturbations seront compensées et, une fois que la construction du pipeline sera terminée et que ce dernier sera enfoui, l'utilisation de la plupart des terrains et de toutes les ressources en eau sera à nouveau possible. La planification des routes d'accès comme une infrastructure permanente permettra à la fois l'application, à court terme, des mesures d'atténuation des effets nuisibles et de maximisation des retombées positives pour les populations susceptibles d'être affectées, ce qui améliorera leur qualité de vie à long terme.

Finalement, il est possible que certaines infrastructures soient affectées par l'alignement final détaillé des tracés des routes d'accès, de la conduite d'eau, du pipeline de pulpe et des lignes de transport électrique. Le projet a l'intention d'éviter de tels effets dans la mesure du possible mais il remplacera toute infrastructure qui devra être déplacée.

5.1.2.6 Effets sur la sécurité et la santé publique

Il existe un lien entre la présence d'importants groupes d'ouvriers de la construction, célibataires et temporaires, une main d'œuvre non locale en général, et un comportement perturbateur au plan social. Les problèmes les plus susceptibles d'être observés sont liés à l'alcool et la prostitution, et de manière plus importante, ils sont liés à une hausse de l'incidence du VIH/SIDA. Avec toutes les considérations nécessaires, le promoteur implantera des stratégies qui assurent un comportement responsable des travailleurs. Le projet comprend un protocole de prévention du VIH/SIDA; un programme complet de prévention est en préparation. Bien que certaines initiatives spécifiques du programme puissent causer des difficultés au plan des droits de la personne, les promoteurs considèrent que les risques pour la population de Madagascar, jusqu'à maintenant comparativement exempte du VIH/SIDA dans le contexte africain, exigent des mesures de contrôle à l'égard de travailleurs expatriés, même si ces mesures pourraient être perçues comme non justifiées dans leurs pays d'origine. Ces mesures satisferont aux exigences de la législation malgache.

Le programme VIH/SIDA pourrait comprendre:

- toute la gamme des meilleures pratiques connues à ce jour, incluant des programmes d'éducation publique, des contrôles volontaires, la

distribution gratuite de préservatifs, le conseil par des pairs, la protection des emplois et le traitement des travailleurs

- la fourniture de thérapie anti-rétrovirale et de services de soutien aux salariés et aux membres de leur famille qui pourraient contracter le virus du SIDA

Bien que le VIH/SIDA soit l'effet le plus alarmant en matière de santé publique et de sécurité, il en existe d'autres. Dans les secteurs potentiellement affectés par le projet, on rapporte peu de problèmes de vol, de prostitution, d'alcoolisme, de violence familiale et autres violences, d'éclatement des familles ou autres problèmes sociaux. De telles situations sont habituellement associées soit à des grandes disparités de revenus, soit à l'augmentation des revenus disponibles. Face aux réalités sociales et économiques, certaines personnes peuvent faire des choix qui échappent au contrôle du projet. Dans la mesure où des choix malheureux seraient faits par des personnes à l'emploi du projet, les programmes réguliers d'assistance aux salariés seront utiles. Les problèmes attribuables au projet seront traités par divers mécanismes, incluant les programmes d'enregistrement des plaintes et de résolution des différends, ainsi que l'assistance aux organisations collectives qui traitent actuellement les questions de santé publique et de sécurité. Le projet assurera que les communautés près de la mine tireront un bénéfice net du projet, malgré le potentiel pour de tels problèmes.

Même s'ils ne constituent pas des impacts comme tels, certains risques potentiels associés au projet tels que des accidents, des déversements et d'autres risques identifiés ailleurs dans l'EIE pourraient se réaliser. Ils pourraient avoir des effets potentiels non seulement sur la santé publique et la sécurité, mais aussi sur les moyens de subsistance de la population. La planification d'interventions d'urgence comprendra un volet d'éducation publique pour informer les gens des risques, la manière de les éviter et comment réagir si un risque se réalise.

5.1.2.7 Implication des communautés

Au-delà de mesures d'atténuation spécifiques, le projet prévoit fournir de l'assistance à la planification et au renforcement des capacités en tant que contribution à une maximisation des retombées positives nettes du projet. Jusqu'à ce que les besoins et l'approche soient mieux définis par des consultations entre le projet et l'ensemble des participants potentiels, les détails ne peuvent être fixés.

Le travail des consultants en socio-économie et du personnel de l'équipe des relations sociales du projet au site de la mine et dans le secteur de Toamasina a fourni des renseignements sur la perception des besoins par les communautés. La plupart de ces informations sont incluses dans les sections portant sur les

consultations (volume A, section 6), les rapports de référence et les discussions, au volume K, annexe 1.1. Les principales préoccupations concernent : i) l'accès aux opportunités économiques, incluant l'accès à l'emploi, à l'éducation et le soutien aux entreprises pour la diversification économique; ii) les questions relatives à l'accès aux ressources foncières, forestières et en eau, ainsi qu'aux moyens de subsistance qui reposent sur ces ressources; iii) les questions de santé publique; iv) les aspects sociaux et culturels et v) l'appui à la décentralisation et la planification du développement.

L'évaluation des impacts socio-économiques (volumes B à F) identifie les impacts attendus, mais aussi le potentiel pour des impacts négatifs dont l'atténuation complète n'est pas sous le contrôle direct du projet. Les situations les plus difficiles comprennent la migration vers les sites de la mine, de l'usine de traitement du minerai et du parc à résidus (avec les effets conséquents sur la santé, la prestation des services, les effets économiques et sur les ressources), l'urbanisation induite au site de l'usine de traitement du minerai et les changements économiques et sociaux qui bénéficieront certainement à plusieurs mais qui en désavantageront d'autres.

En considérant à la fois les besoins prioritaires exprimés par les populations affectées et les effets réels et potentiels négatifs du projet, les principaux domaines où s'exercent la planification et l'assistance sont brièvement décrits ci-dessous.

Education et formation

En raison du taux élevé de chômage et du taux élevé de migration vers l'extérieur des jeunes adultes, surtout dans le secteur de la mine, il n'est pas étonnant que l'emploi – et la préparation à l'emploi de ce qui est, à l'exception de Toamasina, une main-d'œuvre largement agricole – émerge en tant que besoin majeur. L'accès à l'emploi est limité par différents facteurs, dont la plupart sont inter-reliés.

Pour la majeure partie de la population affectée par le projet, le défi n'est pas seulement d'offrir de la formation spécifique à l'activité minière, mais de rehausser le niveau général d'éducation de sorte que les gens aient les acquis de base (incluant l'alphabétisation et les aptitudes de calcul) requis pour leur permettre de prendre avantage d'opportunités de formation du projet. Les difficultés économiques amènent souvent les enfants à quitter l'école pour aller travailler. Les populations rurales ont de la difficulté à éduquer les enfants au-delà de l'école primaire. Le manque de préparation à l'emploi constitue donc un problème potentiel à long terme. Grâce à une collaboration entre les parties prenantes, les administrations décentralisées locales et les entreprises, un soutien

pourrait être fourni aux écoles pour améliorer les taux de réussite scolaire et inclure au curriculum des éléments appropriés aux besoins et aux objectifs des enfants.

Activités productives

Les études de référence ont montré clairement que la pauvreté touche beaucoup de gens vivant à proximité des secteurs du projet. L'accroissement de la rémunération du travail des salariés est donc une priorité, que ce soit sous forme de ressources de subsistance ou de revenus.

L'activité productive dans le secteur agricole est fortement liée aux plans de développement de la commune en ce qui concerne la gestion de l'eau. Le projet pourrait appuyer les efforts existants pour l'amélioration de l'infrastructure et des programmes de vulgarisation agricole, afin d'augmenter les rendements plutôt faibles même dans les années où les conditions de croissance sont bonnes. Une partie des programmes de formation et de crédit des promoteurs pourrait comprendre le renforcement des compétences et de la formation pour le développement de petites entreprises, incluant dans les domaines de transformation des produits agricoles et particulièrement dans celui du travail artisanal des femmes. Les activités économiques forestières pourraient être appuyées par le biais d'assistance à la gestion durable de ces ressources, ainsi qu'à leur mise en marché. Etant donné que le projet s'est engagé à fournir des conseils et de l'assistance technique aux fournisseurs potentiels, de manière à leur permettre une participation compétitive, il y a également des opportunités de partager de l'expérience et des conseils d'affaires avec ces autres secteurs.

Services de santé

La prestation de services de santé est sévèrement limitée dans tout le secteur ciblé par le projet, étant donné l'éloignement, les coûts et la qualité par rapport aux besoins de santé de la population. Il en découle que les principales causes de morbidité et de mortalité sont des maladies évitables telles que la malaria (volume K, annexe 1.1). Le projet possède donc le potentiel d'affecter la santé humaine de plusieurs façons. L'augmentation des revenus et la prestation de services de santé aux salariés et leurs familles seront bénéfiques. Cependant, les effets généraux pourraient être négatifs, du point de vue des maladies. Le projet pourra aider dans des domaines tels que l'éducation à la santé et l'assistance technique pour améliorer la prestation des services.

Préservation des valeurs sociales et de l'intégrité culturelle

Les enjeux sociaux et culturels sont une préoccupation majeure des populations locales. Celles-ci admettent la nécessité d'une diversification économique, à

cause des pressions sur l'économie agricole et les besoins d'emploi, surtout pour les jeunes. Cependant, elles font également part de leur désir de réaliser cette diversification sans changer les valeurs et les modes de vie. Cela peut représenter un défi important dans le cas d'un projet de l'envergure de celui-ci, dont les principaux effets sur les enjeux sociaux et culturels seront ressentis au sein d'une économie rurale dans le secteur de l'usine/parc à résidus. Il est difficile de prévoir ce qui changera, comment ces changements se produiront, quels en seront les effets et comment on pourra les atténuer. Les besoins de suivi sont discutés ci-dessous.

Soutien aux communes et planification régionale

Madagascar vit actuellement un processus de décentralisation qui a vu l'établissement de multiples organismes de planification ayant une capacité limitée, technique ou financière, afin de mettre en œuvre les plans développés (volume K, annexe 1.1). Le projet offrira de participer à la planification, si le besoin se fait sentir, avec ces organismes impliqués dans l'implantation de programmes.

5.1.2.8 Planification de la fermeture

Les impacts socio-économiques d'une fermeture sont concrétisés par la fin des emplois et des opportunités d'affaires créées, dans le cas présent, au cours d'une période d'environ 27 ans au site de la mine et potentiellement au cours d'une période plus longue dans la région de Toamasina; le recul économique qui en résulte se traduit par des impacts sociaux négatifs. Le défi consiste à s'assurer que le processus d'amélioration de l'accès aux opportunités locales, pendant la durée du projet, a été conduit en tenant toujours compte d'une fermeture inévitable. L'intention, au moment de la fermeture du projet, est d'assurer que les communautés locales ont accru leur capacité de s'engager dans des activités agricoles et économiques indépendantes du projet, et qu'elles ont également rehaussé leur bien-être social et économique suffisamment pour constituer un « coussin » contre les effets de la fermeture.

Les mesures décrites ci-dessus pour l'emploi, les affaires, l'éducation et la formation, ainsi que l'investissement social comprennent plusieurs éléments destinés à réaliser cette intention. La fermeture du projet entraînera inévitablement des bouleversements, toutefois ils pourraient être atténués si les interventions suivantes sont réussies:

- Les mesures d'emploi et les programmes de formation préférentiels et des pratiques d'emploi éclairées contribuent à la satisfaction au travail, à la rétention des salariés et favorisent la promotion; ces mesures

améliorent la capacité de participer à une économie de salaires. Une expérience positive en milieu de travail fournira ensuite aux gens un avantage compétitif pour trouver des emplois ailleurs dans l'économie.

- L'allocation préférentielle de contrats aux entreprises locales et le soutien à leur développement augmenteront leur expérience et leur compétitivité.
- Les programmes d'éducation et de formation ont des incidences sur l'employabilité à long terme. En effet, ils ne font pas que préparer les adultes à travailler pour le projet, mais encouragent aussi les jeunes à valoriser l'éducation en vue de travailler pour le projet ou de participer à l'économie salariale. Il est attendu que les programmes scolaires plus poussés permettront de créer une motivation pour une instruction non seulement dans des domaines reliés à l'industrie minière mais aussi dans d'autres domaines.
- La participation aux efforts de développement des communautés selon les besoins prioritaires tout en incorporant des principes de durabilité contribuera à améliorer non seulement le bien-être économique mais aussi le bien-être social et culturel. Ce bien-être est le fondement de la capacité de la population de créer et de profiter des opportunités de la vie.
- Des services d'orientation professionnelle, au moment de la fermeture, aideront les salariés dans leur recherche d'autres emplois.

5.1.2.9 Suivi socioéconomique et consultations

Suivi

Afin de s'assurer que le projet fournisse les retombées positives attendues, un suivi des activités est nécessaire. Il déterminera l'efficacité des mesures mises en place pour atténuer les impacts socio-économiques du projet et établira les tendances dans le domaine du bien-être. Les principaux objectifs du suivi socio-économique sont donc:

- d'enregistrer le progrès des opportunités d'emploi, d'affaires et de formation dans le temps et d'analyser les tendances de cette évolution en relation avec les attentes et les objectifs
- de procéder à un suivi de l'implantation et de l'efficacité des mesures d'atténuation des impacts socio-économiques
- d'évaluer les tendances de l'économie locale, du développement social et du bien-être ainsi que les relations entre ces tendances et les opérations du projet

Le suivi, ainsi que la publication des résultats et les rétroactions des résultats du suivi, fourniront les informations nécessaires dont le projet, la population et les administrations décentralisées des communautés affectées auront besoin pour respecter les engagements présentés dans ce document.

Le plan de suivi socio-économique est présenté en trois éléments, soit : i) le suivi des opérations, afin de faire un rapport sur les apports et les résultats du projet, en particulier aux points de vues des retombées économiques, de la santé et sécurité publique, ainsi que la conformité avec d'autres engagements; ii) le suivi de l'efficacité des mesures d'atténuation à minimiser les impacts socio-économiques et accroître les avantages du projet; iii) le suivi en vue d'une gestion adaptative, afin que le projet puisse réagir à tout changement évolutif dans les communautés affectées par le projet.

Suivi des opérations

Les registres du promoteur concernant ses opérations seront la source de beaucoup d'information concernant le suivi des engagements décrits dans cette section, ainsi que sur les futurs engagements reliés à d'autres mesures d'atténuation à être mises en œuvre. De tels registres peuvent comprendre, par exemple, les registres des ressources humaines, des activités d'achat, des mesures d'atténuation de tout impact sur les ressources naturelles et les mesures entreprises pour empêcher la migration de la main-d'œuvre. A cet effet, le projet s'engage à:

- maintenir des dossiers sur les ressources humaines selon un format qui permette une compilation annuelle des statistiques, en pourcentage de la main-d'œuvre, sur la sélection, l'embauche, la promotion, la formation et les départs de salariés et ce, par lieu de résidence, sexe, niveau et secteurs d'emploi
- maintenir des dossiers sur les achats selon un format qui permette une compilation annuelle, en pourcentage des achats totaux, du nombre, de la valeur et du contenu général des contrats pour achats de biens et de services et ce, par lieu d'origine et fournisseur
- exiger, de tous les entrepreneurs et sous-traitants, un rapport annuel sur l'emploi et les achats contenant les mêmes informations que ci-dessus
- maintenir des dossiers pertinents sur les événements directement liés aux opérations du projet, en ce qui concerne la santé et sécurité; les accidents; la violation des codes de conduite des travailleurs et tout autre sujet en relation directe avec les opérations du projet
- signaler tout résultat anormal des programmes de surveillance de la circulation, de la qualité de l'air et de l'eau ou du bruit, tels que décrits

ailleurs dans cette EIE et les rapports qui l'accompagnent, afin de permettre une évaluation du potentiel des effets socio-économiques

- maintenir des registres sur tous les événements d'éducation publique et de publication d'informations (tels que le programme de formation en interventions d'urgence, par exemple), incluant le contenu des programmes et les taux de participation aux programmes
- de concert avec des ententes sur les mesures compensatoires pour tout effet sur l'usage par les populations des ressources foncières, forestières et en eau, maintenir des dossiers détaillés sur le respect des obligations du promoteur contenues dans ces ententes
- maintenir des dossiers sur l'aide à la planification et autres initiatives de développement des communautés (en plus des mesures d'atténuation spécifiques)
- maintenir des dossiers qui indiquent la participation, les enjeux soulevés et les résolutions relatives à toutes les séances de consultation formelles, les réunions et tous doléance ou différend impliquant le public, les gouvernements, les organisations partenaires, la main-d'œuvre du projet et les entrepreneurs
- procéder, au moins une fois par année, à une revue formelle des résultats de tous les dossiers ci-dessus, pour déterminer la conformité avec les engagements reliés à l'EIE et pour identifier tous les obstacles ou problèmes spécifiques ainsi que tous les succès ou les échecs systématiques

Le suivi décrit ci-dessus sera géré et administré par les promoteurs, dans la mesure où il constitue un rapport d'information sur la gestion interne. Le projet communiquera les résultats à l'interne à la direction et aux salariés de manière appropriée, pour permettre l'ajustement des politiques, des procédures, des mesures d'atténuation et de maximisation des retombées positives et les comportements des travailleurs, lorsque de tels ajustements ont été jugés nécessaires. Les résultats seront également rapportés, sur une base annuelle, de manière appropriée, et discutés avec les personnes affectées par le projet et leurs administrations décentralisées et gouvernement. L'objectif visé est de maintenir un climat de transparence et d'imputabilité et d'établir la confiance dans la performance économique et sociale du projet vis-à-vis ses engagements.

Suivi de l'efficacité des mesures d'atténuation socio-économiques et de maximisation des retombées positives

En plus des considérations ci-dessus, le projet collaborera avec les gens des communes affectées, leurs administrations respectives et toute autre organisation partenaire appropriée, à un processus de suivi par des tierces parties afin d'examiner l'efficacité des mesures d'atténuation et de maximisation des

retombées positives s'appliquant aux effets potentiels du projet. Ce suivi utilisera les résultats du suivi des opérations décrits ci-dessus, et recueillera et colligera aussi des données additionnelles spécifiques aux mesures proposées et incorporera un élément de consultation. Ce suivi comprendra l'analyse de toutes les informations en vue d'établir si les mesures d'atténuation sont efficaces ou non dans l'atteinte des objectifs visés.

Les mesures d'atténuation socio-économiques qui exigent des efforts de suivi en dehors du cadre de suivi des opérations comprennent la formation préalable à l'embauche et d'autres programmes éducatifs comme le soutien pour encourager la poursuite des études et l'éducation publique en matière de santé; les programmes VIH/SIDA; la gestion de la main-d'œuvre dans la mesure où ces points peuvent avoir des effets sur la qualité de vie dans les communes avoisinantes; la construction et l'entretien de la route d'accès au pipeline et les ententes de compensation relatives aux ressources naturelles. Il s'agit de mesures spécifiques mises en place par le projet pour atteindre des objectifs spécifiques et elles peuvent être évaluées quant au niveau d'atteinte de ces objectifs.

Le projet retiendra les services d'un organisme spécialisé indépendant pour élaborer un programme de suivi, à la fréquence d'au moins une fois par année pendant les cinq premières années du projet, à partir de la phase de construction. Après ces cinq premières années, les besoins additionnels de suivi seront discutés avec les personnes affectées par le projet et les autorités locales.

Sous certains aspects, ceci présentera des défis importants. Un exemple est l'efficacité des programmes de prévention du VIH/SIDA dans le secteur de Toamasina. Il n'existe pas de bonnes données de références publiées sur le taux d'incidence actuel du VIH/SIDA, mais on soupçonne que, malgré le faible taux général à Madagascar, le taux à Toamasina pourrait être un peu supérieur. De l'information de base devra être recueillie, et le programme VIH/SIDA développé en détail, incluant des objectifs relatifs à la situation de référence. Les taux d'incidence ultérieurs, au sein et en dehors de la main-d'œuvre du projet, constitueront alors de bons indicateurs de l'efficacité du programme, mais le degré de contribution du projet sera malgré tout difficile à séparer de celui d'autres facteurs.

Le suivi de l'efficacité des nombreuses mesures d'atténuation socio-économiques demande une expertise spécialisée et du travail avec les personnes affectées et des organisations pour établir les détails de ces programmes de suivi. Pour être efficace, un tel suivi exige la participation des personnes affectées dans la sélection d'indicateurs, la collecte et l'interprétation des données.

Suivi dans le cadre d'une gestion adaptative

La présente EIE a tiré un certain nombre de conclusions sur la probabilité et la possibilité d'atténuer plusieurs des autres effets potentiels – pouvant toucher le bien-être économique, social ou culturel des individus, des familles et des communautés – qui doivent aussi être inclus dans un plan de suivi socio-économique. Les plus importantes de ces conclusions sont que: i) il est possible d'avoir des effets net globaux positifs, quoiqu'il puisse y avoir des dimensions négatives au niveau des individus ou des communautés dans un cadre global d'amélioration nette; ii) plusieurs de ces dimensions négatives ne peuvent être prévues en détail; et iii) il n'existe pas de moyens de les atténuer, sans savoir auparavant ce qu'elles seront. Quoiqu'il existe de l'expérience pertinente dans l'identification d'indicateurs de bien-être, il est extrêmement difficile d'en comprendre les causes et les effets.

Indépendamment des causes et de leurs effets directement attribuables, les promoteurs ont intérêt à comprendre les tendances socio-économiques, de sorte qu'ils possèdent l'information requise pour intervenir efficacement là où ils le peuvent. A long terme, des communautés en santé sont dans l'intérêt du projet. De plus, il est important, autant pour le projet que les personnes affectées, de bénéficier d'un cadre de suivi qui vise à comprendre les causes et les effets. Un tel cadre contribuera à la fois à maintenir une relation constructive entre les personnes affectées et le projet et à ajuster les mesures d'atténuation en réponse à l'évolution des impacts.

Le suivi des perceptions par le biais de consultations continues auprès des populations affectées est également important. Des exemples de perceptions principalement subjectives concernent la continuité des valeurs sociales ou les niveaux de perturbations reliés au comportement des salariés non locaux. Les consultations continues de la main-d'œuvre et des personnes affectées permettront l'obtention de telles informations.

Les connaissances dégagées d'autres études internationales peuvent aider à interpréter les données recueillies dans les secteurs du projet, tel qu'indiqué ci-dessus. Les observateurs devraient inclure la revue de telles études dans leurs délibérations sur les relations de cause à effet entre les activités du projet et les indicateurs de bien-être des communautés.

5.1.2.10 Consultations continues

Des consultations continues, pendant toute la durée de vie du projet, sont critiques pour l'implantation et le suivi des mesures d'atténuation des impacts et de maximisation des retombées positives (volume A, section 6). Le programme

de consultations du projet à été planifié de manière à fournir aux gens les mécanismes dont ils auront besoin pour participer aux décisions qui les affecteront. Le programme prévoit la publication continue des informations dont les gens auront besoin pour une participation éclairée. Les personnes affectées ont clairement indiqué le besoin d'avoir plus d'informations sur le projet et aussi de plus de clarté quant aux moyens d'approcher les promoteurs pour présenter leurs nouvelles préoccupations. Cela a été considéré dans l'identification des activités de consultation et de publication de l'information décrites ci-dessous. La mise en œuvre des consultations publiques comprend:

- des séances de consultation publiques au niveau des communes en présence des personnes impliquées et de leurs représentants, à une fréquence d'au moins deux fois par année
- des séances de consultation publiques avec des sous-groupes, par exemple des gens d'affaires, des femmes, des agriculteurs ou la population en général, là où des enjeux ou opportunités sont présentes
- des séances de consultation publiques formelles, selon des calendriers à être négociés, avec le gouvernement et les organisations partenaires pertinentes
- la distribution de bulletins d'information périodiques relatifs au projet
- des notifications claires des contrats-clés du projet
- le maintien d'une base de données des consultations publiques qui consigne les événements ci-dessus, les enjeux soulevés et les engagements pris pour les résoudre

5.1.2.11 Procédures d'enregistrement des plaintes et de règlement des différends

Toute plainte relative au projet sera, idéalement, résolue de manière informelle par les consultations régulières. Un mécanisme formel de dépôt de plainte sera également disponible. Dans les deux cas, les préoccupations seront enregistrées et suivies jusqu'à la résolution du dossier. Avant le début de la construction, le projet aura établi le mécanisme formel qui permet d'entendre les plaintes et résoudre rapidement les différends de manière satisfaisante. En principe, un tel mécanisme comprendra:

- un processus simple de dépôt des griefs, verbalement ou par écrit, conçu avec soin afin que tous considèrent le mécanisme comme accessible
- des rôles bien définis pour les personnes déposant la plainte, les représentants des administrations décentralisées des communes et le représentant du projet

- un cadre temporel pour la remise d'une réponse à la plainte
- un processus d'appel basé sur la médiation ou l'arbitrage, à l'intérieur d'un cadre temporel bien défini
- un système d'enregistrement des griefs et des différends et de leur résolution
- une entente sur le mode de partage des coûts de résolution
- des moyens pour assurer un retour d'information aux opérations du projet qui seraient l'objet de plaintes systématiques

5.1.2.12 Résumé

Tel que noté dans l'introduction à cette section, la majorité des mesures ci-dessus s'applique à la plupart des composantes du projet. Les détails d'application, par contre, pourraient être différents selon la nature exacte des impacts à mesure qu'ils évoluent, ainsi que les choix des populations affectées quant à la manière de gérer ces impacts. Le tableau 5.1 établit un lien entre les mesures d'atténuation des impacts et de maximisation des retombées positives pour le projet dans son ensemble et pour le site de la mine de façon spécifique. Des tableaux similaires sont présentés dans d'autres volumes du projet pour les autres sites.

5.1.3 Evaluation des impacts

5.1.3.1 Opportunités économiques

Les consultations publiques ont indiqué que les opportunités économiques créées par la mine constituent l'une des principales préoccupations des gens. Cela comprend des personnes qui ne s'attendent pas à en bénéficier directement, mais qui souhaitent que d'autres opportunités que l'agriculture deviennent disponibles pour les jeunes.

En accord avec les principes d'une exploitation rentable, efficace et sécuritaire, le projet prévoit offrir, au site de la mine, des emplois et des opportunités d'affaires sur une base préférentielle aux communes et aux centres urbains voisins tels que Moramanga. Le projet offrira aussi de la formation et de l'assistance aux communes du site de la mine pour aider les résidents à tirer avantage de ces opportunités. Finalement, lors de l'évaluation d'offres de service sur le site, le projet tiendra compte du degré auquel les fournisseurs et entrepreneurs emploient des résidents et entreprises de Moramanga ou leur accordent des sous-traitances.

L'importance des impacts positifs découlant de l'emploi et des opportunités d'affaires dépendra du succès de ces mesures. Durant la phase d'exploration, le

projet a acquis de l'expérience en matière d'emploi et de fourniture de biens et de services locaux. La majeure partie de l'embauche jusqu'à maintenant a été réalisée à Ambohibary et Moramanga, quoique des personnes d'autres communes et d'ailleurs à Madagascar aient aussi été employées. Des techniciens en géologie et en environnement, des foreurs, des opérateurs d'équipement lourd, des ouvriers qualifiés et des manœuvres ont trouvé du travail durant la phase d'exploration du projet. Beaucoup de biens et services ont également été achetés, notamment du carburant, de la nourriture et de l'hébergement, ainsi que des services de forage et de transport.

Emploi

L'embauche locale d'une partie importante de la main-d'œuvre pour la construction et l'exploitation présente des défis. Ces défis sont principalement liés au fait qu'il y a peu de personnes ayant atteint une scolarité de niveau primaire et encore moins ayant atteint le niveau secondaire. Les taux d'emploi étant reliés au niveau de scolarité, il est probable que la plupart des personnes sans emploi dans la région aient des niveaux de scolarité variant de faible à très faible. Une exploitation minière a des exigences en matière de qualifications et de santé-sécurité qui pourraient rendre difficile l'embauche d'un grand nombre de salariés peu scolarisés.

Une deuxième contrainte est le manque d'expérience de travail, plus particulièrement dans le domaine minier. Alors que le projet est prêt à considérer des équivalences d'expérience dans ses pratiques de recrutement, les données disponibles indiquent peu d'expérience de travail hors de des secteurs de l'agriculture et des services dans l'économie locale. On retrouve évidemment un peu d'expérience minière chez les salariés des mines de graphite. L'exploitation efficace et rentable d'une mine exige une masse critique de salariés d'expérience, qualifiés et spécialisés.

La main-d'œuvre totale requise pour la construction de la mine est de l'ordre de 1400 personnes. En se basant sur les niveaux d'embauche par le promoteur pendant la phase d'exploration et le fait que certains postes spécialisés et qualifiés puissent avoir été comblés par des salariés qui auraient ainsi gagné de l'expérience pendant cette phase, le nombre de travailleurs qui seraient d'origine locale est évalué à plus de 500. Les activités de recrutement seraient centralisées à Moramanga, pour éviter le potentiel de migration vers le secteur de la mine.

La main-d'œuvre totale requise pour la phase d'exploitation est évaluée à 390 personnes. Plusieurs des postes de direction, de supervision et des emplois professionnels seront comblés par un personnel non local, du moins dans les périodes initiales du projet. Il existe un potentiel d'embauche local pour des

travailleurs spécialisés et qualifiés, des travailleurs de bureau, des techniciens, des opérateurs d'équipement lourd ainsi que des gens de métier et plusieurs auront reçu de la formation fournie par le projet. Environ 360 des postes devraient être comblés localement, à partir du bassin de main-d'œuvre de Moramanga, après une formation appropriée. Les impacts potentiels découlant des emplois directs prendront un certain temps à se réaliser pleinement mais ils sont dans l'ensemble considérés positifs, d'intensité moyenne, à long terme et de conséquence moyenne. Toutefois, l'impact sur les individus et leurs familles qui pourraient en bénéficier directement sera de conséquence élevée.

Activité commerciale

Les listes détaillées d'achats et l'identification des sources potentielles d'approvisionnement sont en voie d'être finalisées dans la région de la mine. Dans la région, il n'est pas prévu qu'il y aura beaucoup de contrats d'achats de biens et de services, ni de contrats de grande envergure, qui seront attribués. De façon générale, les entreprises existantes sont de petite taille et, sauf quelques exceptions, elles sont centrées sur les besoins de consommation des résidents locaux et des touristes.

Pendant la phase d'exploration du projet, le promoteur a eu l'occasion de travailler en collaboration avec certaines entreprises locales avec succès. De la même manière que pour l'emploi, la participation des entreprises locales devrait augmenter dans le temps, particulièrement à la suite d'implantation de mesures pour favoriser cette participation.

Le potentiel des impacts découlant des opportunités d'affaires prendra un certain temps à se réaliser pleinement mais ces impacts sont globalement considérés positifs, d'intensité moyenne, à long terme et de conséquence moyenne étant donnée la taille de l'économie locale. Toutefois, l'impact sur les individus et les familles qui en bénéficieront directement sera de conséquence élevée.

Economie locale

Les dépenses totales de construction, au site de la mine, devraient atteindre 150 millions USD. Les dépenses annuelles d'opération devraient être de l'ordre de 7 millions USD pendant les 27 années d'exploitation prévues. Les activités de fermeture et de post-fermeture se traduiront également par des dépenses locales. Ainsi, l'apport total des dépenses en salaires locaux et en biens et services pourrait être de l'ordre de 340 millions USD sur toute la durée de vie du projet. Aucune estimation de la taille de l'économie de la région de Moramanga n'est disponible; cependant, il est probable que l'injection de dépenses de ces ordres de grandeur aura des conséquences élevées et positives.

La structure des dépenses variera au cours du projet; par exemple, durant la construction, il s'agira surtout de dépenses en capital qui seront importantes et non récurrentes. Les équipements miniers majeurs ne pourront être obtenus localement. Cela diminuera le pourcentage des dépenses totales qui pourront être faites dans le secteur local. Avec le temps cependant, l'augmentation de l'expérience locale due aux programmes de formation et autres formes d'assistance qui visent à faciliter l'accès à des opportunités économiques pour les populations locales, les pourcentages d'emploi et d'achats locaux augmenteront.

En plus de l'emploi et des opportunités d'affaires directes, le projet constituera un stimulant des opportunités indirectes et induites d'emploi et d'affaires. Les fournisseurs du projet auront besoin de nouvelle main d'oeuvre et, avec l'augmentation de l'activité économique directe et indirecte, les individus et les entreprises dépenseront davantage pour des biens et des services locaux. Cela induira de nouveaux emplois et peut-être la création de nouvelles petites entreprises, puisque les communautés ont alors tendance à s'organiser pour fournir les biens et les services exigés par ceux qui ont de nouveaux revenus disponibles. Les revenus additionnels pourraient être utilisés pour la rénovation domiciliaire, ou l'achat de nouveaux électroménagers et de véhicules (incluant leur frais d'entretien), ce qui stimulera encore davantage la création d'emplois et d'entreprises. Il est prévu que le projet entraînera la création d'environ 1700 emplois locaux indirects et de 590 emplois locaux induits pendant la phase de construction de la mine et 340 emplois locaux indirects, ainsi que 150 emplois locaux induits pendant la phase d'exploitation.

Les dépenses du projet devraient être importantes, au regard de la taille de l'économie locale; leur impact est considéré positif, de forte intensité, à long terme et de conséquence moyenne à élevée.

Education et formation

La formation en cours d'emploi est une politique du projet Ambatovy qui a déjà été appliquée pendant la phase d'exploration. Ce type de formation sera utilisé tout au long de la durée de vie du projet; elle permettra d'élargir la base des compétences requises pour un bon rendement au travail et d'augmenter les compétences de base des salariés, lesquelles pourront être utilisées dans d'autres fonctions au sein de l'économie. Même si elle a été acquise dans un contexte minier, une partie importante de la formation sera transférable à d'autres secteurs d'emploi. Des exemples comprennent la conduite et l'entretien d'équipements lourds, la comptabilité, le travail de bureau; les divers métiers de la construction (l'électricité, la plomberie, la mécanique, la charpenterie et la menuiserie), la restauration, les études environnementales, la santé et la sécurité de même que l'informatique et les technologies de l'information.

Le projet élaborera un programme officiel de formation pour les salariés, qui comprendra l'amélioration des qualifications des salariés, des programmes d'apprentissage et la création de postes de débutants, avec promotions des débutants à intervalles réguliers. Avec l'avancement du projet, les salariés tout comme les fournisseurs devraient acquérir l'expérience qui leur permettra d'augmenter leur niveau de participation. Dans la mesure où le programme de formation des salariés se fait par le biais des établissements d'enseignement locaux, la qualité de la formation professionnelle devrait également s'améliorer dans la région de Moramanga.

En plus de la formation des salariés, le projet prévoit répondre aux attentes concernant le développement d'une stratégie plus large d'éducation et de formation afin d'aider ceux qui désireraient développer des compétences particulières. Cette situation mettrait les salariés dans une meilleure position pour des emplois ou pour offrir des biens et des services à des niveaux plus élevés que ceux pour lesquels ils seraient autrement qualifiés, autant pour le projet que pour l'économie dans son ensemble. Les éléments de cette stratégie incluront de la formation aux entreprises ainsi que le renforcement et l'encouragement des jeunes à poursuivre leurs études secondaires et supérieures.

Les impacts potentiels de l'éducation et de la formation de la main-d'œuvre, des entreprises et des jeunes sont considérés positifs, d'intensité moyenne à forte, à long terme et de conséquence moyenne à élevée. En outre, l'impact sur les individus et leurs familles qui pourront en bénéficier directement sera de conséquence élevée.

Budgets communaux

La législation malgache prévoit qu'une partie des redevances obtenues des projets miniers est remise directement aux communes où se situent les ressources minérales. Une autre partie est destinée aux administrations décentralisées provinciales et au gouvernement national. Selon l'expérience internationale, ce type de législation se retrouve habituellement dans un contexte où l'activité minière est à petite échelle et à forte intensité de main-d'œuvre, de sorte que les paiements de redevances sont peu importants.

Dans le cas du Projet Ambatovy, l'importance de la mine signifie que les paiements annuels de redevances seront très importants en relation avec les niveaux de revenus des communes. Des budgets très élevés pour certaines communes – dans un contexte régional où d'autres communes ont des revenus très bas – ont le potentiel de créer des iniquités. De plus, l'empreinte du projet est beaucoup plus grande que le secteur de la mine, puisqu'elle s'étend le long du tracé du pipeline, et couvre le secteur du parc à résidus et de l'usine de traitement.

Ces autres secteurs, bien que loin des gisements, subiront les effets du projet, ce que la distribution des redevances devrait considérer.

Les promoteurs prévoient travailler avec le gouvernement de Madagascar pour établir un système équitable de distribution des redevances accordées par le projet. Il est prévu que les ressources disponibles pour les communes devraient augmenter. Les études de référence ont montré que malgré l'existence de plans de développement des communes, la mise en place des objectifs prioritaires des communes est limitée par le manque de ressources, à la fois techniques et financières. Dans la mesure où les revenus additionnels permettront aux communes de mettre en place ces priorités de développement économique et social, cela constitue un bénéfice du projet. L'assistance des promoteurs au développement des communautés et au renforcement de capacités renforcera aussi la capacité des communes à implanter les objectifs de développement prioritaires.

Les effets potentiels de revenus accrus pour les communes sont considérés positifs, de forte intensité, à long terme et de conséquence élevée.

Augmentation des revenus

L'emploi direct, indirect et induit, de même que la création d'entreprises associées au projet contribueront à une hausse des revenus des individus, de leurs familles et des communes en général.

Des revenus additionnels (indirects) seront également générés par les opportunités d'affaires créées par le projet. De plus, une hausse des revenus constitue une stimulation pour l'activité économique induite. Ainsi, les salariés du projet et les salariés des entreprises contractuelles n'en seront pas les seuls bénéficiaires, puisque d'autres personnes dans les communautés verront leur revenu augmenter également, résultant en une hausse des salaires qui sont accordés dans la collectivité.

En général, une amélioration du statut socio-économique des individus et des ménages est associée à une hausse des revenus. Cette association semble être le motif de l'emphasis mise sur l'emploi par les gens et leurs représentants gouvernementaux lors des consultations publiques. Les stratégies économiques de tous les niveaux de gouvernement et administrations décentralisées sont fondées sur la création de nouvelles opportunités économiques. Un des bénéfices les plus importants du projet est le potentiel d'amélioration de la qualité de vie à la fois pour les individus salariés par le projet (et leur famille) mais aussi pour les entreprises qui fournissent des biens ou des services de même qu'ailleurs dans

une économie locale en croissance. Une masse critique de ménages et d'entreprises prospères sera bénéfique à l'économie locale.

Une hausse de revenus peut avoir des impacts négatifs au niveau des individus, des ménages et des communautés si ces nouveaux revenus ne sont pas bien gérés. Des revenus mal dépensés ne se traduiront pas par une amélioration de la qualité de vie.

Les impacts potentiels de revenus accrus sont considérés en général très positifs, d'intensité moyenne à forte, à long terme et de conséquence moyenne. Toutefois, l'impact sur les individus et les familles qui pourront en bénéficier sera de conséquence élevée.

Migration

Les opportunités économiques associées à un grand projet comme le projet Ambatovy ont le potentiel d'attirer un grand nombre de migrants. Les tendances déjà observées de migration des régions rurales vers des centres urbains, les tensions dans les communes à propos des terres et la pénurie de logements à Moramanga portent à croire qu'une migration additionnelle causée par le projet pourrait être difficile à gérer. Le projet élaborera des politiques de recrutement qui découragent la migration ; ces politiques seront annoncées de manière ferme. Le projet fournira de l'hébergement, les repas, les services et le transport à destination et en provenance des lieux d'embauche pour la plupart des travailleurs expatriés pendant la construction et l'exploitation. Ces travailleurs expatriés ne seront donc généralement pas intégrés dans les communes. Certains cadres supérieurs résideront toutefois avec leur famille à l'extérieur du site de la mine.

Cependant, les membres de familles vivant à l'intérieur du secteur de la mine retourneront chez eux dans l'espoir de trouver de l'emploi et/ou d'autres personnes déménageront dans la région à la recherche d'emplois. Beaucoup d'habitants de Madagascar éprouvent des difficultés économiques et des taux de chômage élevés. Ils sont prêts à déménager dans l'espoir de bénéficier des opportunités économiques. Une migration vers le site de la mine a le potentiel de générer des impacts négatifs sur les familles, l'économie locale et l'organisation sociale, selon le nombre, les qualifications, les comportements, les espoirs d'emploi et le statut familial des migrants. Plusieurs de ces effets négatifs sont traités dans les sections ci-dessous.

Sur un plan positif, le retour de membres de familles, particulièrement ceux qui avaient quitté uniquement pour trouver de l'emploi ailleurs, pourrait être bénéfique au bien-être familial. De tels retours seront encouragés par les politiques d'emploi préférentiel du projet. L'immigration interne d'individus

possédant un esprit d'entreprise pourrait également améliorer la réponse économique du milieu local.

Les décisions de migration sont prises individuellement et reflètent ce que les gens croient être leurs meilleurs intérêts selon des circonstances individuelles spécifiques. Il est ainsi difficile de prévoir qui va migrer, combien vont le faire, et quels en seront les effets nets. Les impacts potentiels de la migration sont donc complexes et ils peuvent avoir des aspects positifs autant que négatifs. Ces impacts sont d'intensité moyenne, à long terme et de conséquence moyenne.

Tourisme

Il existe certaines inquiétudes à savoir que la présence de la mine pourrait avoir des impacts biologiques, physiques et/ou visuels qui auraient un effet négatif sur le tourisme. La commune d'Andasibe, en particulier, dépend du tourisme comme moyen de subsistance. Ces inquiétudes concernent non seulement le tourisme actuel, mais également le potentiel d'une activité touristique accrue, par exemple dans la région de Torotorofotsy. Les sections environnementales de l'EIE ont traité des impacts et concluent globalement qu'avec les mesures d'atténuation proposées, il ne devrait pas y avoir d'impact de forte intensité sur les ressources naturelles des sites à potentiel touristique et qu'avec un vaste programme de surveillance, tout effet non prévu peut être détecté très tôt et être ensuite traité de façon efficace. Des retombées positives du projet pourraient en effet aider l'industrie touristique, par exemple sous forme de partage d'infrastructures comme les axes d'accès le long du pipeline de pulpe et de la conduite d'eau ou d'autres éléments qui seraient laissés en place à la fin du projet. La présence de travailleurs expatriés et la stimulation générale de l'économie pourrait en fait augmenter les recettes touristiques et fournir un contexte favorable à l'investissement rentable dans l'infrastructure touristique, attirant ainsi plus de touristes en provenance d'autres régions de Madagascar et d'ailleurs dans le monde.

Les effets prévus du tourisme sont globalement positifs, d'intensité moyenne et à long terme et donc de conséquence moyenne.

5.1.3.2 Accès aux ressources naturelles

Occupation du sol

Le projet nécessitera environ 18 km² de terrains et de servitudes pour l'exploitation du gisement et des infrastructures associées. Tel qu'indiqué dans l'évaluation environnementale de l'occupation du sol (volume B, section 5.3), la plupart des terres à l'intérieur de l'empreinte au sol de la mine semblent peu

utilisés par les populations environnantes. Le développement des terres agricoles tend à se faire le long des vallées de rivières, de sorte que la forêt demeure essentiellement non perturbée. De plus, sauf pour quelques ménages au sud et à l'est des gisements (voir le plan de réinstallation), les populations vivent loin des sites et exploitent les terres plus près de leurs résidences. Etant donné la pauvreté des sols au-dessus des gisements, l'interdiction de tavy et la distribution de la population, il ne semble pas que le développement de la mine soustraira des terres à usage agricole potentiel. La croissance de la population dans ce secteur est comparativement faible et il existe des évidences que la migration des jeunes adultes vers d'autres régions limitent le potentiel de développement agricole à l'intérieur de l'empreinte au sol de la mine. Malgré une demande de terrains additionnels dans les communes autour du site de la mine et des différends sur l'utilisation des terres, aucune de ces situations n'est constatée pour les terres dans l'empreinte du projet.

Les perturbations liées aux infrastructures et les exigences liées aux servitudes (pour les routes, la conduite d'eau, le pipeline de pulpe ou les lignes de transport électrique) sont plus susceptibles d'engendrer des impacts négatifs sur les moyens de subsistance agricoles dans la mesure où ils suivent les routes et vallées de rivières, là où les gens sont présentement engagés dans des activités agricoles. Selon l'importance de l'interférence avec les activités de subsistance, il est possible que des gens puissent devoir être réinstallés, soit compensés selon la valeur à long terme des activités de subsistance perdues, tel que décrit dans le plan de réinstallation. En novembre 2005, deux ménages étaient identifiés comme devant être réinstallés et des compensations étaient envisagées pour 35 autres.

A l'exception des terres agricoles retirées de la production, tel que décrit dans le plan de réinstallation, les impacts potentiels sur les ressources foncières sont négatifs, à long terme, d'intensité moyenne mais de conséquence faible.

Ressources en eau

Les résidents des six bassins versants principaux affectés par la mine dépendent de la rivière pour l'agriculture, l'eau potable, l'abreuvement du bétail et l'usage domestique. Des changements potentiels à la quantité et à la qualité de l'eau ont le potentiel d'affecter les activités de subsistance et la santé humaine.

Bien que l'eau de la rivière Mangoro soit une source d'eau pour l'usine de préparation du minerai, son débit est tellement important, même en saison sèche, que les besoins en eau de la mine ne devraient entraîner que des impacts négligeables sur le débit (volume B, section 3.8). Il est prévu que la quantité d'eau de surface dans les six bassins versants principaux du site de la mine

augmentera. Ces augmentations de débit deviennent importantes après la quatrième année d'exploitation et elles ont été évaluées être, potentiellement, d'intensité moyenne jusqu'à 5 km en aval du site. Cet impact sera minimisé par des contrôles opérationnels visant à reproduire les débits de référence.

Les effets de l'augmentation de la quantité d'eau de surface s'accroîtront avec le temps, en fonction du moment et de l'importance des précipitations qui, à leur tour, se feront sentir sur les activités dans les rizières. Les riziculteurs sont aux prises non seulement avec des pénuries d'eau, mais aussi avec des surplus périodiques qu'ils ne peuvent contrôler, en l'absence d'infrastructures nécessaires de gestion de l'eau. Une gestion adaptative et des consultations publiques continues seront requises durant l'exploitation.

Les évaluations de la qualité de l'eau de surface ont montré que les normes de l'OMS pour l'eau de boisson sont respectées et l'évaluation des impacts sur la santé humaine conclut que les risques pour la santé associés à la consommation des récoltes ou de l'eau affectées par le projet varient de faible à négligeable. Les évaluations de la qualité de l'eau prévoient des hausses de concentrations qui sont déjà élevées, en particulier pour le chrome. L'évaluation des risques pour la santé humaine conclut que la consommation de poisson (une part importante de la diète locale, voir volume K, annexe 1.1) pourrait présenter un risque élevé pour la santé, dans trois bassins versants s'étendant sur environ 5 km en aval du site de la mine. Il a été souligné que les modèles utilisaient des hypothèses très prudentes et qu'un suivi de la qualité de l'eau devra être effectué pour s'assurer que les concentrations des paramètres de la qualité de l'eau demeurent à des niveaux sécuritaires ou pour prendre les mesures correctives appropriées.

Les effets de la mine sur l'eau souterraine devraient être de faible conséquence et d'une étendue très limitée sur le territoire. Il faut noter que les eaux de surface et les eaux souterraines interagissent, réduisant ainsi les débits en surface en période de crue.

Les activités de construction peuvent affecter la qualité de l'eau principalement par des phénomènes d'érosion. Ces effets seront minimisés par l'utilisation des meilleures pratiques de construction et devraient probablement être à court terme dans tout les cas. Toutefois, ces effets pourraient être perçus comme une perturbation par les usagers de l'eau.

En tenant compte des préoccupations soulevées pendant les consultations publiques au sujet de la qualité et la quantité de l'eau, il est probable que les gens associeront toute difficulté relative à l'eau au projet. Les résultats du programme de suivi de la qualité et du débit de l'eau (volume B, sections 3.8 et 3.9) seront

communiqués à la population locale afin de démontrer la bonne performance du projet à l'égard de la qualité et de la quantité d'eau et en vue de discuter de tout enjeu. Cela permettra non seulement de fournir plus d'informations, à propos des mesures d'atténuation qui pourraient être améliorées, mais aussi afin de fournir les données nécessaires pour traiter correctement toute plainte relative à l'eau. Les usagers de l'eau dont les doléances sont fondées seront compensés. De plus, le promoteur collaborera à la mise en œuvre de mesures destinées à améliorer la gestion de l'eau pour les agriculteurs dans le secteur avoisinant la mine.

Les impacts sur la qualité et la quantité des ressources en eau sont considérés globalement négatifs, d'intensité moyenne, à long terme et de faible conséquence en tenant compte des intentions de faire un suivi, d'utiliser une gestion adaptative et d'offrir une compensation pour tout impact avéré. Ces impacts concernent principalement l'agriculture et les prises d'eau potable dans les six bassins versants principaux autour du site de la mine. Ailleurs, les effets sont de conséquence faible à négligeable.

Ressources forestières

La mise en production du site de la mine exigera la coupe de ressources forestières ; le plan de gestion de ces ressources pourrait imposer des limites à l'accès à des terrains forestiers additionnels. La forêt azonale recouvrant la majeure partie du gisement semble peu utilisée par les populations locales. Cependant, la forêt de transition et la forêt zonale qui seraient potentiellement affectées par le projet, ainsi que la zone de gestion proposée, sont davantage utilisées par les populations locales. Les usages actuels sont le pâturage en forêt, la récolte de matériaux pour la construction domiciliaire et l'artisanat, la récolte de ressources biologiques et aquatiques à des fins alimentaires et médicinales, ainsi que la coupe légale et illégale de bois. Les données de références indiquent qu'une partie importante des moyens de subsistance est basée sur la forêt, en particulier près des centres de population.

Le facteur qui complique l'utilisation des ressources forestières est la détérioration progressive des ressources biologiques dans les forêts les plus utilisées et la pression que cela exerce sur les populations, les poussant à rechercher des forêts non perturbées afin de poursuivre leurs activités économiques forestières. Les populations autour du site de la mine pourraient démontrer un certain mécontentement à cause d'une perception voulant que les priorités d'intervenants externes guident ou influencent leur usage des ressources forestières.

Le projet reconnaît l'importance économique de la forêt. Il négocie avec le gouvernement et les communautés un plan de gestion de cette ressource afin de

préserver et/ou reconstituer l'intégrité des forêts autour du site de la mine, à la fois pour des raisons environnementales et pour l'usage par les gens. Toutefois, un tel plan a le potentiel de limiter ce qui pourrait être une utilisation non durable de certaines zones et/ou ressources forestières spécifiques. De telles limites constitueraient, à court terme, une pénalité pour les activités de subsistances de certaines personnes.

On peut aussi prévoir que des individus voient leur accès à la forêt restreint ou interdit par des activités du projet. Le projet analysera les doléances de cette nature en vue d'y répondre adéquatement et celles qui sont fondées feront l'objet de compensation.

Les impacts sur les ressources forestières sont considérés négatifs, à long terme, d'intensité moyenne et de conséquence faible, si on tient compte de l'intention de compenser complètement pour tout impact avéré.

5.1.3.3 Services sociaux, services physiques et infrastructures

La demande en services sociaux, services physiques et infrastructures est à la fois accrue (dans la mesure où les besoins augmentent) et diminuée (dans la mesure où la pauvreté en limite l'accès) du fait du faible statut socio-économique. Il pourrait y avoir une demande accrue en services de santé, de sécurité publique, services éducatifs, d'approvisionnement en eau, de logement et autres services et infrastructures suite à l'arrivée d'un grand nombre de migrants et/ou en raison de l'augmentation des revenus disponibles résultant de l'apport économique du projet dans le secteur de la mine.

Les pressions exercées sur les communes afin de fournir les services sociaux, les services physiques et les infrastructures seront réduites par l'utilisation des ressources du projet pour limiter la migration, dans la mesure du possible, et subvenir aux besoins pour l'exploitation de la mine, notamment la fourniture de services à la main d'œuvre et aux familles. Dans la mesure du possible, le projet s'assurera que ses besoins opérationnels en énergie, communications et transports ne dépendent pas des installations locales. Lorsque des installations locales comme les routes et le chemin de fer seront utilisées, elles seront financées et/ou entretenues. Les services d'alimentation et d'hébergement, les installations récréatives, les services de santé physique et mentale et les autres biens et services jugés nécessaires seront fournis par l'exploitation minière, indépendamment de ce qui est actuellement disponible localement.

Il est prévu que certains services et infrastructures bénéficieront des retombées projet, soit:

- Une augmentation des emplois, des opportunités d'affaires et des revenus se traduira par une sécurité et une capacité économiques accrues qui contribueront, à long terme, à accroître l'employabilité et le bien-être des salariés et de leur famille. Les initiatives d'éducation et de formation auront des effets similaires. Ainsi, il y a possibilité de réduire les problèmes sociaux liés à la pauvreté et ainsi diminuer la demande pour certains services sociaux.
- Les revenus accrus des communes et l'investissement social du projet pourraient aussi être utilisés pour accroître la quantité et la qualité des services et des infrastructures.
- L'élargissement et l'amélioration des routes d'accès à la mine bénéficieront aux gens qui utilisent ces routes, par exemple pour le transport des produits agricoles. La construction des infrastructures de transport d'énergie et d'approvisionnement en eau pour le projet pourrait également se traduire en opportunités de fourniture de tels services à la population.

Les impacts positifs devraient s'accélérer pendant la durée de vie du projet, au fur et à mesure que les initiatives d'emploi, de formation et d'affaires améliorent le statut socioéconomique des gens. Cette amélioration découlera aussi des dépenses additionnelles en infrastructures et services. Au moment de la fermeture, certains de ces impacts positifs pourraient être renversés et devenir négatifs. Le suivi de l'accès aux infrastructures et services sera nécessaire pour identifier et bien comprendre les tendances requérant une attention (i.e. des mesures additionnelles d'atténuation et/ou d'amélioration).

Les impacts sur les infrastructures et les services sociaux sont considérés positifs à long terme, d'intensité moyenne et de conséquence moyenne.

5.1.3.4 Bien-être

Les impacts potentiels sur le bien-être des individus et des familles sont complexes, imprévisibles et les répercussions peuvent être profondes. S'ils sont suffisamment importants, leur portée peut s'étendre au point d'affecter le bien-être des populations dans leur ensemble. Le bien-être est intimement associé aux opportunités économiques accrues, mais aussi à la santé et à la sécurité publiques, aux perturbations (particulièrement pendant la phase de construction), aux changements socioéconomiques et culturels, ainsi qu'à la disponibilité et l'accessibilité aux nécessités de la vie.

Santé et sécurité publique

Les gens dans le secteur de la mine sont préoccupés par les dangers potentiels, pour la santé et la sécurité, que la présence de travailleurs non locaux et de migrants économiques peuvent représenter pour leurs collectivités (volume A, section 6). Malgré l'utilisation de meilleures pratiques en matière de gestion de la main-d'œuvre, les salariés logés en base vie, les nouveaux migrants et les travailleurs de passage interagiront inévitablement de manière imprévisible avec les résidents du secteur de la mine. Un suivi social sera essentiel pour déterminer les effets réels du projet en matière de santé et sécurité publiques, de manière à réagir à tout changement négatif sur les communautés résultant de ces interactions.

L'attention portée au potentiel d'une hausse de l'incidence du VIH/SIDA est critique et cela souligne encore plus l'importance de bien appliquer les codes de conduite ainsi que les programmes sérieux et persuasifs de prévention du VIH/SIDA et les traitements proposés. On a déjà observé ailleurs qu'une hausse de l'incidence du VIH/SIDA contribue également à des hausses d'autres maladies opportunistes et transmissibles, en particulier la tuberculose. Celle-ci se propage souvent d'abord chez des personnes immunodéficientes, puis s'étend dans la population à mesure que son incidence augmente.

L'augmentation du trafic et le potentiel plus élevé d'accidents qui en découle représente un autre risque pour la santé publique (volume B, section 5.5). Les plus grands risques associés au trafic sont reliés à la mobilisation, pendant la phase de construction, alors que l'équipement est amené sur le site. Le trafic pendant la période d'exploitation augmentera aussi ce risque. Il sera minimisé par l'application de règles claires pour les opérateurs de véhicules, en combinaison avec la formation des opérateurs et l'éducation du public sur ces risques.

Une autre préoccupation pour la santé et sécurité publique est la possibilité que des urgences ou accidents reliés au projet aient des effets environnementaux, en particulier sur la qualité de l'eau. Par exemple, la chaîne alimentaire pourrait être contaminée par le déversement de carburant ou autre.

La santé et la sécurité de la main d'œuvre et de la population dans son ensemble font l'objet de réglementations et dépend de l'application des meilleures pratiques de gestion des risques. Le projet vise non seulement le respect des exigences légales, mais aussi l'amélioration continue de son dossier de sécurité. La formation en santé et sécurité qui sera dispensée à tout le personnel peut aussi servir dans leur vie personnelle puisque les travailleurs appliquent souvent ces principes dans leurs tâches quotidiennes à la maison.

Le projet mettra en application et mettra en vigueur rigoureusement des meilleurs pratiques dans les domaines de la gestion du personnel, des procédures d'opération, du trafic, de la santé-sécurité, de l'éducation du public, de la programmation sanitaire et d'autres meilleures pratiques appropriées afin de réduire les risques pour la santé et sécurité publiques. Les impacts potentiels du projet à cet égard sont donc négatifs, mais de faible intensité suite à l'application réussie de mesures d'atténuation.

Valeurs et intégrité sociales et culturelles

Les dimensions sociales, culturelles et économiques sont d'une importance fondamentale pour le bien-être dans les modes de vie plus traditionnels. Les valeurs sociales et culturelles confirment l'identité des peuples. Au niveau individuel, au niveau des familles ou au niveau des communautés, les valeurs sociales sont reconnues comme essentielles pour le bien-être social et émotionnel.

Le degré auquel les valeurs d'intégrité sociale et culturelle ont été et préservées et peuvent continuer à l'être dans le temps dépend de plusieurs variables et peu d'entre elles sont liées à un seul projet en particulier. La mine n'est pas le seul événement d'importance dans le secteur du projet. Les caractéristiques sociodémographiques semblent montrer une évolution en réponse aux pressions pour des terres. Les pratiques de tavy ont récemment été interdites et cette interdiction est appliquée. Une modification du climat est également perçue, laquelle impose des changements dans le calendrier des cultures. L'activité forestière industrielle a aussi décliné, ce qui, combiné à la migration vers les centres urbains, a changé la nature de l'économie de Moramanga. Les changements économiques, sociaux et environnementaux en continuelle évolution que connaît le secteur sont causes de conflits sociaux, de stress économique accru et de compétition pour les ressources et aussi la cause d'autres impacts, dont certains sont semblables à ceux qui pourraient être causés par la mine.

Une certaine détérioration sociale est observée, principalement en réponse à la immigration et à l'émigration internes, au stress économique, à l'augmentation des communications, à la transition générale vers une économie de services et à l'évolution sociale et culturelle qui est associée à ces situations. Le projet pourrait constituer une force additionnelle de changement dans les valeurs et l'intégrité sociale et culturelle.

Le maintien de ces valeurs et de cette intégrité posera un défi dans le contexte d'un important projet minier caractérisé par une main-d'œuvre non locale, des salariés bien payés et la possibilité d'une migration induite. A mesure que le

projet avancera, les contacts interculturels augmenteront – les salariés et les entreprises devront en effet opérer dans le cadre des exigences du projet en matière de culture d'entreprise, de politiques et des besoins d'opération et de transport des personnes et des matériaux à travers les communautés locales. Des revenus accrus induiront aussi des changements de comportement dans les familles et les populations.

Des politiques et procédures de gestion des ressources humaines seront implantées pour gérer ces préoccupations dans la mesure du possible. Elles comprendront des codes de conduite pour les travailleurs, de la formation interculturelle et la mise en place de conditions de travail sensibles aux modes de vie locaux. La participation des populations au projet pourrait, en conjugaison avec d'autres processus en cours contribuer à l'érosion des valeurs et de l'intégrité sociales. Les effets du projet pourraient être considérés de moyenne intensité, à long terme et de conséquence moyenne.

Perturbations

La construction du projet produira des impacts temporaires sur la qualité de l'air, à cause des poussières et émissions atmosphériques dues au défrichement, aux activités de terrassement, au transport d'équipement et de fournitures, ainsi qu'à la construction des infrastructures. Le bruit associé à ces activités, incluant le trafic routier, peut également constituer une perturbation. L'augmentation du trafic représente une source de pollution et de risques de déversements ; elle présente aussi un danger pour la santé et la sécurité et constitue un facteur irritant. De plus, un grand chantier de construction peut être peu attrayant au plan visuel.

Les perturbations associées aux poussières, au bruit ou à une perturbation visuelle qui seront vécues par les résidents seront surtout reliées aux activités de construction au sein même des communautés plutôt qu'au site de la mine. Elles découleront principalement du trafic, mais aussi de la construction de certains éléments d'infrastructure. Les perturbations associées aux activités de transport seront également présentes pendant toute la durée de vie du projet.

Toutes les activités de construction et de transport seront effectuées selon les meilleures pratiques afin de minimiser les perturbations. Les mesures d'atténuation planifiées pour le trafic sont discutées au volume B, section 5.5.

L'impact des perturbations potentielles du projet est considéré négatif. La plupart de ces perturbations seront de faible intensité et à court terme car elles seront surtout présentes pendant la construction et de façon intermittente seulement par la suite. Leur conséquence est donc considérée faible.

5.1.3.5 Fermeture

Les activités de fermeture du projet telles que planifiées pourraient s'étirer sur plus de cinq années, pendant que l'usine et d'autres infrastructures sont enlevées et que les activités de réhabilitation sont complétées (volume B, section 6). Durant cette phase, les dépenses pour la main-d'œuvre, les biens et les services seront bien moindres que pendant la phase d'exploitation. A la fin de la période de fermeture, toutes les dépenses cesseront, sauf pour quelques emplois reliés aux activités de suivi après la fermeture. Le paiement de redevances et les dépenses d'investissement social cesseront également à la fermeture de la mine.

La fermeture a le potentiel de causer des bouleversements économiques, et par conséquent, sociaux. La fermeture d'un projet majeur implique inévitablement du chômage et une réduction des affaires. Il en résulte des problèmes sociaux au niveau des individus, des familles et des communautés. Les promoteurs ont l'intention de débiter la préparation à la fermeture dès les stades initiaux de mise en oeuvre du projet. Des principes de développement durable seront intégrés à toutes les mesures d'atténuation et de maximisation des retombées positives, lesquelles seront mises en place en tant que meilleures pratiques opérationnelles régulières ; elles comprennent, par exemple, les mesures qui seront implantées pour accroître l'emploi et les capacités des entreprises au sein de l'ensemble de l'économie. De plus, la hausse des budgets communaux et la collaboration du projet en tant que partenaire à la planification du développement des communautés devraient contribuer à améliorer la qualité de vie des gens vivant à proximité du projet. Cette amélioration leur permettra de renforcer leur situation socio-économique durant la durée de vie du projet et les rendra donc plus aptes à faire face aux changements qui découleront de la fermeture.

Grâce à une planification minutieuse et des consultations publiques, la perte des retombées sociales et économiques positives, causée par la fermeture du projet Ambatovy, est réduite à un impact négatif, à long terme, d'intensité moyenne et de conséquence moyenne.

5.1.3.6 Résumé

Les impacts socio-économiques du projet, tels que décrits dans cette section, sont résumés dans la matrice des impacts socio-économiques présentée au tableau 5.2. Le tableau inclut une évaluation des impacts potentiels avant et après les mesures d'atténuation proposées et présente divers scénarios pour certains impacts qui pourraient éventuellement être considérés soit négatifs, soit positifs.

Globalement, le projet Ambatovy devrait générer des retombées économiques positives dans le secteur de la mine, ce qui représentera une importante

stimulation économique locale. Dans la mesure où il existe un potentiel pour des effets négatifs, des mesures directes d'atténuation et une stratégie de gestion adaptative seront mises en place. La stratégie comprendra des consultations publiques, un suivi social et un engagement à travailler à minimiser les impacts négatifs par une approche participative auprès des parties prenantes.

Tableau 5.2 Matrice des impacts au site de la mine

Dimension	Impact résiduel	Portée géographique	Phase (Durée)	Site de la mine		Mesures d'atténuation	Après les mesures d'atténuation	
				Avant les mesures d'atténuation			Orientatio n	Conséquence (incluant intensité)
				Orientation	Conséquence (incluant intensité)			
Opportunités économiques								
Emploi local	Potentiel de création de quelque 360 emplois directs locaux pendant la phase d'opération, en croissance dans le temps, et jusqu'à 540 emplois pendant la construction	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Positive	Faible en l'absence de systèmes préférentiels	Emploi local préférentiel et formation pour les résidents de Moramanga et des communes avoisinantes, avec vérification du statut de résidence	Positive	Elevée pour les individus pouvant accéder aux emplois reliés au projet, et moyenne au niveau de la commune, par rapport à la taille de la population
Achats de biens et services locaux	Accroissement des activités commerciales reliées aux contrats d'achats du projet	Principalement à Moramanga mais des opportunités pour les communautés voisines augmenteront avec le temps existent	Construction et exploitation	Positive	Faible en l'absence de systèmes préférentiels	Programmes de formation et d'achat local préférentiel	Positive	Elevée pour les individus possédant des entreprises ou y travaillant et pouvant accéder aux opportunités d'affaires générées par le projet Faible dans les communautés rurales et moyenne, mais augmentant avec le temps, à Moramanga compte tenu des entreprises existantes
Croissance économique indirecte et induite et diversification économique	Potentiel de création d'emplois indirects et induits	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Positive	Faible en l'absence de systèmes préférentiels	Emploi et achat préférentiels	Positive	Moyenne à élevée
	Inflation	Communautés rurales et Moramanga	construction et exploitation	Négative	Moyenne compte tenu de la taille de la mine par rapport à l'économie locale et compte tenu du rôle que la migration y jouera	Mesures de contrôle de la migration Les retombées positives du projet contribueront au bien-être de l'ensemble de la communauté	Positive et négative	L'orientation et la conséquence des effets dépendent de la position d'une personne dans le reste du secteur économique Les groupes vulnérables sont le plus négativement affectés
	Aggravation des inégalités de revenus	Communautés rurales	Construction et exploitation	Négative	Moyenne	Aucune mesure d'atténuation directe possible	Négative	Faible , compte tenu des attentes voulant que le projet bâtisse des partenariats, fournisse une assistance à l'accroissement du bien-être de la communauté et cible les besoins des membres les plus pauvres de la société
Renforcement des compétences de la main-d'œuvre et des entreprises	Education, formation et expérience professionnelle pour les salariés et les entreprises pouvant travailler pour le projet et dans le reste de l'économie	Communautés rurales et Moramanga	Exploitation	Positive	Faible en l'absence de systèmes préférentiels	Aucune mesure nécessaire hormis l'emploi et l'achat préférentiels et les programmes de formation	Positive	Elevée pour les individus et moyenne pour les communautés
	Meilleur niveau d'instruction de la population en général	Communautés rurales et Moramanga	Exploitation	Positive	Négligeable en l'absence d'une stratégie d'éducation et de formation	Stratégie d'éducation et de formation	Positive	Elevée pour les individus et de faible à moyenne dans la mesure où les effets sont ressentis dans la communauté
Retombées fiscales positives pour les administrations décentralisées des communes	Accroissement des budgets des communes découlant de la distribution des redevances	Communautés rurales et Moramanga	Exploitation	Positive	Elevée par rapport aux budgets locaux	Les décisions relatives aux redevances relèvent du gouvernement	Positive	Elevée par rapport aux budgets locaux Il est prévu que l'accroissement des revenus favorise la qualité de vie de la communauté
Augmentation du revenu individuel	Multiplication des opportunités d'emploi, avec des salaires généralement intéressants	Au niveau individuel	Construction et exploitation	Positive	Elevée pour les individus affectés	Emploi et achat préférentiels et programmes de formation	Positive	Globalement moyenne , mais élevée pour les individus ayant accès aux emplois, il y a un certain potentiel pour des effets négatifs
Migration	Immigration interne	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Surtout Négative	L'impact dépend du type de migrants, de leur nombre, de leur statut familial et des compétences qu'il apportent. Un certain potentiel d'effets positifs	Emploi local préférentiel, mais les activités de recrutement seront basées à Moramanga Campagne agressive d'information publique sur les procédures de recrutement	Négative et positive	L'impact dépend du type de migrants, de leur nombre, de leur statut familial et des compétences qu'ils apportent.

Tableau 5.2 Matrice des impacts au site de la mine (suite)

Site de la mine								
Dimension	Impact résiduel	Portée géographique	Phase (Durée)	Avant les mesures d'atténuation		Mesures d'atténuation	Après les mesures d'atténuation	
				Orientatio	Conséquence (incluant intensité)		Orientatio	Conséquence (incluant intensité)
Tourisme	Diminution de la valeur touristique du secteur de la mine à cause des impacts environnementaux	Communautés rurales, spécifiquement Andasibe et Moramanga	Construction et exploitation	Négative	Faible	Mesures d'atténuation visant à réduire les effets environnementaux potentiels Le projet créera également un marché et un contexte économique favorables à une augmentation du tourisme	Positive	Faible à moyenne
Ressources naturelles								
Disponibilité des ressources foncières	Changements des modes d'occupation du sol	Communautés rurales	Construction et exploitation	Négative	Moyenne	Evitement des villages, des ménages et terres agricoles Compensation lorsque l'évitement n'est pas possible	Négative	Faible, et quelques personnes peuvent tirer des avantages des compensations
	Manque de terres et hausse des prix	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Négative	Moyenne compte tenu de la pénurie actuelle de terres et de logements	Mesures de contrôle de la migration	Négative	Faible
	Réduction de la disponibilité de terres pour l'expansion des terres agricoles	Communautés rurales	Construction et exploitation	Négative	Faible compte tenu de la géomorphologie et de la nature des sols au site de la mine	Il est probable qu'aucune mesure d'atténuation directe ne sera efficace	Négative ou Positive	Faible et négative mais il y a un potentiel de retombées positives moyennes si, à partir des consultations publiques, la productivité agricole est choisie comme un secteur d'intervention prioritaire; le projet pourrait fournir un soutien à l'amélioration de la productivité agricole et réduire ainsi la pression sur les ressources foncières
	Différends et changements des régimes de propriété foncière	Communautés rurales	Construction et exploitation	Négative	Faible compte tenu du fait que la majorité des terrains affectés par le projet ne sont présentement pas touchés par des différends	Il est probable qu'aucune mesure d'atténuation directe ne sera efficace	Négative	faible
Effets sur les ressources en eau	Augmentation ou diminution de la disponibilité de l'eau pour l'agriculture résultant des effets environnementaux potentiels et de l'utilisation de l'eau par le projet	Au niveau individuel	Exploitation	Négative	Moyenne compte tenu de la dépendance vis-à-vis des ressources en eau dans le secteur de la mine	Atténuation à la source des effets potentiels générés par la mine sur la quantité d'eau	Négative ou positive	Faible et négative mais il y a un potentiel de retombées positives moyennes si, à partir des consultations publiques, la gestion de l'eau est choisie comme un secteur d'intervention prioritaire; le projet pourrait fournir un soutien à la gestion des ressources en eau
	Baisse de la qualité des eaux de surface pour la consommation humaine et l'agriculture résultant des effets environnementaux potentiels	Communautés rurales et au niveau individuel	Exploitation	Négative	Faible compte tenu de l'éloignement des zones peuplées relativement au projet	Atténuation à la source des effets potentiels générés par la mine sur la qualité de l'eau Compensation durable des effets résiduels	Négative ou positive	Faible et négative; il y a un potentiel de retombées positives moyennes si, à partir des consultations publiques, l'eau potable est choisie comme un secteur d'intervention prioritaire
Effets sur la disponibilité de ressources forestières	Diminution de l'accès aux ressources forestières utilisées à des fins de subsistance	Communautés rurales et au niveau individuel	Construction et exploitation	Négative	Moyenne à élevée compte tenu de la dépendance vis-à-vis des ressources forestières comme complément des autres ressources de subsistance	Planification de la gestion forestière en consultation avec les collectivités Compensation durable des effets résiduels lorsque les restrictions d'accès et/ou d'utilisation entraînent des conséquences économiques	Négative à positive	Faible et négative, il y a un potentiel de retombées positives moyennes à élevées, à long terme, car une gestion améliorée des ressources forestières devrait permettre un usage durable

Tableau 5.2 Matrice des impacts au site de la mine (suite)

Site de la mine								
Dimension	Impact résiduel	Portée géographique	Phase (Durée)	Avant les mesures d'atténuation		Mesures d'atténuation	Après les mesures d'atténuation	
				Orientation	Conséquence (incluant intensité)		Orientatio n	Conséquence (incluant intensité)
Services sociaux, services physiques et infrastructures								
Services sociaux	La croissance démographique et l'augmentation du revenu disponible conduisent à la hausse de la demande pour une gamme complète de services sociaux	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Négative	L'impact dépend de la croissance démographique et des choix quant à la manière de dépenser les nouveaux revenus disponibles	Mesures de contrôle de la migration La main d'œuvre du projet aura accès à des services de santé	Négative à positive	Négative moyenne à positive moyenne , en fonction des services sociaux affectés et de l'évolution de la demande
	Amélioration de la qualité de la fourniture de services	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Positive	Faible	Augmentation des revenus gouvernementaux et planification pour améliorer la prestation de services en éducation et en santé	Positive	Moyenne à élevée en fonction des décisions en matière de budgets communaux et de tout soutien additionnel fourni par le projet
Infrastructures	Pressions pour un logement à Moramanga découlant de la migration	Moramanga	Construction et exploitation	Négative	Moyenne	Mesures de contrôle de la migration	Négative	Moyenne , car en dépit des mesures d'atténuation, l'effet combiné du projet et de la migration des régions rurale vers les centres urbains continuera à exercer des pressions sur le logement
	Des infrastructures sont construites et/ou améliorées	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Positive	Faible	Accès aux infrastructures construites ou améliorées pour les besoins du projet et les infrastructures construites tiennent compte de toute opportunité d'usage par le public	Positive	Moyenne
Bien-être des communautés								
Sécurité publique	Augmentation des comportements antisociaux dans la population	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Négative	Moyenne	Gestion de la main-d'œuvre par le biais de formation interculturelle et l'application de codes de conduite Collaboration avec les autorités pour la sécurité publique contribuant ainsi au bien-être de l'ensemble de la communauté en compensation de tout effet résiduel négatif	Négative	Faible
Santé publique	Augmentation du risque lié au VIH/SIDA et autres maladies transmissibles	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Négative	Elevée	La main d'œuvre du projet aura accès à des services de santé Programmes de prévention du VIH/SIDA pour la communauté et la main d'œuvre	Négative	Faible , mais un programme de prévention du VIG/SIDA sérieux et persuasif peut avoir des retombées positives potentielles à long terme
Augmentation des risques pour la santé et sécurité publiques en raison des activités de construction et d'exploitation	Risques associés au trafic, y compris le transport de marchandises dangereuses et les accidents	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Négative	Elevée compte tenu des dommages potentiels qu'un tel accident pourrait causer	Gamme complète des meilleures pratiques pour limiter les effets de l'intensification du trafic	Négative	Les mesures d'atténuation devraient réduire le niveau de risque de façon considérable
	Effets de la qualité de l'eau sur la santé publique	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Négative	Moyenne	Mesures d'atténuation complètes et gamme complète des meilleures pratiques pour limiter les effets sur la qualité de l'eau	Négative	Négligeable à faible , selon les effets de la qualité de l'eau sur les poissons

Tableau 5.2 Matrice des impacts au site de la mine (suite)

Site de la mine								
Dimension	Impact résiduel	Portée géographique	Phase (Durée)	Avant les mesures d'atténuation		Mesures d'atténuation	Après les mesures d'atténuation	
				Orienta-tion	Conséquence (incluant intensité)		Orientatio-n	Conséquence (incluant intensité)
	Effets du bruit sur la santé publique	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Négative	Négligeable compte tenu du fait que le bruit du trafic ne constitue pas une menace pour la santé publique, même si des perturbations peuvent se produire	Mesures d'atténuation complètes et gamme complète des meilleures pratiques pour limiter les effets du bruit	Négative	Négligeable puisque le bruit du trafic ne constitue pas une menace pour la santé publique, même si des perturbations peuvent se produire
	Effets de la qualité de l'air sur la santé publique	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Négative	Faible compte tenu du fait que, à l'exception possible du trafic, les émissions du projet auront lieu loin de la population	Mesures d'atténuation complètes et gamme complète des meilleures pratiques pour limiter les effets sur la qualité de l'air	Négative	Négligeable
Changements sociaux et culturels	Transformation économique, sociale et culturelle	Communautés rurales	Construction et exploitation	Négative	Faible à moyenne compte tenu du degré de stress et de changement auquel les modes de vie ruraux sont déjà exposés	Aucune mesure d'atténuation directe possible Retombées positives du projet	Négative	Moyenne , mais ce changement doit être soupesé avec les avantages liés au statut socioéconomique, qui peuvent être uniquement réalisés au détriment de la culture prédominante, quelle que soit la source de l'avantage
Perturbations	Perturbation des éléments de la qualité de vie (y compris les activités économiques qui dépendent de l'utilisation des routes) notamment les changements des aspects visuels, du trafic et du bruit	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Négative	Moyenne compte tenu des niveaux de trafic actuels qui sont rapportés	Mesures d'atténuation complètes et gamme complète des meilleures pratiques pour limiter les effets sur les éléments de qualité de vie	Négative	Faible
	Perception du danger découlant du projet	Communautés rurales et Moramanga	Construction et exploitation	Négative	Moyenne	Formation de la main-d'œuvre en santé et sécurité, éducation du public sur les risques réels de dommages résultant du projet, planification de l'intervention d'urgence	Négative	Faible
Augmentation du bien-être collectif	Développement économique et communautaire; développement de la capacité des communautés	Communautés rurales et Moramanga	Exploitation	Positive	Non applicable car il s'agit de retombées propres au projet	Aucune mesure d'atténuation n'est requise puisque les retombées positives plus importantes que toute mesure d'atténuation	Positive	Elevée , la participation du projet à la planification et à l'accroissement des capacités contribue au bien-être de la communauté; la distribution des redevances permettra l'amélioration des services
	Appui à la planification régionale	Communautés rurales et Moramanga	Exploitation	Positive	Non applicable car il s'agit de retombées propres au projet	Aucune mesure d'atténuation n'est requise puisque les retombées positives du projet plus importantes que toute mesure d'atténuation	Positive	Elevée , participation aux initiatives de planification et de soutien à la planification régionale; autres mesures d'atténuation à considérer en complément au plan régional et de la commune
Fermeture								
Fermeture et effets économiques et sociaux résultant	Fin des opportunités économiques	Communautés rurales et Moramanga	Fermeture	Négative	Elevée	Planification de la fermeture éventuelle de la mine par la participation aux discussions sur des initiatives visant la durabilité La planification concertée de la fermeture et une approche itérative prendront en compte l'avenir des salariés	Négative	Moyenne

5.2 BIENS CULTURELS

5.2.1 Introduction

Cette section présente l'évaluation environnementale des effets de la mine sur les ressources culturelles, conformément aux Termes de référence du projet Ambatovy (le projet).

5.2.2 Secteur d'étude

Le secteur local d'étude utilisé pour l'évaluation des impacts sur les biens culturels comprend l'empreinte au sol de la mine (figure 7.2-1 de la section 7 du volume A). Certaines ressources culturelles ont été identifiées à l'extérieur de l'empreinte au sol actuelle et elles sont incluses dans cette étude, afin de ne rien omettre.

5.2.3 Résumé de l'étude de référence

Les résultats des études sur les ressources culturelles qui ont été effectuées dans le secteur local d'étude sont résumés ci-dessous. Une description complète de la méthodologie utilisée pour l'étude de référence, les analyses et les résultats est présentée à l'annexe 2.1 du volume K.

5.2.3.1 Méthodologie

Les démarches précédant les travaux sur le terrain comprenaient l'analyse des études historiques antérieures effectuées dans la grande région. Les toponymes régionaux ont aussi été étudiés car les lieux-dits peuvent aider à reconstruire l'histoire particulière d'un secteur.

Le travail sur le terrain a été effectué à Ambatovy entre avril et mai 2004. L'inspection visuelle du secteur d'étude a été faite par transects pédestres systématiques. La population locale a également été consultée au sujet des emplacements de tout site archéologique ou culturel connu dans le secteur. Le système de positionnement global (GPS) a été utilisé pour déterminer les coordonnées des sites trouvés au cours du levé topographique.

5.2.3.2 Diversité du site

Le tableau 5.2-1 illustre les différents types de sites culturels connus dans l'ensemble de la région.

Tableau 5.2-1 Types potentiels de sites culturels dans le secteur d'étude des ressources culturelles

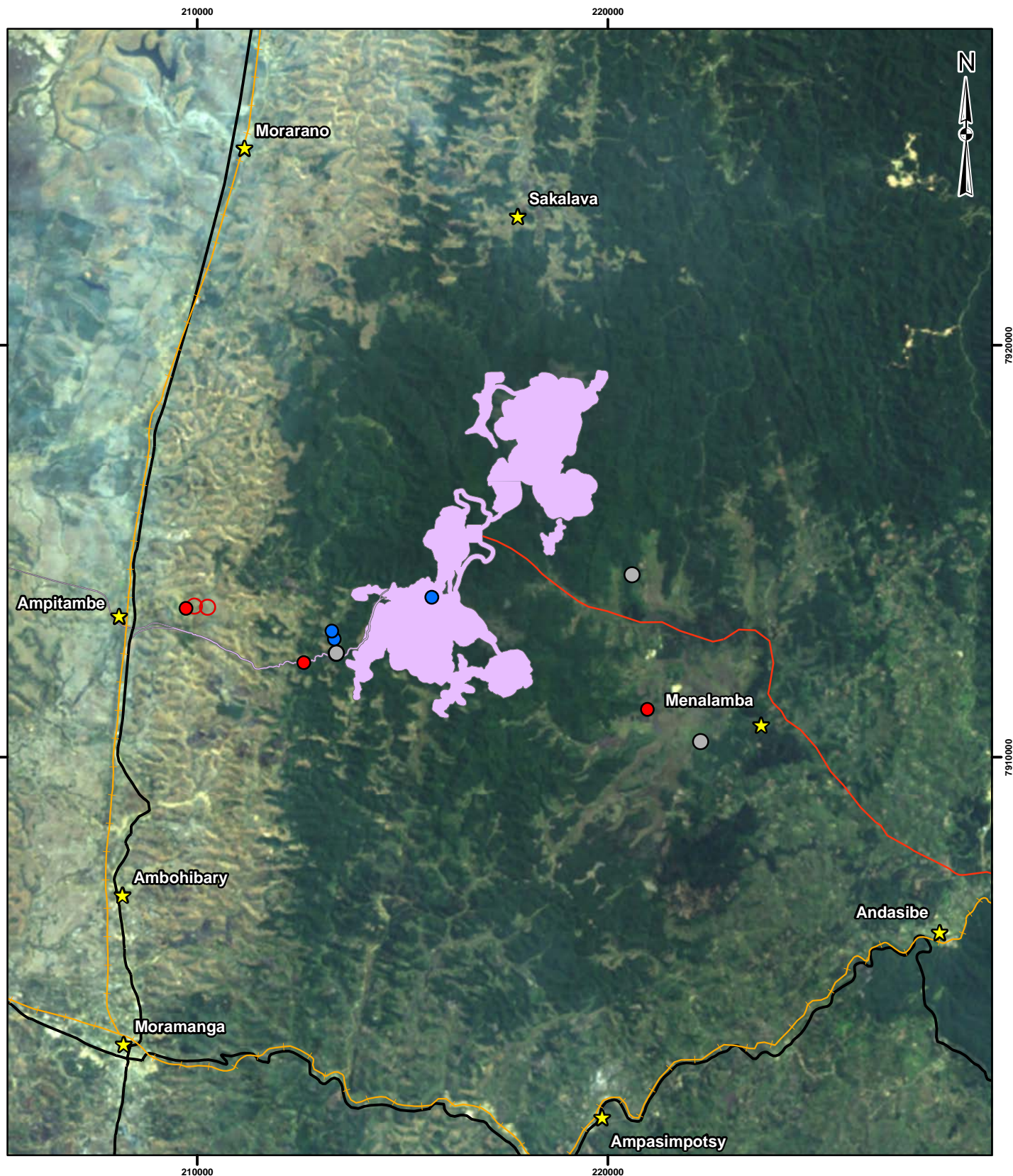
Catégorie de site	Sous-catégorie	Pertinence culturelle
tombeaux	Fasana	considérés comme des résidences ancestrales, un rituel approprié doit être soigneusement suivi pour les déplacer
	Tranomanara	
	Feraomby	
cimetières	--	comme ci-dessus
lieux de cérémonies	Jiro	autel de prières familial
	Fisokona	autel de prières communal
lieux maudits	Tany Mahery	lieu de malchance
chutes sacrées	Riana	symbolisent la pureté, lieux d'offrandes
autres sites culturels / archéologiques	Vatolahy	grande pierre levée commémorant une personne ou un événement important du passé
	Tsangambato	petites pierres levées symbolisant un tombeau
	Tanana Taloha	anciens villages abandonnés

Le secteur généralement développé a été établi depuis le 18^e siècle au moins par des populations qui ont basé leur subsistance sur le riz et le bétail, reposant sur la culture itinérante sur brûlis (tavy). Ce type d'agriculture, jumelé à une préférence pour des petits villages plutôt que des maisons isolées, fait en sorte que les villages sont périodiquement abandonnés, partiellement ou complètement, alors que les gens se déplacent plus près de nouvelles terres.

Sauf pour les anciens villages abandonnés qui sont des sites purement archéologiques, les sites présentés au tableau 5.2-1 peuvent être considérés des sites culturels, puisqu'ils continuent à jouer un rôle dans la culture actuelle du secteur.

5.2.3.3 Résultats

L'évaluation du site de la mine a permis de situer trois chutes sacrées, trois lieux de cérémonies, deux tombeaux symboliques et plusieurs anciens villages (voir figure 5.2-1). Parmi ces sites culturels, toutefois, seule une chute sacrée est située à l'intérieur des limites du site de la mine. De plus, environ huit kilomètres à l'est du gisement Ambatovy, une colline nommée Ambavahadivohitra a été identifiée en tant que site principal de culte (fisokona) utilisé par toute la population de la région.



LÉGENDE

- | | |
|--|--|
| ● SITE ARCHÉOLOGIQUE | — CHEMIN DE FER |
| ● LIEU DE CÉRÉMONIES | — ROUTE |
| ● CHUTE SACRÉE | EMPREINTE AU SOL DE LA MINE |
| ● TOMBEAU SYMBOLIQUE | |
| ★ AGGLOMÉRATION | |
| — PIPELINE DE PULPE | |

RÉFÉRENCE

Image mosaïque Landsat 7; prise en avril/sept. 2001
Référence: WGS 84 Projection: UTM Zone 39S

2 0 2 4
ÉCHELLE 1:130 000 KILOMÈTRES

PROJET

PROJET AMBATOVY

TITRE

**VUE DU SITE DE LA MINE ET EMPLACEMENT
DES SITES ARCHÉOLOGIQUES ET CULTURELS**



PROJET No. 03-1322-172		ÉCHELLE TELLE QUE MONTRÉE		REV. 0
DESSINE	LB	13 sep. 2005	FIGURE: 5.2-1	
SIG	LL	25 oct. 2005		
VERIF.	GJ	17 fév. 2006		
REV.	DM	17 fév. 2006		

Dans l'ensemble, on croit qu'il y a relativement peu de sites archéologiques et culturels dans le secteur de la mine en raison de la topographie et du fait que le type de sol sus-jacent aux gisements n'est pas propice à l'agriculture. Jusqu'à maintenant, les gens n'ont pas compté sur les ressources forestières relativement pauvres de la forêt azonale, mais plutôt sur les ressources des forêts zonales plus riches d'un point de vue biologique et plus éloignées du site de la mine.

5.2.4 Portée des enjeux

Une préoccupation constamment soulevée durant les consultations publiques est que les tombeaux ne devraient pas subir de perturbations. De plus, s'ils devaient en subir, une compensation devrait être négociée et le déplacement des tombeaux devrait être effectué en conformité avec la culture locale (section 6 du volume A). Les principaux enjeux potentiels liés aux ressources culturelles sont les suivants:

- la destruction de sites culturels durant l'aménagement de la mine (impacts primaires)
- des perturbations aux sites culturels avoisinants durant et après l'exploitation de la mine (impacts secondaires et tertiaires)

Les ressources culturelles sont des ressources non renouvelables qui peuvent être situées au niveau du sol ou tout près; elles peuvent aussi être enfouies. Les impacts primaires sur ces ressources comprennent les perturbations causées durant la phase de construction du projet, aux endroits où le paysage sera perturbé.

Les impacts secondaires sont les impacts indirects qui ont lieu après la phase de construction et l'application des mesures de réhabilitation. Par exemple, l'érosion d'un terrain en pente causée par des altérations de la végétation peut affecter des sites. Les impacts secondaires sont particulièrement préoccupants lorsque des ressources culturelles sont adjacentes aux zones d'aménagement du projet.

Les impacts tertiaires découlent des changements induits par le projet à la démographie et aux habitudes d'occupation du sol. Des taux accrus d'impacts intentionnels et accidentels sont attendus en raison de la fréquentation accrue de la région, si le projet est suffisamment important pour affecter la démographie régionale. Dans le cadre de ce projet, il est possible que des impacts tertiaires soient causés par des travailleurs provenant de l'extérieur, non familiers avec les coutumes locales.

Les questions clés concernant les ressources culturelles sont les suivantes:

Question clé AR-1	Quel effet le projet aura-t-il sur les sites archéologiques?
Question clé SE-8	Le projet conduira-t-il à des conflits culturels ou sociaux entre les populations locales et de l'extérieur?
Question clé SE-10	Quel effet une réinstallation, dans le cadre du projet et à l'intérieur du secteur d'impact direct, aura-t-elle sur les habitants?

5.2.5 Évaluation des impacts

5.2.5.1 Méthodes d'évaluation

L'évaluation consistait entre autres à identifier quelles ressources culturelles découvertes durant la phase des travaux sur le terrain subiraient un impact direct causé par les travaux d'aménagement.

Les impacts potentiels secondaires liés aux effets hydrologiques ou de l'érosion du sol en dehors de l'empreinte au sol du projet ont été évalués en fonction des impacts prévus dans les sections de l'EIE sur l'hydrologie et les sols (sections 3.8 et 3.3 du volume B).

Les ressources culturelles pourraient subir des impacts tertiaires (en raison de la fréquentation accrue du secteur par des résidents de l'extérieur suite à la phase de construction du projet). Ces impacts sont difficiles à prévoir, mais ils peuvent être atténués.

5.2.5.2 Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation présentés au tableau 5.2-2 ont été utilisés pour évaluer les impacts sur les ressources culturelles.

Tableau 5.2-2 Critères de description des impacts sur les ressources culturelles

Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence
neutre: aucun effet sur les ressources culturelles négligeable: les ressources culturelles sont détruites	négligeable: aucun effet mesurable sur les ressources culturelles moyenne: impact tertiaire sur les ressources culturelles forte: impact primaire sur les ressources culturelles	locale: effet restreint à l'empreinte au sol de la mine régionale: effet s'étendant au-delà de l'empreinte au sol de la mine (impact secondaire)	moyen terme: 3 à 30 ans long terme: >30 ans	réversible ou irréversible	faible: se produit une fois moyenne: se produit par intermittence élevée: se produit en continu

5.2.5.3 Analyse des impacts

Impacts résiduels

Les impacts résiduels durant chaque phase du projet sont résumés au tableau 5.2-3.

Tableau 5.2-3 Effets potentiels et impacts résiduels sur les ressources culturelles

Phase du projet	Effets potentiels	Mesures d'atténuation	Impacts résiduels
construction	perturbation du paysage et des sites culturels s'y trouvant	déplacement des tombeaux disinvestissement à la nature sacrée d'une chute	intensité neutre, mais effets permanents et irréversibles
exploitation	présence accrue de travailleurs de l'extérieur dans la région impacts hydrologiques et de l'érosion hors site	formation sur les différences culturelles maintien des régimes hydrologiques; contrôle de l'érosion le long des couloirs d'accès	intensité moyenne potentielle, effets à moyen terme réversibles sur les ressources culturelles adjacentes à la mine aucun
fermeture	aucun	aucune	aucun

5.2.5.4 Mesures d'atténuation

Bien que la chute sacrée située dans le secteur de la mine ne puisse être déplacée, son caractère sacré peut être modifié. Ceci est réalisé lorsqu'une population perd contact avec la chute – si les rituels ne peuvent y être tenus, elle n'est plus considérée sacrée. De tels cas sont fréquents à Madagascar et se produisent par exemple dans les zones d'expansion urbaine. Cependant, pour que cela ait lieu, le protocole doit être respecté, avec les rites et rituels corrects. Des discussions et des négociations avec des groupes de résidents seront nécessaires à cet effet.

Toute réinstallation nécessaire s'accompagnera obligatoirement du déplacement des tombeaux ou d'autres sites culturels associés aux ménages qui devront être réinstallés, peu importe leur proximité aux zones d'impacts causés par la construction.

Les impacts secondaires seront atténués par le maintien des régimes hydrologiques, tel que décrit à la section 3.8 du volume B, ainsi que par le contrôle de l'érosion le long des couloirs d'accès à la mine.

Les impacts tertiaires seront atténués en éduquant les personnes de l'extérieur sur les pratiques culturelles locales et en s'assurant que les travailleurs de l'extérieur évitent de visiter les sites de ressources culturelles adjacents à la zone d'impact direct du projet.

5.2.5.5 Conclusions

Une fois les mesures d'atténuation mises en place, la mine aura un effet neutre sur les ressources culturelles au cours de la phase de construction, car le caractère sacré de la chute qui s'y trouve pourra être modifié, sans perdre la signification culturelle inhérente de la chute sacrée.

Aucun effet secondaire causé par les impacts hydrologiques ou de l'érosion hors site n'est prévu.

Durant la phase d'exploitation, un effet potentiel moyen et à moyen terme pourrait survenir sur les ressources culturelles adjacentes à la mine, si les travailleurs de la mine en provenance de l'extérieur sont en contact avec ces ressources culturelles.

Aucun effet n'est prévu durant la phase de fermeture de la mine.

5.3 OCCUPATION DU SOL

5.3.1 Introduction

Cette section présente l'évaluation environnementale des effets de la mine sur l'occupation du sol. Conformément aux termes de référence du projet Ambatovy (le projet), l'occupation du sol a été cartographiée pour le secteur local d'étude de la mine et des prévisions ont été faites concernant les changements au niveau des zones d'occupation du sol par rapport aux conditions de référence. Les implications des changements d'occupation du sol pour les habitants sont discutées dans le contexte des effets socioéconomiques dans le volume B, section 5.1.

5.3.2 Secteur d'étude

Le secteur local d'étude d'occupation du sol de la mine est le même que le secteur local d'étude terrestre présenté dans le volume A, section 7.2, figure 7.2-1. Ce secteur comprend les secteurs d'Ambatovy et d'Analamay correspondant à l'empreinte au sol de la mine, le marais de Torotorofotsy et le corridor de la conduite de la prise d'eau de la rivière Mangoro et de la route d'accès à la mine.

5.3.3 Résumé de l'étude de référence

Les terres du secteur local d'étude comprennent la forêt zonale intacte et dégradée, des forêts azonales intactes et dégradées ainsi que des terrains broussailleux, des zones de végétation herbacée, des plantations d'eucalyptus, des terres boisées, des rizières et des villages (volume K, annexe 3.1, section 3.3). Dans la zone immédiate du site de la mine, l'activité d'occupation du sol la plus importante depuis 1960 a été l'exploration minière. Dans les zones avoisinantes, les terres sont en grande partie boisées, procurant des possibilités de foresterie à petite échelle et la collecte de produits forestiers autres que le bois d'œuvre. Le long du corridor de la prise d'eau de la rivière Mangoro, les types d'occupation du sol les plus importants sont les terres boisées, les plantations, les rizières et les pâturages; plusieurs villages sont situés dans ce corridor. Dans le secteur du marais de Torotorofotsy, qui a été déclaré site Ramsar (volume B, section 4.5), on retrouve également des activités d'occupation du sol, y compris des rizières, des terres boisées et des plantations.

Selon les conditions de référence, l'occupation du sol dans le secteur local d'étude transforme graduellement la couverture forestière du paysage. On estime que le taux actuel de déboisement (enlèvement de la forêt primaire et

augmentations de la forêt dégradée, des zones défrichées et des plantations) est d'environ 1% par année. De plus amples détails sur les taux de déboisement régionaux sont fournis dans le volume K, section 3.1.

5.3.4 Portée des enjeux

Les enjeux clés soulevés par le public au sujet de l'occupation du sol lors des séances de consultation publique sont les suivants:

- la dégradation des forêts, y compris la perte de ressources économiques du bois d'oeuvre
- la détérioration de zones de riziculture
- la sédimentation des rivières affectant l'usage de l'eau et l'agriculture
- les changements à l'hydrologie (volumes d'eau, particulièrement dans les zones de riziculture)
- la migration d'autres personnes dans le secteur et les conflits subséquents relatifs à l'occupation du sol
- les terres récupérées seront-elles utilisables et les fosses laissées après l'exploitation minière seront-elles remblayées

5.3.5 Méthodologie d'évaluation

Deux cas sont envisagés pour l'occupation du sol : un scénario de référence dans lequel on estime qu'aucun projet n'est réalisé et un scénario de projet dans lequel des impacts spécifiques vont se produire au niveau de l'occupation du sol. Les changements d'occupation du sol du scénario de référence sont prévus en extrapolant les tendances d'occupation existante du sol. Les changements d'occupation du sol du scénario-projet sont prévus en effectuant une analyse spatiale des types de zones d'occupation du sol qui subiront des altérations ou qui seront rendues inaccessibles par le projet.

Les effets des impacts sur l'occupation du sol sont de nature sociale et font l'objet d'une évaluation des impacts dans la section portant sur les aspects socioéconomiques (volume B, section 5.1).

5.3.6 Evaluation des impacts

5.3.6.1 Scénario de référence

Selon les activités existantes dans le secteur local d'étude de la mine et les tendances historiques, il est important de tenir compte que sans activité minière, le déboisement est susceptible de se poursuivre à un taux d'environ 1% par année dans les zones qui ne sont pas matériellement protégées des activités d'occupation du sol. Au cours d'un laps de temps égal à la durée prévue du projet (30 ans), 26% de la forêt primaire du secteur local d'étude serait convertie. Or, de façon concomitante dans le scénario de référence (sans projet), les populations locales pourraient occuper et accéder à des terres qui seront rendues inaccessibles par l'exploitation minière.

Dans les prévisions du scénario de référence, les zones protégées des activités d'occupation du sol (par exemple, par l'application du statut de zone protégée du site Ramsar de Torotorofotsy ou de zone de conservation de Mantadia-Zahamena) seront aussi perdues pour les populations locales en tant que sources de terre servant à certains types d'occupation du sol, selon le degré de protection.

5.3.6.2 Scénario de projet

Un diagramme de liens sur l'occupation du sol est présenté dans le volume H, annexe 9. Il existe des liens d'impact potentiels entre la mine et les changements d'occupation du sol pour:

- l'altération des sols, du terrain et de la végétation
- la diminution de terrains disponibles pour certaines occupations du sol au sein des zones tampons gérées
- des changements de l'hydrologie (écoulement de l'eau)
- des changements concernant les habitats des poissons et leur abondance
- des changements concernant les populations fauniques et/ou leur distribution
- une pression démographique accrue

Altération des sols, du terrain et de la végétation

Les impacts du projet sur des zones présentant une variété d'occupations potentielles du sol sont présentés au tableau 5.3-1. Les zones d'impact sont cartographiées à la figure 5.3-1.

Dans le secteur local d'étude, 100% des zones actuelles d'occupation du sol d'usage industriel (3 ha) subiront des impacts suite à la mise en oeuvre du projet, mais les zones industrielles actuelles sont des zones d'exploration et du camp minier entièrement liés au projet, il ne s'agit donc pas d'un impact négatif. Trois pour-cent (82 ha) des prairies herbacées du secteur local d'étude seront affectées par le projet. Cela entraîne une légère diminution des pâturages potentiels à l'ouest de la mine et découle principalement de l'élargissement du couloir d'accès pour la conduite de la prise d'eau et de la principale route d'accès à la mine. Moins de 1% (3 ha) des rizières du secteur local d'étude sont affectées, puisque le couloir d'accès est fixé de manière à éviter le plus possible ces vastes zones d'occupation du sol. Environ 1% (0,3 ha) des zones comprises dans les villages identifiées dans le secteur local d'étude sont affectées par le projet; ces zones ont également été évitées le plus possible par le projet. Moins de 1% (19 ha) des autres zones agricoles, telles que celles du tavy, sont affectées.

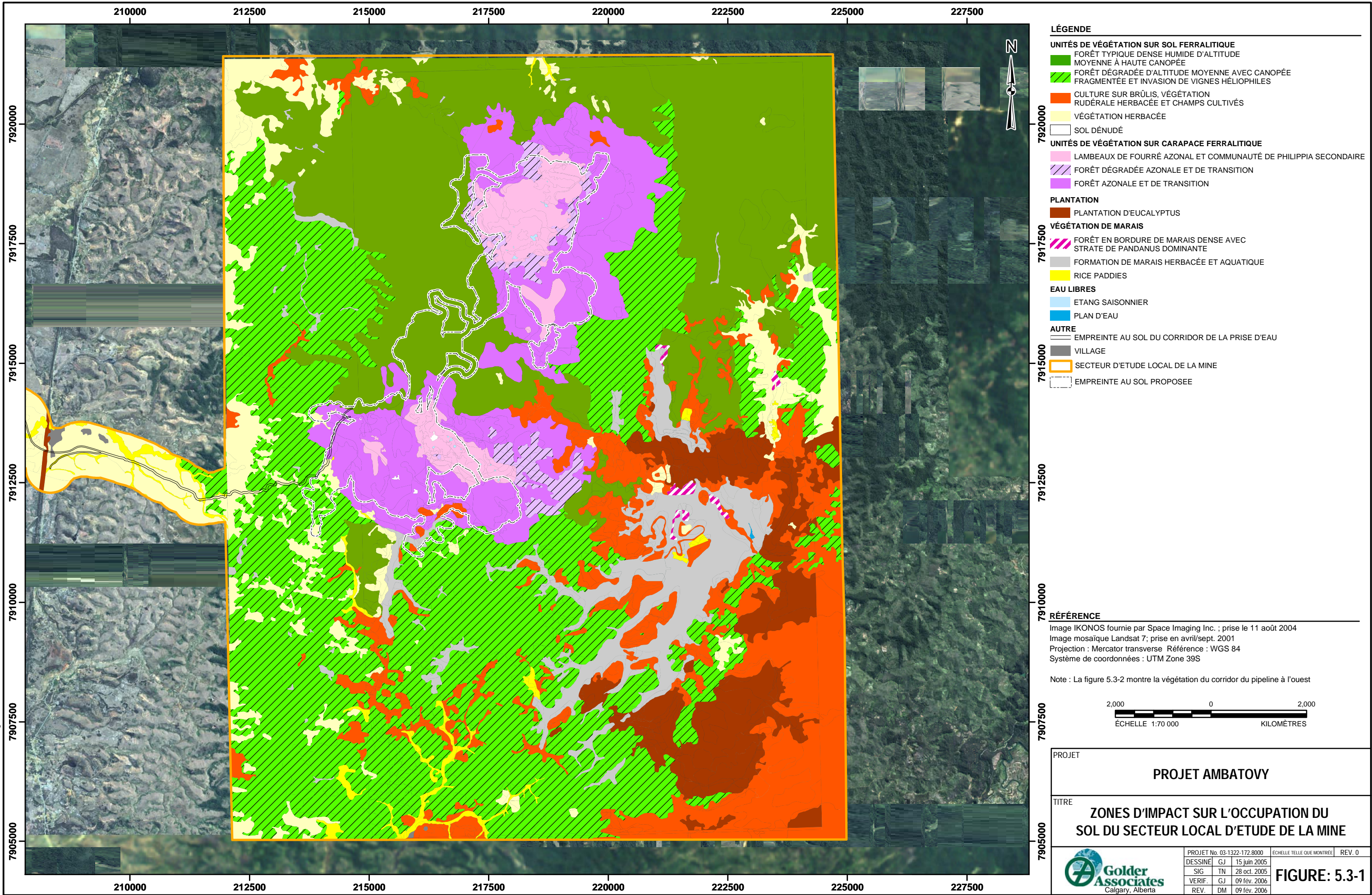
Tableau 5.3-1 Zones d'impact sur l'occupation du sol du secteur local d'étude de la mine

Type de zone	Superficie du secteur local d'étude (de référence) (ha)	Superficie affectée (ha)	Proportion de la superficie affectée du secteur local d'étude (%)
bosquets littoraux résiduels	0	0	0
forêt azonale/de transition et broussailles	2 833	1 303	46
forêt zonale primaire et bordure de marais	4 998	308	6
forêt zonale primaire dégradée	6 866	59	1
agroforesterie/forêt secondaire	0	0	0
plantation	0	0	0
terre boisée	1 491	5	<1
cordon de dune littoral	0	0	0
savane arbustive/prairies côtières	0	0	0
rizières	283	3	1
savane arbustive/herbacée/pâturage	2 794	85	3
matrice de tavy	2 583	19	<1
village/zone urbaine	27	0,3	1
zones humides	1 114	12	1
couloir d'accès (route/chemin de fer)	0	0	0
industrie (bâtiments ou zones d'exploration)	3	3	100
chenal	0	0	0
carrière	0	0	0
rivière/eau	10	0	0
étang saisonnier	4	4	89
total^(b)	23 006^(a)	1 798	8

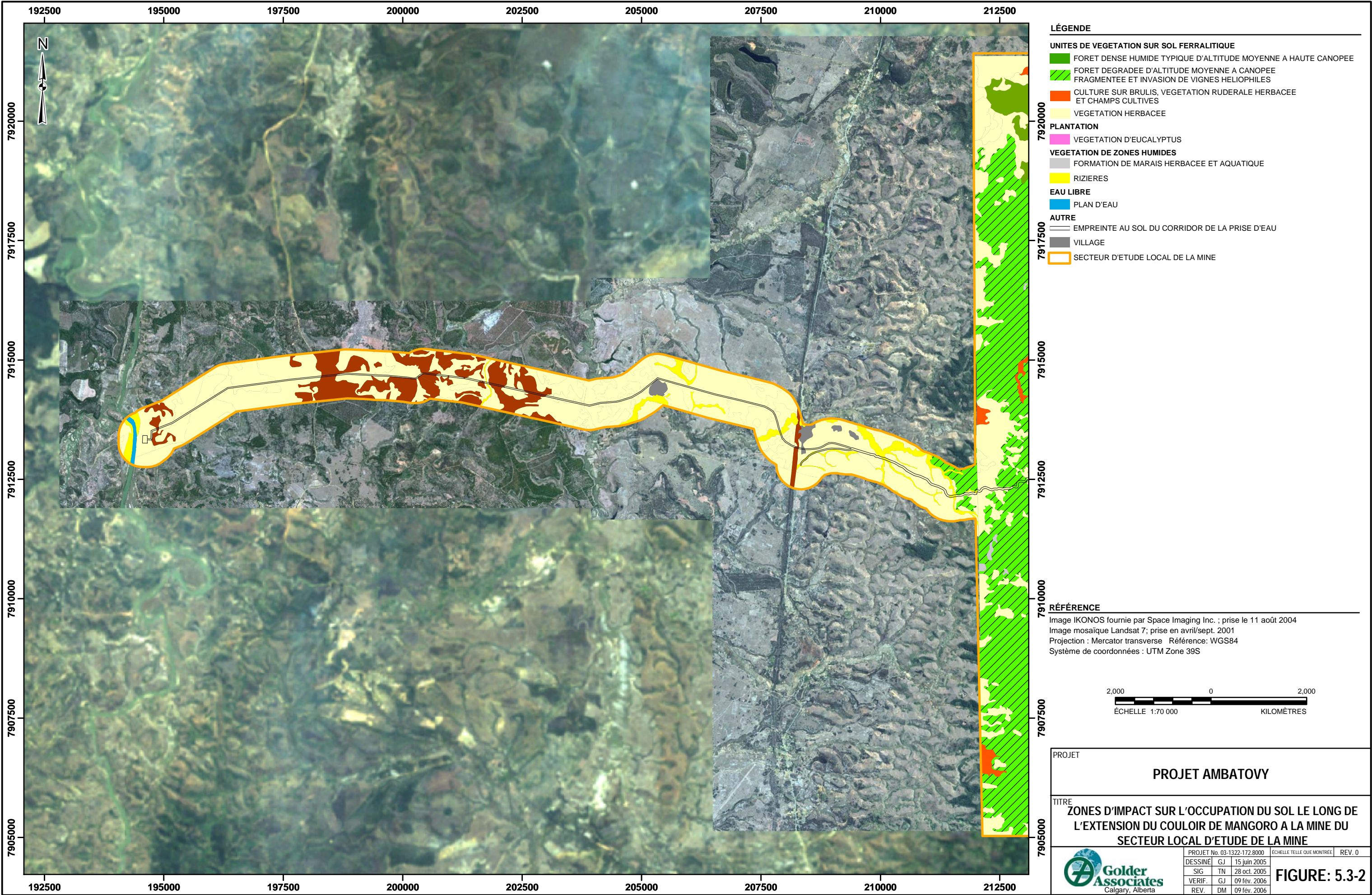
(a) Varie légèrement par rapport à l'EIE de la biologie terrestre en raison de l'étendue plus vaste de la zone le long du corridor de la conduite de la prise d'eau

(b) Pourrait ne pas faire le total mentionné en raison de l'arrondissement des chiffres.

I:/2003/03-1322/03-1322-172/mxd/Landuse/mine_French.mxd



I:/2003/03-1322/03-1322-172/mxd/Landuse/H2Ointake_French.mxd



De nombreuses zones parmi celles qui seront affectées par la mine sont déjà perturbées aux conditions de référence. Les activités d'exploration, tant récentes qu'anciennes, ont entraîné le défrichement de 33 ha de forêt azonale / de transition et de broussailles.

Onze pour-cent (1 670 ha) des zones boisées (zonale, azonale et dégradée) du secteur local d'étude sont affectées par le projet. Selon la recherche forestière menée lors de la campagne d'exploration, il a été estimé qu'environ 74 mètres cubes de bois d'oeuvre (utilisant des arbres d'un diamètre de 10 cm ou plus) peuvent être tirés pour chaque hectare coupé. Par conséquent, il est prévu qu'un total de 123 580 mètres cubes soit coupé durant l'activité de défrichement du projet. La valeur marchande des arbres coupés varie selon l'espèce. Certaines des espèces de plus grande valeur ont été retirées de la zone, du moins en partie, lors des activités d'exploitation forestière antérieures.

Contraintes au sein des zones tampons

En plus des impacts directs de la mine, une zone entourant le périmètre de la mine ainsi que deux « zones de protection azonales », qui sont protégées comme mesures d'atténuation biologique, seront activement gérées et ne seront pas accessibles pour certaines activités d'occupation du sol durant les phases de construction et d'exploitation du projet. La planification de l'occupation du sol de ces zones fait partie du plan de gestion forestière présenté dans le volume H, annexe 6. Il est prévu que les effets de la perte de ces zones pour une occupation active du sol représentent un faible ajout aux impacts décrits plus haut; la plupart des terres affectées sont boisées et ne font actuellement pas l'objet d'une forte pression d'occupation du sol.

Changements de l'hydrologie

Si toute l'eau pluviale de la mine était utilisée pour le traitement du minerai, les cours d'eau s'écoulant de la mine pourraient être affectés immédiatement en aval du site de la mine, la perturbation diminuant à mesure que la distance augmente vers aval (Hydrologie : volume B, section 3.8). Les zones potentielles de riziculture qui pourraient être affectées sont les bassins versants d'Antsahalava et de Sahamarirana qui comportent des zones de riziculture irriguées par l'écoulement fluvial le long de leurs vallées principales. Une analyse initiale des impacts sur l'eau a été effectuée pour un scénario de conception du projet dans lequel on ne laissait pas l'eau des bassins versants de l'empreinte au sol de la mine retourner dans les bassins en aval. L'analyse a conclu que cela entraînerait des insuffisances en eau affectant jusqu'à 400 occupants du sol en aval (riziculteurs). La production de riz est déjà considérée comme insuffisante dans cette région pour répondre aux besoins de certains ménages. L'analyse effectuée porte à croire que sans l'application de mesures d'atténuation, il pourrait y avoir des insuffisances de la disponibilité de l'eau par

rapport aux exigences des rizières en fin de saison sèche pour une région s'étendant à 10 km en aval du bassin versant d'Antsahalava et du bassin versant de Sahamarirana (volume K, annexe 3.2), tant pour les années d'écoulement moyen que (plus gravement) pour les années sèches.

Grâce à ces calculs, l'option d'utiliser la rivière Mangoro pour soutenir l'activité minière et permettre à l'eau pluviale collectée dans le secteur de la mine de continuer d'être acheminée aux bassins a été choisie afin d'assurer que les riziculteurs ne subissent qu'un minimum d'impacts. Grâce à cette mesure d'atténuation, le régime hydrique demeurera relativement naturel dans le bassin versant d'Antsahalava et les bassins versants de Sahamarirana (volume B, section 3.8), sans avoir d'effet négatif sur l'occupation du sol.

Changements concernant l'abondance des poissons

Des poissons et d'autres espèces aquatiques sont capturés par les populations locales pour se nourrir. Ainsi, les effets sur les poissons et les habitats des poissons peuvent aussi avoir un impact sur les hommes. Les impacts de la mine sur les poissons et les habitats des poissons, ainsi que les effets sur la pêche artisanale sont décrits dans le volume B, section 4.3.

Changements concernant les populations fauniques

Certaines espèces fauniques sont capturées par les populations locales pour se nourrir. Ainsi, les effets sur la faune et les habitats fauniques peuvent aussi avoir un impact sur l'homme. Les impacts de la mine sur la faune, imputables à divers facteurs, sont décrits dans le volume B, section 4.2.

Pression démographique accrue

Le projet va entraîner la migration d'un nombre considérable de personnes dans le secteur local d'étude et les zones avoisinantes, telles que Moramanga. Cela pourrait donner lieu à une augmentation de la pression d'occupation agricole du sol et de la coupe d'arbres pour produire du charbon de bois ou des matériaux de construction. Ces sujets sont traités dans la section portant sur les aspects socioéconomiques (volume B, section 5.1).

5.3.6.3 Mesures d'atténuation

Une grande partie des mesures d'atténuation concernant l'occupation du sol est basée sur la conception du projet. Le couloir d'accès à la mine, y compris le corridor de la conduite de la prise d'eau de la rivière Mangoro, a été tracé de manière à éviter les villages et les zones clés d'occupation agricole du sol. Bien qu'il n'y ait pas de flexibilité quant à l'emplacement de la mine en soi, elle est

située dans une zone qui n'est actuellement pas utilisée à grande échelle pour des activités d'occupation du sol.

Les zones d'occupation du sol en dehors de l'empreinte au sol du projet ont le potentiel d'être affectées par le projet, mais les mesures d'atténuation prévues vont réduire de tels effets à des niveaux très faibles. Ces mesures d'atténuation comprennent:

- Le maintien, aux niveaux de référence, des volumes d'eau provenant des bassins versants de la mine, y compris la variation saisonnière appropriée. Cela se fera par la gestion de l'eau pluviale collectée dans le secteur de la mine et en utilisant l'eau de la conduite de la prise d'eau de la rivière Mangoro pour l'usine de traitement du minerai (décrit dans Hydrologie, volume B, section 3.8).
- Le maintien et la surveillance de la qualité de l'eau provenant du secteur de la mine (décrit dans Qualité de l'eau, volume B, section 3.9).
- La mise à disposition du bois d'œuvre viable en le mettant de côté.
- Le développement et soutien d'un plan de gestion forestier régional qui tiendra compte de l'occupation du sol durant et après le projet (volume H, annexe 6).
- Le développement d'autres mesures d'atténuation socioéconomiques et de mesures d'indemnisation des personnes qui sont directement ou indirectement affectées par le projet, tel que décrit dans la section portant sur les aspects socioéconomiques (volume B, section 5.1).
- La réhabilitation des zones de la mine après l'achèvement du projet, de manière à ce qu'elles s'accordent, sur le plan écologique, avec les objectifs régionaux d'occupation du sol (décrits dans le volume B, section 6 et dans le volume H, annexe 7).

5.3.7 Conclusions

Le projet aura un faible effet sur les zones d'occupation du sol dans la zone immédiate du projet en raison des perturbations directes des terres utilisées pour le pâturage, la riziculture et l'agriculture de tavy. Ces impacts concernent de très petites proportions de la terre disponible à ces fins dans le secteur local d'étude et une indemnisation sera fournie là où ces impacts se produiront. Le projet peut aussi avoir des effets indirects sur l'occupation du sol dans des zones entourant la mine en raison d'altérations de la qualité de l'air et de l'eau, de même que de la quantité d'eau, mais des mesures d'atténuation vont grandement éliminer ces impacts. Les effets les plus importants sur l'occupation du sol pourraient être dus à des augmentations de la population locale due à la migration découlant des débouchés économiques réels ou perçus amenés par le projet. L'intensité de ces impacts en termes socioéconomiques est évaluée dans le volume B, section 5.1.

5.4 SANTE HUMAINE ET ECOLOGIQUE

5.4.1 Introduction

L'évaluation environnementale sur la santé humaine et écologique comprend une évaluation des effets des émissions de substances chimiques sur les humains, sur les ressources écologiques et sur les récepteurs du milieu aquatique. Pour l'évaluation des impacts potentiels sur la santé résultant des activités associées au projet Ambatovy (le projet), les émissions de substances chimiques de la mine ont été considérées en combinaison avec d'autres sources existantes et les concentrations de fond dans l'environnement.

Les questions relatives à la qualité de l'eau sont particulièrement importantes pour le projet étant donné la sensibilité de cette ressource, le rôle-clé qu'elle joue dans les écosystèmes naturels (comme par exemple le marais de Torotorofotsy) et les usages qu'on en fait dans la vie de tous les jours à Madagascar (eau potable, abreuvement du bétail, rizières et pêche). En outre, des questions concernant les effets potentiels sur la santé des changements dans la qualité et la quantité de l'eau ont été soulevées par les parties prenantes locales à l'occasion des consultations publiques sur le projet minier. Ces questions figurent dans les Termes de Référence du projet. Par conséquent, l'évaluation des impacts des émissions de substances chimiques sur les récepteurs humains et écologiques du secteur de la mine porte une attention particulière aux voies d'exposition par l'eau.

Les autres enjeux considérés concernent l'impact potentiel sur la qualité de l'air, du sol et des aliments, des perturbations et des émissions pouvant affecter autant la santé humaine et écologique que les ressources de subsistance (animaux d'élevage, récoltes et pêcheries). Les impacts potentiels sur la santé de la flore et de la faune terrestres sont évalués à la section 4 du présent volume portant sur les aspects biologiques.

Un bref résumé de l'étude de référence du secteur de la mine est fourni à la section 5.4.3. Une analyse des effets potentiels additionnels sur la santé humaine et la qualité du milieu aquatique associés au projet est présentée à la section 5.4.4 (Evaluation des impacts).

5.4.2 Secteurs d'étude

L'évaluation portant sur la santé humaine s'est concentrée sur la ville de Moramanga et sur quatre communes rurales qui entourent le gisement, soit:

Morarano Gare, Ambohibary, Ampasimpotsy et Andasibe (volume A, section 7.2, figure 7.2-1).

L'étude sur le milieu aquatique porte sur les plans d'eau susceptibles d'être directement influencés par l'exploitation de la mine et les activités connexes, incluant les rivières, cours d'eau, mares temporaires, sources et zones humides dans les bassins versants subissant les effets directs (c.-à-d. dans l'empreinte au sol de la mine et des activités connexes) ou indirects (c.-à-d. un changement au débit d'écoulement et à la qualité de l'eau en aval) (volume A, section 7.2, figure 7.2-1).

Etant donné que les gisements se trouvent en général sur un plateau élevé et une ligne de partage des eaux, les eaux d'amont de plusieurs bassins versants prennent leur source dans le secteur du gisement. Un site Ramsar reconnu internationalement, le marais de Torotorofotsy, est situé immédiatement en aval du site de la mine et fait partie du secteur d'étude.

5.4.3 Résumé de l'étude de référence

5.4.3.1 Introduction

L'évaluation des impacts potentiels reliés au projet de la mine sur la qualité de l'eau exigeait que des données de référence soient recueillies et évaluées afin de décrire les conditions de référence et le contexte dans lequel se produiront les impacts potentiels associés à l'exploitation et à la fermeture.

Une description détaillée des méthodes utilisées pour l'évaluation préliminaire des risques, de même que les résultats obtenus, se trouvent au volume K, annexe 4.1. Un bref résumé est présenté ci-dessous.

5.4.3.2 Méthodes et principaux résultats

Santé humaine

L'évaluation portant sur la santé humaine a accordé une attention particulière à l'ingestion d'eau potable et de poisson. Les risques potentiels ont été évalués pour les récepteurs critiques, c.-à-d. l'enfant (la phase de vie de la petite enfance, de sept mois à quatre ans) et un récepteur composite (récepteur hypothétique exposé pendant ses 30 premières années). L'arsenic, le cadmium et le nickel ont été identifiés comme les substances chimiques potentiellement préoccupantes selon les conditions de référence.

Les niveaux mesurés dans les échantillons de tissu des poissons ont satisfait aux valeurs recommandées pour la consommation de poisson, indiquant ainsi que leur utilisation comme source alimentaire régulière par la population n'est pas susceptible de causer des effets néfastes sur la santé.

Les risques non cancérogènes associés à l'utilisation de l'eau des cours d'eau comme eau potable sont faibles et probablement négligeables. Des modèles d'exposition jugés prudents (c.-à-d. ceux dont l'approche peut résulter en une surestimation des niveaux d'exposition) suggèrent que des risques pour la santé potentiellement élevés pourraient exister pour certains récepteurs humains exposés sur une base régulière à l'arsenic dans l'eau du secteur de la mine, aux conditions de référence.

Qualité du milieu aquatique

Les récepteurs aquatiques choisis pour l'évaluation des conditions de référence étaient des plantes aquatiques, des invertébrés aquatiques et des poissons vivant dans les plans d'eau, ainsi que des invertébrés benthiques retrouvés dans le secteur de la mine.

L'arsenic, l'aluminium, le chrome, le cuivre, le fer, le plomb, le mercure, le nickel et le zinc ont été identifiés comme des substances chimiques potentiellement préoccupantes pour la santé des récepteurs aquatiques, étant donné que les concentrations de référence maximales mesurées pour ces substances chimiques dans les eaux de surface et/ou dans les sédiments se trouvaient déjà en excès des lignes directrices correspondantes pour la protection de la vie aquatique.

L'analyse préliminaire des risques reliés aux eaux de surface pour les conditions de référence suggère que le fer et le cuivre présentent des niveaux de risques potentiellement élevés pour certains éléments du biote aquatique, dont les invertébrés et les algues.

5.4.4 Evaluation des impacts

La présente section de l'évaluation examine les effets néfastes potentiels sur la santé humaine et la qualité du milieu aquatique issus de l'influence combinée de la mine d'Ambatovy et des conditions de référence.

5.4.4.1 Portée des enjeux

La consultation menée auprès des parties prenantes (volume A, section 6) et la revue de l'EIE réalisée antérieurement pour le développement des ressources à Madagascar ont permis d'identifier les préoccupations suivantes en matière de santé:

- contamination des ressources aquatiques destinées à l'alimentation humaine et des animaux, susceptible d'affecter la santé des enfants et des adultes
- impacts de la quantité et de la qualité des eaux de surface sur la pêche et l'irrigation, deux activités importantes pour la subsistance dans la région
- impacts de la quantité et de la qualité des eaux de surface sur l'abondance, la santé et la survie des poissons et des autres ressources aquatiques, notamment dans le marais de Torotorofotsy

Outre ces préoccupations, les autres enjeux à considérer, selon le jugement professionnel, comprendraient les changements potentiels à la qualité de l'air et du sol; ceux-ci pourraient avoir un effet sur les récoltes et la santé de la population.

Les questions clés élaborées pour traiter des effets néfastes potentiels sur la santé humaine et écologique attribuables au projet et aux entreprises connexes sont énumérées ci-dessous. Les diagrammes des liens d'impact potentiels sont fournis au volume H, annexe 9.

Question clé SH-1	Quel effet les émissions de substances chimiques de la mine auront-elles sur la santé humaine ?
Question clé SH-2	Quel effet les émissions de substances chimiques de la mine auront-elles sur les ressources de subsistance ?
Question clé SE-1	Quel effet les émissions de substances chimiques de la mine auront-elles sur la qualité du milieu aquatique ?

Les sections suivantes fournissent la méthodologie et l'évaluation qui ont permis de répondre aux questions ci-dessus.

5.4.4.2 Question clé SH-1: Quel effet les émissions de substances chimiques de la mine auront-elles sur la santé humaine ?

Liens d'impacts

Les liens d'impacts potentiels suivants entre le projet de la mine et la santé humaine ont été évalués:

- entre les changements à la qualité de l'eau et la santé humaine
- entre les changements à la qualité de l'air et la santé humaine
- entre les changements à la qualité des sols et la santé humaine
- entre les changements à la qualité des aliments et la santé humaine

Qualité de l'eau

Les populations locales dépendent des cours d'eau pour l'alimentation en eau potable (volume K, annexes sur les aspects sociaux). Les concentrations de certains paramètres de qualité de l'eau pourront varier par un facteur de plus de 10 % en fonction des saisons durant l'exploitation de la mine, par rapport aux conditions de référence, puis décroître de nouveau jusqu'aux conditions de référence après la fermeture de la mine (se référer à la section portant sur la qualité de l'eau dans le présent volume). Certains de ces paramètres de qualité de l'eau (substances chimiques) pourraient être une source de préoccupation pour la santé humaine (tableau 5.4-1).

Qualité de l'air

Durant la phase d'exploitation, les gens pourraient être exposés aux substances chimiques émises dans l'atmosphère en lien avec les activités de la mine (se référer à la section 3.4 de l'EIE portant sur la qualité de l'air, dans le présent volume).

Qualité du poisson

Certaines des substances chimiques pour lesquelles les concentrations dans les eaux de surface sont prévues augmenter pourraient se bioaccumuler dans les tissus des poissons. Or le poisson constitue une ressource alimentaire importante dans la région. Dans certaines régions (Ampitambe et Sakalava), durant la période comprise entre la mi-avril et la mi-février, il est fréquent que les gens mangent du poisson tous les jours (volume K, annexes sur les aspects sociaux).

Tableau 5.4-1 Paramètres de la qualité de l'eau dont les concentrations aux exutoires des bassins de clarification sont prévues varier durant la phase d'exploitation de la mine

Paramètres	Exutoire sur la rivière Antsahalava	Exutoire sur la rivière Sahaviara	Exutoire sur la rivière Sahamarirana	Exutoire sur la rivière Torotorofotsy	Exutoire sur la rivière Sakalava	Exutoire sur la rivière Ankaja
fluorure	X					
sodium	X	X				
sulfate	X	X	X	X	X	X
arsenic	X	X	X	X	X	X
baryum	X	X	X	X	X	X
chrome	X	X	X	X	X	X
molybdène	X	X	X	X	X	X
sélénium	X	X	X	X	X	X
thallium	X	X	X	X	X	X
zinc	X	X				

Note : Le symbole "X" signifie qu'il est prévu qu'un changement se produise durant la phase d'exploitation, correspondant à une augmentation de plus de 10 % par rapport aux conditions de référence (voir volume I, annexe 9.2 pour plus de détails).

Qualité du sol

Les substances chimiques émises durant la phase d'exploitation de la mine peuvent se déposer sur le sol. Il y a ainsi un risque que les gens les ingèrent accidentellement ou entrent en contact avec le sol si ce dernier est transporté à l'extérieur du site de la mine. Il est aussi possible que des personnes inhalent des particules de poussières générées par des sols potentiellement affectés.

Qualité des produits agricoles

Les moyens de subsistance en milieu rural reposent en majeure partie sur l'agriculture de subsistance, en particulier celle du riz et du manioc (volume K, annexe 3.1, occupation du sol). Les changements potentiels à la qualité des sols attribuables au dépôt de polluants en suspension dans l'air pourraient mener, par assimilation à travers les racines ou le feuillage, à une augmentation des concentrations des substances chimiques dans les légumes.

Propriétés du Cobalt

Durant les consultations, une question a été soulevée en lien avec l'extraction du cobalt, la perception selon laquelle ce minerai posséderait des propriétés radioactives et les risques potentiels sur la santé qui y sont associés (volume A, section 6). Or, la forme principale de cobalt radioactif est un produit de synthèse (c.-à-d. qu'elle n'existe pas à l'état naturel), et celle-ci est produite à des fins commerciales et médicales. Il n'y a donc pas de danger radioactif naturel. Autrement dit, il est rare qu'une personne soit exposée au cobalt radioactif, à

moins de subir une radiothérapie (ATSDR 2004). Il n'existe pas de lien d'impact plausible entre les concentrations de cobalt et la santé humaine car aucun changement sera induit par le projet.

Méthodes d'évaluation

Les évaluations ont été menées en conformité avec les méthodes d'évaluation des risques reconnues par Santé Canada (SC, 2003) et la United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1992). L'approche méthodologique détaillée, ainsi que les caractéristiques des récepteurs et les valeurs de toxicité de référence (i.e. lignes directrices), sont présentées à l'annexe sur la santé humaine et écologique (volume K, annexe 4.2).

Critères de description des impacts

Les critères d'évaluation utilisés pour interpréter les impacts sur la santé humaine sont présentés au tableau 5.4-2.

Tableau 5.4-2 Critères pour l'évaluation des effets sur la santé humaine

Ressource	Orientation ^(a)	Intensité ^(b)	Portée géographique ^(c)	Durée ^(d)	Réversibilité ^(e)	Fréquence ^(f)
santé humaine	positive (caractère bénéfique), négative (caractère néfaste) ou neutre aux points finaux de mesure (récepteurs)	négligeable : $IR \leq 0,2$ et $RAC \leq 1 \times 10^{-5}$ ou aucun changement par rapport aux conditions de référence faible et probablement négligeable : $0,2 > IR \leq 10$ et entre 1×10^{-5} a $RAC \leq 1 \times 10^{-4}$ potentiellement forte : $IR > 10$ et $RAC > 1 \times 10^{-4}$	locale : effet restreint au secteur local d'étude régionale : effet s'étendant au-delà du secteur local d'étude dans le secteur régional d'étude supra-régionale : effet s'étendant au-delà du secteur régional d'étude	court terme : construction moyen terme : exploitation long terme : après la fermeture	réversible ou irréversible	faible : se produit une seule fois moyenne : se produit par intermittence élevée : se produit en continu

^(a) Orientation : positive (bénéfique ou préservant la santé) ou négative (effets néfastes sur la santé).

^(b) Intensité : le degré de changement aux points finaux de mesure (récepteurs) ; risque additionnel de cancer (RAC) potentiel pour les substances chimiques cancérigènes et indice de risque (IR) pour les substances chimiques cancérigènes.

^(c) Portée géographique : secteur touché par l'impact.

^(d) Durée : période de temps au cours de laquelle l'effet environnemental se fait sentir. On a considéré une période de construction de trois ans et une période d'exploitation de 27 ans.

^(e) Réversibilité : l'effet sur la ressource (ou la capacité de la ressource) peut être réversible ou non.

^(f) Fréquence : nombre de fois où l'effet se produit sur l'environnement.

Résultats

Risques associés à l'eau potable

Bien que le cadmium et le nickel aient été considérés comme des substances chimiques potentiellement préoccupantes dans l'eau potable au cours des études de référence (voir la section 5.4.3, Résumé de l'étude de référence), aucun impact additionnel sur la santé humaine n'est attendu de ces métaux durant l'exploitation de la mine. En effet, il est prévu que leurs concentrations dans les eaux de surface seront très semblables à celles qui existent en ce moment.

Les paramètres qui, selon les prévisions, seront présents à des concentrations plus élevées que celles du cas de référence (tableau 5.4-1) ont été comparés aux directives sur l'eau de boisson. En l'absence de normes nationales (Madagascar) pour la qualité de l'eau de boisson, des lignes directrices internationales ont été utilisées (OMS 2004). La concentration maximum recommandée par l'USEPA (2002) pour le thallium (0,002 mg/L) a été utilisée dans le cadre de l'évaluation préliminaire parce que ce paramètre ne figure pas dans le document de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS).

La seule substance retenue aux fins d'évaluation du risque est le thallium, parce que la concentration prévue durant l'exploitation pourrait s'avérer supérieure à la directive pour l'eau de boisson. Cependant, la situation n'est pas claire parce que toutes les concentrations de référence se trouvaient au-dessous de la limite de détection de 0,009 mg/L. De même, toutes les concentrations prévues pour la période d'exploitation seraient aussi inférieures à la limite de détection ; or, la valeur guide de la seule ligne directrice disponible (USEPA 2002) est aussi inférieure à la limite de détection. Par conséquent, les concentrations de référence sont peut-être également supérieures à cette ligne directrice. Cependant, l'exposition à l'eau potable durant l'exploitation a été calculée en se fondant sur les concentrations du pire cas, soit celles des exutoires des bassins où les valeurs étaient > 0,002 mg/L (ligne directrice). La dose quotidienne prévue a ensuite été divisée par une dose de référence [DRf] pour obtenir l'indice de risque (IR) la DRf représente une dose quotidienne acceptable sans effets sur la santé considérant une exposition d'une vie entière).

Des hypothèses et des modèles prudents ont produit les résultats suivants. Il y aurait des risques non cancérogènes allant de faibles à négligeables pour la santé des récepteurs clés, ces risques étant associés à l'exposition au thallium aux concentrations prévues dans l'eau potable de toutes les rivières (volume I, annexe 9.2). Le risque maximum (IR = 3,9) a été calculé à partir des concentrations de thallium à l'exutoire se déversant dans la rivière Antsahalava et il est très proche du résultat obtenu pour les concentrations de référence (IR = 2,5). Les concentrations moyennes prévues plus en aval de l'exutoire sont égales ou

inférieures aux valeurs indiquées à l'exutoire. Par conséquent, les risques potentiels pour la santé associés à l'ingestion de l'eau des six rivières évaluées sont considérés de faibles à négligeables.

Risques associés à l'ingestion de poisson

Les concentrations d'arsenic, de baryum, de chrome, de molybdène, de sélénium, de thallium et de zinc dans les tissus de poisson ont été estimées au moyen des concentrations annuelles mesurées (concentrations de référence) et prévues (en exploitation) dans l'eau et des facteurs de bioconcentration pour le poisson. Les doses reçues par ingestion de poisson ont ensuite été calculées, puis divisées par des doses de référence représentant un risque acceptable (DRf), afin d'estimer l'indice de risque (IR). Le cas de l'arsenic n'a pas été évalué davantage parce que les concentrations dans le poisson satisfaisaient aux lignes directrices pour la consommation du poisson (3,5 mg/kg, Santé Canada, Agence canadienne d'inspection des aliments 2005).

Le fluorure et le sodium n'ont pas été considérés comme substances préoccupantes parce que les poissons en contrôlent leur consommation par les fonctions normales des branchies. Par conséquent, les niveaux de fluorure et de sodium dans les tissus de poisson ne devraient pas augmenter de façon sensible même si les concentrations dans l'eau augmentent.

Le sulfate n'a pas été évalué non plus à l'égard de la qualité et de la consommation de la chair du poisson. Il est en effet peu probable que le sulfate s'accumule dans les tissus à cause des fonctions des branchies et de la transformation rapide du sulfate dans les milieux aquatiques et physiologiques.

Les résultats indiquent la présence de risques non cancérogènes pour la santé des récepteurs critiques, allant de faibles à négligeables. Ces risques seraient associés à l'exposition au baryum, au molybdène, au sélénium et au zinc présents en concentrations accrues dans les tissus de poisson durant l'exploitation de la mine (volume I, annexe 9.2). Les risques estimés pour ces métaux se basent sur les concentrations moyennes prévues dans les six rivières évaluées aux exutoires de la mine. Les concentrations en aval de ces endroits devraient être égales ou inférieures aux concentrations aux exutoires.

L'analyse initiale faite pour le thallium indique que le risque pour la santé des enfants était « potentiellement élevé » par voie de consommation du poisson. Il existe toutefois une incertitude considérable quant au risque potentiellement élevé posé par le thallium dans le poisson. Cette incertitude est causée en partie par la limite de détection élevée utilisée dans les tests de lixiviation accélérée pour prévoir le devenir environnemental du thallium. En réalité, le thallium a obtenu le résultat « non détectable » durant ces tests. En supposant que le thallium était présent à la moitié de la limite de détection (procédure normale

pour les concentrations non détectées) les calculs de risques subséquents ont incorporé un facteur de bioconcentration théorique élevé pour le poisson, suggérant ainsi un risque apparent pour la santé des enfants qui pourraient consommer ce poisson (volume K, annexe 4.2). Ces calculs et leurs résultats sont en réalité semblables aux conditions de référence, qui comportent la même incertitude.

A cause de cette incertitude, d'autres tests de lixiviation accélérée du matériau ferrallitique de la mine ont été effectués avec une détection analytique 50 fois plus basse que celle utilisée auparavant (0,0008 mg/L). Même en améliorant ainsi la limite de détection, le thallium est demeuré non détectable dans les tests de lixiviation accélérée, ce qui indique un niveau très faible de thallium ou son absence. Cette réduction par 50 fois de la limite de détection, combinée à la dynamique de dilution de l'eau de la mine, signifie que les risques estimés ne sont pas en réalité « potentiellement élevés », mais plutôt négligeables (c.-à-d. un $IR < 10$). Cette évaluation révisée est appuyée en outre par les analyses effectuées sur les effluents du parc à résidus où, là encore, le thallium n'a pas été détecté, la limite de détection se situant à 0,0002 mg / L (volume K, annexe 4.2).

Des hypothèses et des modèles d'exposition prudents ont produit les résultats suivants. Il y aurait un risque additionnel pour la santé (en plus du risque existant aux conditions de référence) associé aux changements dans les concentrations de chrome dans les eaux de surface et à une éventuelle bioaccumulation dans les tissus de poisson résultant de ces changements. Les résultats suggèrent donc l'existence de risques potentiellement élevés associés à la consommation de poisson des bassins versants des rivières Sakalava, Ankaja et Torotorofotsy en aval des exutoires.

Risques associés à la qualité de l'air

Les concentrations maximales des substances chimiques dans l'air sur 1 heure, 24 heures et une année, obtenues par modélisation des émissions atmosphériques et de leur dispersion, ont été comparées aux limites d'exposition aiguë et chronique existantes (lignes directrices pour la qualité de l'air sur 1 heure 24 heures et annuelles). Le tableau 5.4-3 présente les plus fortes concentrations atmosphériques attendues dans le secteur d'étude (c.-à-d. dans la communauté de Sakalava). Les concentrations de toutes les substances sont inférieures aux limites d'exposition (c.-à-d. aucun polluant atmosphérique préoccupant). Par conséquent, les émissions à court et à moyen termes du site de la mine ne devraient avoir aucun effet sur la santé des communautés évaluées.

Risques associés à l'ingestion de sol

Les concentrations additionnelles de métaux et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les sols de surface ont été estimées au moyen de taux

de dépôt des substances chimiques atmosphériques qui devraient être émises durant l'exploitation de la mine. Les taux de dépôt estimés pour les secteurs des communautés d'Ambohimanarivo et de Sakalava ont été utilisés dans les calculs parce qu'ils correspondent aux taux les plus élevés des vingt communautés évaluées. La dose totale a été estimée pour chaque substance chimique selon les trois voies d'exposition envisagées : ingestion de sol accidentelle, contact cutané et inhalation de poussière.

Les résultats suggèrent que les risques additionnels pour la santé seraient négligeables (volume I, annexe 9.2). Etant donné que les concentrations dans le sol dans toutes les communautés devraient être égales ou inférieures aux niveaux prévus pour Ambohimanarivo et Sakalava Ambony, le risque additionnel pour toutes les autres communautés a aussi été considéré comme négligeable.

Tableau 5.4-3 Comparaison entre la qualité de l'air prévue durant l'exploitation de la mine et les lignes directrices pour la qualité de l'air

Paramètre	Lignes directrices pour la qualité de l'air [µg/m³]			Valeurs maximales prévues ⁽ⁱ⁾ [µg/m³]		
	Max. 1 h	Max. 24 h	Annuelle	Max. 1 h	Max. 24 h	Annuelle
SO ₂	500 ^(a,b)	125 ^(a)	50 ^(a)	29,2	5,9	2,6
NO ₂	200 ^(a,b)	40 ^(a)	120 ^(a)	110,2	26,5	10,2
PM _{2,5}	-	65 ^(d)	15 ^(d)	non évalué	1,1	0,2
PM ₁₀	-	150 ^(d)	50 ^(d)	non évalué	1,8	0,3
MES	-	120-400 ^(c)	60-70 ^(c)	non évalué	1,8	0,4
aluminium	300 ^(e,h)	120 ^(f,h)	24 ^(g,h)	5,8353	1,0788	0,3570
arsenic	0,75 ^(e)	0,3 ^(f)	0,06 ^(g)	0,0015	0,0001	0,0000
baryum	25 ^(e)	10 ^(f)	2 ^(g)	0,0029	0,0002	0,0001
béryllium	0,025 ^(e)	0,01 ^(f)	0,002 ^(g)	0,0000	0,0000	0,0000
cadmium	5 ^(e)	2 ^(f)	0,4 ^(g)	0,0049	0,0012	0,0004
chrome	3,75 ^(e)	1,5 ^(f)	0,3 ^(g)	0,0020	0,0003	0,0001
cobalt	0,25 ^(e)	0,1 ^(f)	0,02 ^(g)	0,1103	0,0197	0,0064
cuiivre	125 ^(e)	50 ^(f)	10 ^(g)	0,0028	0,0004	0,0001
plomb	1,75 ^(e)	0,7 ^(f,g)	0,14 ^(g)	0,0025	0,0003	0,0001
manganèse	6,25 ^(e)	2,5 ^(f)	0,5 ^(g)	0,6097	0,1124	0,0371
mercure	5 ^(e)	2 ^(f)	0,4 ^(g)	0,0001	0,0000	0,0000
molybdène	300 ^(e)	120 ^(f)	24 ^(g)	0,0009	0,0001	0,0000
nickel	5 ^(e)	2 ^(f)	0,4 ^(g)	1,1642	0,2053	0,0659
sélénium	25 ^(e)	10 ^(f)	2 ^(g)	0,0008	0,0001	0,0000
vanadium	5 ^(e)	2 ^(f)	0,4 ^(g)	0,0364	0,0030	0,0008
zinc	300 ^(e)	120 ^(f)	24 ^(g)	0,0385	0,0041	0,0008

(a) OMS (2000).

(b) Temps de la moyenne : 10 minutes.

(c) Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) (2002).

(d) USEPA (<http://www.epa.gov/air/criteria.html> visité en octobre 2005).

(e) OME (2001). Calculé à partir des lignes directrices de 24 heures utilisant les facteurs de conversion du temps de la moyenne (OME 2004).

(f) OME (2001).

(g) 0,7 - 30 jours +; autrement 2.

(h) Directive pour l'oxyde d'aluminium.

(i) Valeurs prévues pour la communauté d'Ambony Sakalava située à 8,8 km au nord du site de la mine.

MES = matières en suspension.

Risques associés à l'ingestion de produits agricoles

Les concentrations additionnelles de substances chimiques dans les légumes poussant sous la surface du sol (c.-à-d. les légumes-racines tels le manioc) ont été estimés à partir de concentrations dans le sol et des facteurs de bioconcentration dans la racine à partir du sol. Les concentrations de substances chimiques dans les légumes poussant au-dessus du sol (par ex. le riz) ont été calculées au moyen des taux de dépôt des polluants atmosphériques et d'assimilation des substances chimiques du sol par les racines.

La dose totale de chaque substance chimique a ensuite été estimée pour l'ingestion les deux catégories de légumes mentionnées plus haut. Les risques non cancérogènes ont été estimés pour l'enfant et les risques cancérogènes pour le récepteur composite. Les résultats sont présentés au volume K, annexe 4.2, section 1.4. Le risque additionnel attribuable à l'ingestion de produits agricoles a été considéré négligeable pour les deux récepteurs.

5.4.4.3 Question clé SH-2: Quel effet les émissions de substances chimiques de la mine auront-elles sur les ressources de subsistance ?

L'évaluation de la question clé SH-2 est axée sur les effets sur les pêcheries ainsi que sur la production agricole et la santé des zébus. D'après l'évaluation socioéconomique de référence (volume K, section 1.1), l'économie rurale dans le secteur de la mine repose largement sur la culture du riz et du manioc. L'élevage du bétail et des animaux, la récolte des produits forestiers et de cueillette ne représentent que 4 % et 1 % respectivement du revenu des ménages de la région. Dans le secteur de la mine, les troupeaux de zébus sont principalement utilisés pour le travail dans les rizières et pour le transport plutôt que comme de viande de consommation. Il a une valeur symbolique et une grande importance culturelle.

Qualité de l'eau

Certains paramètres sur la qualité de l'eau devraient selon les prévision changer de plus de 10 % dans les eaux de surface affectées par l'exploitation de la mine (tableau 5.4-1). Les changements à la qualité de l'eau pourraient donc affecter les ressources de subsistance.

Méthodes d'évaluation

Produits agricoles et bétail

Les concentrations annuelles de référence et celles prévues pour le fluorure de calcium, le sodium, le sulfate, l'arsenic, le chrome, le molybdène, le sélénium et

le zinc ont été comparées aux lignes directrices sud-africaines concernant la qualité de l'eau d'irrigation et d'abreuvement du bétail (DWAF, 1996a et 1996b). Aucune ligne directrice n'existe pour le thallium et le baryum. Les paramètres dont les concentrations excèdent les lignes directrices ont été considérés potentiellement préoccupants pour l'utilisation agricole.

Poisson

Les impacts potentiels sur les pêcheries sont liés aux effets directs sur la santé des poissons et aux effets indirects tels la diminution des aliments pour les poissons (par ex. les algues et les invertébrés). Les impacts potentiels sont évalués sous la question clé SE-1 (voir section 5.4.4.4).

Critères de description des impacts

Les critères utilisés pour l'évaluation des effets potentiels sur les ressources de subsistance sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.4-4 Critères pour l'évaluation des effets sur les ressources de subsistance

Ressource	Orientation ^(a)	Intensité ^(b)	Portée géographique ^(c)	Durée ^(d)	Réversibilité ^(e)	Fréquence ^(f)
ressources de subsistance	positive (caractère bénéfique), négative (caractère néfaste) ou neutre aux points finaux de mesure (récepteurs)	négligeable : inférieur aux lignes directrices applicables ou aucun changement par rapport aux conditions de référence faible et probablement négligeable : supérieur de 10 à 100 % aux lignes directrices potentiellement forte 100% supérieur aux lignes directrices	locale : effet restreint au secteur local d'étude régionale : effet s'étendant au-delà du secteur local d'étude dans le secteur régional d'étude supra-régionale : effet s'étendant au-delà du secteur régional d'étude	court terme : construction moyen terme : exploitation long terme : après la fermeture	réversible ou irréversible	faible : se produit une seule fois moyenne : se produit par intermittence élevée : se produit en continu

^(a) Orientation : positive (bénéfique ou préservant la santé) ou négative (effets néfastes sur la santé).

^(b) Intensité : le degré de changement aux points finaux de mesure (récepteurs).

^(c) Portée géographique : secteur touché par l'impact.

^(d) Durée : période de temps au cours de laquelle l'effet environnemental se fait sentir. On a considéré une période de construction de trois ans et une période d'exploitation de 27 ans.

^(e) Réversibilité : l'effet sur la ressource (ou la capacité de la ressource) peut être réversible ou non.

^(f) Fréquence : nombre de fois où l'effet se produit sur l'environnement.

Résultats

Produits agricoles et bétail

Tous les paramètres satisfont aux exigences concernant l'eau d'irrigation et l'eau d'abreuvement du bétail (ceux pour lesquels des lignes directrices existent) aux exutoires se déversant dans toutes les rivières évaluées (tableau 5.4-5). Par conséquent, l'exploitation des installations de la mine ne devrait pas, par voie de l'irrigation et de l'abreuvement du bétail, poser de risques additionnels pour les ressources de subsistance des communautés.

Tableau 5.4-5 Concentrations de référence, concentration annuelles prévues (phase d'exploitation) et lignes directrices pour la qualité de l'eau à usage agricole – eaux de surface du secteur de la mine

Bassin	Unités	Lignes directrices sud-africaines pour l'abreuvement du bétail ^(a)	Lignes directrices sud-africaines pour l'irrigation ^(a)	Concentration moyenne annuelle (mg/L) - Exutoire				
				Conditions de référence	Année 4	Année 10	Année 15	Année 20
Rivière Antsalalava								
fluorure (F)	mg/L	0-2	-	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06
sodium (Na)	mg/L	0-2000	0-70	2,3	2,6	2,8	2,6	2,7
sulfate (SO ₄)	mg/L	0-1000	-	1,4	2,4	2,6	2,4	2,5
arsenic (As)	mg/L	0-1	0-0,1	0,0019	0,0026	0,0029	0,0026	0,0027
baryum (Ba)	mg/L	-	-	0,017	0,078	0,106	0,081	0,090
chrome (Cr)	mg/L	0-1 (Cr IV)	0-0,10 (Cr IV)	0,007	0,023	0,024	0,023	0,023
molybdène (Mo)	mg/L	0-0,01	0-0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
sélénium (Se)	mg/L	0-50	0-2,0	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
thallium (Tl)	mg/L	-	-	< 0,006	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
zinc (Zn)	mg/L	0-20	0-1,0	0,006	0,007	0,008	0,008	0,008
Rivière Sahaviara								
sodium (Na)	mg/L	0-2000	0-70	2,3	2,2	2,2	2,7	2,4
sulfate (SO ₄)	mg/L	0-1000	-	1,4	2,0	2,0	2,5	2,2
arsenic (As)	mg/L	0-1	0-0,1	0,0019	0,0023	0,0023	0,0028	0,0025
baryum (Ba)	mg/L	-	-	0,017	0,071	0,071	0,120	0,093
chrome (Cr)	mg/L	0-1 (Cr IV)	0-0,10 (Cr IV)	0,007	0,018	0,018	0,020	0,019
molybdène (Mo)	mg/L	0-0,01	0-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
sélénium (Se)	mg/L	0-50	0-2,0	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002
thallium (Tl)	mg/L	-	-	< 0,006	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
zinc (Zn)	mg/L	0-20	0-1,0	0,006	0,007	0,007	0,008	0,007
Rivière Sahamarirana								
sulfate (SO ₄)	mg/L	0-1000	-	1,4	2,2	2,2	1,6	1,5
arsenic (As)	mg/L	0-1	0-0,1	0,0019	0,0022	0,0022	0,0019	0,0019
baryum (Ba)	mg/L	-	-	0,017	0,062	0,064	0,036	0,039
chrome (Cr)	mg/L	0-1 (Cr IV)	0-0,10 (Cr IV)	0,007	0,025	0,025	0,013	0,010
molybdène (Mo)	mg/L	0-0,01	0-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau 5.4-5 Concentrations de référence, concentration annuelles prévues (phase d'exploitation) et lignes directrices pour la qualité de l'eau à usage agricole – eaux de surface du secteur de la mine (suite)

Bassin	Unités	Lignes directrices sud-africaines pour l'abreuvement du bétail ^(a)	Lignes directrices sud-africaines pour l'irrigation ^(a)	Concentration moyenne annuelle (mg/L) - Exutoire				
				Conditions de référence	Année 4	Année 10	Année 15	Année 20
sélénium (Se)	mg/L	0-50	0-2,0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
thallium (Tl)	mg/L	-	-	< 0,006	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007
Rivière Torotorofotsy								
sulfate (SO ₄)	mg/L	0-1000	-	1,4	1,4	1,7	1,4	1,9
arsenic (As)	mg/L	0-1	0-0,1	0,0019	0,0019	0,0023	0,0020	0,0022
baryum (Ba)	mg/L	-	-	0,017	0,017	0,039	0,023	0,033
chrome (Cr)	mg/L	0-1 (Cr IV)	0-0,10 (Cr IV)	0,007	0,007	0,048	0,019	0,044
molybdène (Mo)	mg/L	0-0,01	0-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sélénium (Se)	mg/L	0-50	0-2,0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
thallium (Tl)	mg/L	-	-	< 0,006	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007
Rivière Sakalava								
sulfate (SO ₄)	mg/L	0-1000	-	1,4	1,4	1,5	1,9	1,4
arsenic (As)	mg/L	0-1	0-0,1	0,0019	0,0019	0,0019	0,0022	0,0019
baryum (Ba)	mg/L	-	-	0,017	0,017	0,020	0,035	0,019
chrome (Cr)	mg/L	0-1 (Cr IV)	0-0,10 (Cr IV)	0,007	0,007	0,015	0,048	0,012
molybdène (Mo)	mg/L	0-0,01	0-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sélénium (Se)	mg/L	0-50	0-2,0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
thallium (Tl)	mg/L	-	-	<0,006	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Rivière Ankaja								
sulfate (SO ₄)	mg/L	0-1000	-	1,4	1,7	1,5	1,4	1,8
arsenic (As)	mg/L	0-1	0-0,1	0,0019	0,0021	0,0021	0,0018	0,0021
baryum (Ba)	mg/L	-	-	0,017	0,035	0,034	0,020	0,033
chrome (Cr)	mg/L	0-1 (Cr IV)	0-0,10 (Cr IV)	0,007	0,048	0,041	0,018	0,047
molybdène (Mo)	mg/L	0-0,01	0-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sélénium (Se)	mg/L	0-50	0-2,0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
thallium (Tl)	mg/L	-	-	<0,006	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007

Notes :

Toutes les valeurs prévues satisfont aux lignes directrices sud-africaines concernant l'abreuvement du bétail et l'irrigation.

Les paramètres dont les concentrations prévues ne sont pas de 10 % supérieures aux conditions de référence (pour toutes les années d'exploitation et de post-fermeture) ne figurent pas dans le tableau (toutes les valeurs prévues sont présentées dans l'évaluation de la qualité de l'eau, volume B, section 3.9).

- = pas de ligne directrice.

^(a) plage cible des valeurs guides de qualité de l'eau (Department of Water Affairs and Forestry, 1996a et 1996b).

Poisson

Les effets sur les poissons et la nourriture des poissons (algues et invertébrés) attribuables aux émissions de substances chimiques du site de la mine ont été

considérés négligeables (voir l'évaluation du risque sur la vie aquatique dans les sections suivantes). Les risques potentiels liés aux changements physiques, par exemple la sédimentation dans les rivières, sont exposés en détail dans la section de l'EIE sur les poissons et les ressources aquatiques du présent volume (section 4.3).

5.4.4.4 Question clé SE-1: Quel effet les émissions de substances chimiques de la mine auront-elles sur la qualité du milieu aquatique ?

La qualité de l'eau et la qualité des sédiments sont considérées comme des liens d'impact potentiels.

Qualité de l'eau

La qualité du milieu aquatique peut être touchée directement par les changements des caractéristiques physiques ou chimiques de l'eau. Selon des estimés prudents, les concentrations de certaines substances chimiques devraient augmenter de plus de 10 % durant l'exploitation de la mine par rapport aux conditions de référence. La qualité du milieu aquatique pourrait être affectée par ces changements dans la qualité de l'eau.

Qualité des sédiments

Les invertébrés qui vivent dans les sédiments et constituent collectivement la communauté benthique pourraient être affectés par les changements dans les caractéristiques des sédiments. Les organismes aquatiques non benthiques peuvent aussi en subir les effets indirectement (par la baisse des ressources alimentaires, par exemple).

Méthodes d'évaluation

Qualité de l'eau et des sédiments

Les évaluations ont été effectuées en conformité avec des méthodes d'évaluation des risques reconnues de l'USEPA (1998). Se reporter à l'annexe sur la santé humaine et écologique (volume K, section 4.2) pour une description détaillée de l'approche méthodologique. Les concentrations prévues dans l'environnement pour les substances chimiques préoccupantes ont été divisées par les valeurs de toxicité de référence pour les algues, les invertébrés et les poissons (Suter, 1996) afin de calculer les indices de risque (IR).

Critères de description des impacts

Les critères d'évaluation utilisés en matière de santé écologique sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 5.4-6 Critères pour l'évaluation des effets sur la vie aquatique

Ressource	Orientation ^(a)	Intensité ^(b)	Portée géographique ^(c)	Durée ^(d)	Réversibilité ^(e)	Fréquence ^(f)
qualité du milieu aquatique	positive (caractère bénéfique), négative (caractère néfaste) ou neutre aux points finaux de mesure (récepteurs)	négligeable $IR \leq 1$ ou aucun changement au cas de référence faible et probablement négligeable : $IR > 1$ et ≤ 10 potentiellement forte : $IR > 10$	locale : effet restreint au secteur local d'étude régionale : effet s'étendant au-delà du secteur local d'étude dans le secteur régional d'étude supra-régionale : effet s'étendant au-delà du secteur régional d'étude	court terme : construction moyen terme : exploitation long terme : après la fermeture	réversible ou irréversible	faible : se produit une seule fois moyenne : se produit par intermittence élevée : se produit en continu

- (a) Orientation : positive (bénéfique ou préservant la santé) ou négative (effets néfastes sur la santé).
 (b) Intensité : le degré de changement aux points finaux de mesure (récepteurs); indice de risque (IR) additionnel potentiel.
 (c) Portée géographique : secteur touché par l'impact.
 (d) Durée : période de temps au cours de laquelle l'effet environnemental se fait sentir. On a considéré une période de construction de trois ans et une période d'exploitation de 27 ans.
 (e) Réversibilité : l'effet sur la ressource (ou la capacité de la ressource) peut être réversible ou non.
 (f) Fréquence : nombre de fois où l'effet se produit sur l'environnement.

Résultats

Qualité de l'eau

L'aluminium, le fer, le cuivre, le plomb et le manganèse ont été considérés des substances chimiques potentiellement préoccupantes dans l'évaluation des risques de référence (section 5.4.3, Résumé de l'étude de référence). Ces substances n'ont cependant pas fait l'objet d'étude plus poussée parce que les concentrations prévues sont semblables à celles des conditions de référence et, par conséquent, aucun risque additionnel n'est prévu pour la vie aquatique.

Les paramètres de qualité de l'eau qui, selon des prévisions prudentes, devraient changer à cause de l'exploitation de la mine (tableau 5.4-1) ont été évalués de façon préliminaire en fonction des lignes directrices sud-africaines concernant la qualité de l'eau des écosystèmes aquatiques (DWAF, 1996). D'autres concentrations de référence ont été utilisées pour le sulfate (100 mg/L) et le baryum (1 mg/L), qui ne figurent pas dans le document sud-africain (*Recommended Guideline for Freshwater Aquatic Life*, province de Colombie-Britannique, Minister of Environment of the Government of British Columbia, 2001). Ces critères d'évaluation préliminaire laissent entendre que le fluorure, le

sulfate, l'arsenic, le baryum et le zinc ne sont pas des substances chimiques préoccupantes et qu'il n'est pas nécessaire de les étudier davantage.

Par contre, le sodium, le chrome, le molybdène, le thallium et le sélénium ont été retenus pour une analyse plus poussée à cause de l'absence de valeurs guides pour l'évaluation préliminaire (pour le sodium, le molybdène et le thallium) et à cause de concentrations de sélénium dépassant les lignes directrices. Les indices de risque (IR) calculés pour chaque type d'organisme sont présentés au tableau 5.4-7. Les IR sont considérés négligeables pour toutes les substances chimiques. Par conséquent, il est considéré improbable qu'un risque additionnel pour la vie aquatique soit attribuable à l'exploitation de la mine.

Tableau 5.4-7 Indices de risque (IR) pour la faune aquatique dans le secteur de la mine - Exutoires

	Moyenne annuelle		IR plantes aquatiques		IR invertébrés		IR poissons		Intensité du risque
	Concentrations de référence mesurées ^(a) (mg/L)	Valeurs moyennes prévues en phase d'exploitation ^(b) (mg/L)	Conditions de référence	Moyenne en exploitation	Conditions de référence	Moyenne en exploitation	Conditions de référence	Moyenne en exploitation	Moyenne en exploitation
exutoires sur la rivière Antsahalava									
sodium (Na)	2,3	2,7	nd	nd	0,00	0,00	nd	nd	négligeable
chrome (Cr)	0,007	0,023	0,02	0,06	0,17	0,53	0,01	0,03	
molybdène (Mo)	0,00	0,01	nd	nd	0,00	0,01	nd	nd	
sélénium (Se)	0,002	0,003	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	
thallium (Tl)	0,0045 ^(d)	0,01	0,05	0,07	0,03	0,05	0,08	0,12	
zinc (Zn)	0,006	0,008	0,21	0,26	0,13	0,17	0,17	0,21	
exutoires sur la rivière Sahaviara									
sodium (Na)	2,3	2,4	nd	nd	0,00	0,00	nd	nd	négligeable
chrome (Cr)	0,007	0,019	0,02	0,05	0,17	0,42	0,01	0,02	
molybdène (Mo)	0,00	0,01	nd	nd	0,00	0,01	nd	nd	
sélénium (Se)	0,002	0,002	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	
thallium (Tl)	0,0045 ^(d)	0,01	0,05	0,06	0,35	0,47	0,08	0,11	
zinc (Zn)	0,006	0,007	0,21	0,23	0,13	0,15	0,17	0,19	
exutoires sur la rivière Sahamarirana									
chrome (Cr)	0,007	0,018	0,02	0,05	0,17	0,41	0,01	0,02	négligeable
molybdène (Mo)	0,00	0,00	nd	nd	0,00	0,00	nd	nd	
sélénium (Se)	0,002	0,002	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
thallium (Tl)	0,0045 ^(d)	0,01	0,05	0,06	0,03	0,04	0,08	0,10	
exutoires sur la rivière Torotorofotsy									
chrome (Cr)	0,007	0,030	0,02	0,07	0,17	0,68	0,01	0,03	négligeable
molybdène (Mo)	0,00	0,00	nd	nd	0,00	0,00	nd	nd	
thallium (Tl)	0,0045 ^(d)	0,01	0,05	0,06	0,03	0,04	0,08	0,10	
exutoires sur la rivière Sakalava									
chrome (Cr)	0,007	0,021	0,02	0,05	0,17	0,47	0,01	0,02	négligeable
molybdène (Mo)	0,00	0,00	nd	nd	0,00	0,00	nd	nd	
thallium (Tl)	0,0045 ^(d)	0,01	0,05	0,05	0,03	0,04	0,08	0,09	
Exutoire sur la rivière Ankaja									
chrome (Cr)	0,007	0,038	0,02	0,10	0,17	0,87	0,01	0,04	négligeable
molybdène (Mo)	0,00	0,002	nd	nd	0,00	0,00	nd	nd	
thallium (Tl)	0,0045 ^(d)	0,006	0,05	0,06	0,03	0,05	0,08	0,10	

^(a) Concentration moyenne mesurée (saison sèche et saison des pluies) (voir section sur la qualité de l'eau dans le présent volume).
^(b) Concentration moyenne annuelle prévue (moyenne des années d'exploitation 4, 10, 15 et 20 en saison sèche et en saison des pluies).
^(c) Seules les substances chimiques potentiellement préoccupantes pour la vie aquatique sont sur la liste (pour plus de détails, se reporter à l'évaluation de la qualité de l'eau dans le présent volume).
^(d) Pour les concentrations de référence < 0,009 mg/L (limite de détection) ; dans ce cas, , il a été considéré dans les calculs que les concentrations étaient égales à 0,5 fois la limite de détection.
Données de référence sur la toxicité basées sur le critère d'exposition chronique le plus bas (Suter, 1996) (mg/L) (voir méthodologie d'évaluation des risques à la santé humaine et écologique, au volume K, annexe 4.2).
nd = non déterminé
IR > 10 en caractères gras

Qualité des sédiments

Au moment de l'évaluation de risque de référence en matière de santé (section 5.4.3), le cuivre et le nickel ont été considérés comme des substances chimiques potentiellement préoccupantes. Ces substances n'ont toutefois pas fait l'objet d'une analyse plus poussée parce que les concentrations durant l'exploitation de la mine et après la fermeture devraient être semblables aux conditions de référence, selon les prévisions (c.-à-d. pas d'effet additionnel résultant de l'exploitation de la mine).

Les concentrations d'arsenic, de sélénium et de thallium dans les sédiments devraient selon les prévisions changer de plus de 10 % durant l'exploitation de la mine (évaluation de qualité de l'eau, dans le présent volume). Toutefois, étant donné que les concentrations prévues d'arsenic et de sélénium respectent les lignes directrices (respectivement les Recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments, 2002, et les lignes directrices de la province de Colombie-Britannique, Minister of Environment of the Government of British Columbia, 2001), aucune évaluation plus poussée n'est justifiée pour ces deux substances chimiques. Dans le cas du thallium, aucune ligne directrice sur la qualité des sédiments n'a été identifiée, ni aucune valeur de toxicité de référence.

5.4.4.5 Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation applicables aux risques pour la santé humaine et la qualité du milieu aquatique ont été abordées au cours de l'évaluation de la qualité de l'eau et de l'air (présent volume).

5.4.4.6 Impacts résiduels

La classification des impacts résiduels est fournie au tableau 5.4-8. Selon l'évaluation, les impacts seront locaux (se limitant aux bassins versants directement affectés par le site de la mine dans le secteur local d'étude), de longue durée (jusque après la fermeture du site), réversibles et de fréquence élevée (se produisant en continu).

L'intensité de l'impact est considérée négligeable sur les ressources de subsistance, de faible à négligeable sur la vie aquatique et est de faible à négligeable sur la santé humaine en général, à l'exception d'une intensité d'impact potentiellement forte en raison de la présence de chrome. La situation actuelle concernant le chrome doit faire l'objet d'un suivi. Selon les nombreuses hypothèses prudentes utilisées dans les modèles, les concentrations de chromium pourraient être plus basses que prévues.

Tableau 5.4-8 Classification des impacts résiduels sur la santé humaine et la qualité du milieu aquatique – site de la mine

Orientation	Intensité	Portée géographique	Durée	Réversibilité	Fréquence	Conséquence sur l'environnement
Question clé SH-1 Quel effet les émissions de substances chimiques de la mine auront-elles sur la santé humaine?						
négative	faible à négligeable pour tous les paramètres sauf le chrome ; potentiellement forte pour le chrome	locale	long terme (exploitation et après la fermeture)	réversible	élevée	faible à négligeable pour tous les paramètres sauf le chrome ; potentiellement élevée pour le chrome
Question clé SH-2 Quel effet les émissions de substances chimiques de la mine auront-elles sur les ressources de subsistance?						
neutre	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Question clé SE-1 Quel effet les émissions de substances chimiques de la mine auront-elles sur la qualité du milieu aquatique ?						
potentiellement négative	faible à négligeable	locale	long terme (exploitation et après la fermeture)	réversible	élevée	faible à négligeable

Note : S.O. : sans objet (impacts neutres non quantifiés).

5.4.4.7 Surveillance

Outre la surveillance décrite dans les sections sur la qualité de l'eau et de l'air, il est aussi recommandé de procéder à l'échantillonnage des tissus de poisson, surtout à l'égard du chrome (pour de plus amples détails, se reporter aux Plans de gestion environnementale, volume B, section 7).

5.4.5 Conclusions

La présente évaluation a étudié les effets néfastes potentiels pour la santé à la suite d'émissions atmosphériques provenant du site de la mine et cela en combinaison avec les conditions de référence.

Les impacts potentiels sur la santé humaine des changements possibles dans la qualité de l'eau, du sol, de l'air et des produits agricoles ont été considérés négligeables. Les concentrations de chrome dans les tissus de poisson pourraient atteindre des valeurs préoccupantes pour la consommation humaine. Cependant, ces prévisions se basent sur une modélisation prudente à l'égard du rejet de chrome dans les eaux de surface. De plus, les facteurs de bioconcentration spécifiques au site, c.-à-d. les facteurs qui sont fonction des espèces de poisson vivant dans le secteur d'étude de la mine, peuvent différer de ceux trouvés dans

la littérature. Ce risque apparent pour la santé pourrait s'avérer négligeable. Une surveillance de l'eau et des tissus de poisson est donc proposée afin de confirmer l'exposition et de permettre une nouvelle estimation des analyses de risque présentées ici.

Les impacts sur les ressources de subsistance, dont l'agriculture, l'élevage et la pêche, qui seraient causés par des changements à la qualité de l'eau durant l'exploitation de la mine, sont considérés négligeables. Pour la pêche, cette conclusion découle de l'effet de dilution en aval de la mine et du fait que la plupart des paramètres représentent un risque de faible à négligeable, même aux exutoires des bassins. Cependant, tel que mentionné plus haut, il est prévu de procéder à un suivi particulier du chrome dans les tissus de poisson, et ce autant avant la construction et l'exploitation que durant celles-ci. La santé et la survie des poissons et des autres ressources aquatiques, y compris des organismes vivant dans le marais de Torotorofotsy, ne seront probablement pas affectées par la mine (consulter la section 4, portant sur les aspects biologiques, pour un exposé des impacts de la qualité de l'eau sur la santé de la faune ainsi que des effets possibles de changements physiques, tels la sédimentation et la diminution de la quantité d'eau, sur les poissons et les ressources aquatiques).

L'évaluation reposait sur plusieurs hypothèses prudentes (pour des explications à ce sujet, se reporter au concept de « niveaux de sécurité » dans la méthodologie de l'évaluation des risques à la santé humaine et écologique au volume K, annexe 4.2). Le niveau de confiance des prévisions, quant au fait que le risque n'a pas été sous-estimé, peut être considéré comme moyen à élevé.

5.5 TRAFIC

5.5.1 Introduction

Cette section présente l'évaluation des impacts environnementaux de la mine sur le trafic. Conformément aux termes de référence du Projet Ambatovy (le projet), les changements des niveaux de trafic sont prévus et comparés aux niveaux de référence du trafic. Les effets d'un accroissement du trafic sont évalués de façon qualitative relativement aux impacts potentiels sur les résidences, le bétail et la sécurité humaine à proximité des routes.

5.5.2 Secteur d'étude

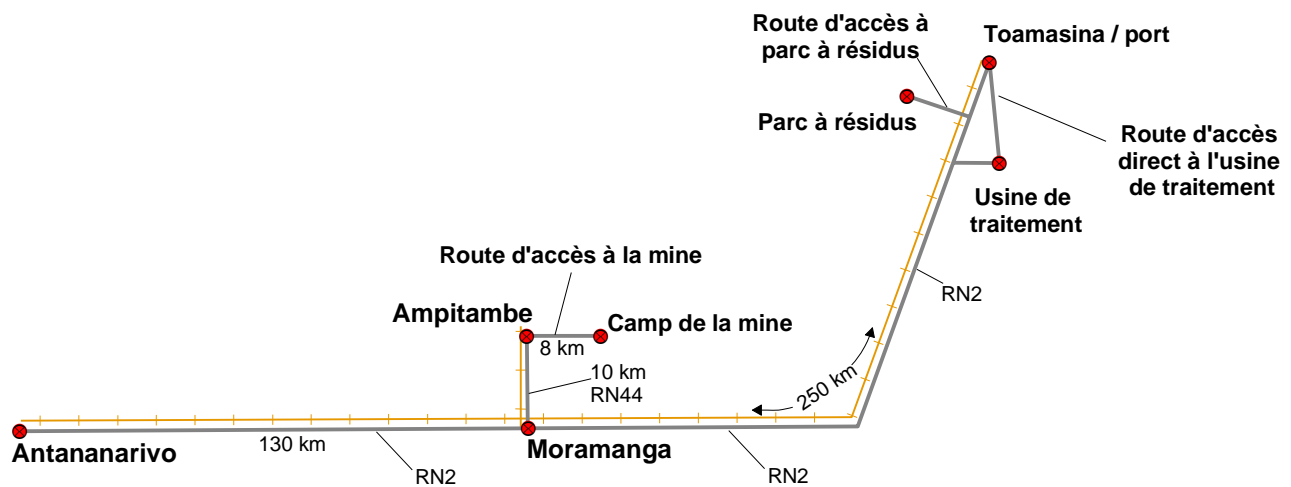
Les voies publiques d'accès qui seront principalement utilisées pour accéder à la mine sont la route nationale (RN) 2, la RN44 et la ligne de chemin de fer entre Toamasina et Moramanga. Les effets du trafic sur ces routes font l'objet d'une évaluation. La possibilité que la route d'accès à la mine qui relie Ampitambe à la base vie de la mine soit partiellement ouverte au public a également été évaluée.

5.5.3 Résumé de l'étude de référence

Les principales voies publiques d'accès à la mine sont la RN2, à partir de Toamasina, la RN2, entre Antananarivo et Moramanga, et la RN44 de Moramanga jusqu'à la route d'accès à la mine. La RN2 et la RN44 sont toutes deux des routes goudronnées à deux voies et en bon état. La route d'accès qui relie Ampitambe à la mine est un chemin de terre dont l'état est moyen, mais qui sera élargi et recouvert de gravier aux fins du projet.

Les marchandises qui entrent ou sortent de Madagascar sont transportées en grande partie entre Antananarivo et Toamasina sur la principale route du pays, soit la RN2. La RN44 rencontre la RN2 à Moramanga et est fortement utilisée pour le camionnage agricole étant donné qu'elle dessert l'une des principales régions rizicoles du pays. Moramanga est située à environ trois heures de route d'Antananarivo (130 km sur la RN2) et cinq heures de Toamasina (250 km sur la RN2). La route d'accès à la mine se trouve à dix minutes (10 km) de Moramanga sur la RN44 (Figure 5.5-1).

Les volumes du trafic de référence sur les principales voies publiques d'accès à être utilisées par le trafic de la mine pendant une période de 24 heures sont décrits au tableau 5.5-1.



LÉGENDE

- ROUTE
- CHEMIN DE FER

RÉFÉRENCE

Aucune échelle. Les distances sont approximatives.

PROJET

PROJET AMBATOVY

TITRE

**DIAGRAMME DES PRINCIPALES
ROUTES D'ACCÈS**



PROJET	No 03-1322-172.8400
DESSINÉ	GJ 25 mai 2005
SIG	LL 25 mai 2005
VERIF.	GJ 21 fév. 2006
REV.	DM 21 fév. 2006

AUCUNE ÉCHELLE REV. 0

FIGURE: 5.5-1

Tableau 5.5-1 Etude sur les niveaux de trafic de référence

Type de véhicule	Volume de trafic sur 24 heures entre Moramanga et Antananarivo (à la limite de Moramanga)		Volume de trafic sur 24 heures entre Moramanga et Toamasina (à la limite de Moramanga)		Volume de trafic 24 heures entre Moramanga et Ampitambe / route d'accès à la mine	
	En semaine	Week-end	En semaine	Week-end	En semaine	Week-end
voitures particulières	504	609	243	311	326	351
transport de personnes	449	354	212	253	204	212
transport de marchandises	555	647	346	447	319	243
véhicules motorisés à deux roues	1408	1436	353	493	3574	3628
véhicules non motorisés	60	36	58	50	616	694
total	2976	3082	1212	1554	5039	5128

Le taux d'accidents prévu selon les conditions de références est de 3,12 accidents par million de kilomètres-véhicule parcourus sur la RN2 et la RN44 (annexe 5.1, volume K).

5.5.4 Portée des enjeux

Les enjeux clés ayant trait au trafic et qui ont été soulevés dans le cadre des consultations publiques (section 6, volume A) sont les suivants:

- la sécurité: le trafic sur la RN 2 n'est pas sécuritaire, même pour les conditions de référence, à cause de la vitesse rapide des véhicules (commentaire de Moramanga)
- le bruit et les vibrations: le trafic actuel émet du bruit et des vibrations qui portent atteinte aux résidences situées en bordure de la route (commentaire de Moramanga)
- la congestion dans les villes: les gros véhicules devraient contourner la ville de Moramanga (commentaire de Moramanga)
- les accidents: avec un accroissement du trafic au cours du projet, de quelle façon pourrait-on empêcher une augmentation du taux d'accidents (selon le Comité technique d'évaluation - CTE)

Il est généralement admis que le projet peut engendrer plusieurs impacts en ce qui concerne le trafic, notamment:

- Une augmentation des perturbations causées par la poussière, le bruit, les vibrations et les émissions des véhicules pour les populations situées le long des routes et un impact plus sévère le long des routes non goudronnées.
- L'accroissement du volume du trafic et toute augmentation de la vitesse associée aux améliorations de la route dans le cadre du projet exposent davantage les humains et leurs animaux à des accidents.
- Les accidents de la route qui impliquent des transporteurs de produits industriels risquent de contaminer le sol et l'eau par les déversements.
- Toute construction ou amélioration de la route causera des retards temporaires au trafic non lié au projet.
- Une augmentation du volume de trafic pourrait augmenter le niveau de congestion, plus précisément dans la ville de Moramanga, laquelle constate déjà une hausse considérable des congestions à la suite de la combinaison sur les voies urbaines du trafic de transport et de nombreux piétons, cyclistes, pousse-pousse et animaux qui y circulent également.
- Bien que ce soit peu probable sur la RN2, un accroissement important du trafic sur la RN44 pourrait contribuer à une migration de la population vers la région de Moramanga, particulièrement aux abords de la route.

Aucune question clé n'est traitée dans cette section. Bien que les changements du trafic y soient décrits, les répercussions et impacts qu'entraînent ces changements sont évalués dans la section socio-économique (section 5.1, volume B).

5.5.5 Changements du trafic

5.5.5.1 Méthodes d'évaluation

Les effets du trafic sont évalués de façon quantitative relativement au volume du trafic et aux taux d'accidents de la route, en fonction de l'extrapolation des données de référence existantes. Le nombre approximatif de véhicules nécessaires à l'exploitation du projet est connu et a été utilisé pour calculer les effets proportionnels par rapport aux conditions de référence.

Les effets du trafic sur la santé, la sécurité, les vibrations, le bruit et la congestion dans les villes sont évalués qualitativement.

5.5.5.2 Résultats

Les impacts du trafic se feront sentir pendant les phases de construction et d'exploitation du projet. Les effets de la phase de construction sont souvent plus intenses étant donné que l'équipement et les matériaux de construction sont déplacés jusqu'au site, que la main d'œuvre lors de la construction est généralement plus nombreuse que pour l'exploitation, et que la construction en elle-même, que ce soit pour améliorer l'état des routes ou les installations connexes en bordure des routes, peut nuire au débit de la circulation.

Volumes du trafic

Les changements dans les volumes de trafic attribuables au projet reposent sur une estimation du nombre de véhicules particuliers, de camions de ravitaillement et d'autobus (transport des travailleurs) qui seront nécessaires quotidiennement aux opérations. Le nombre de véhicules requis au cours des phases de construction et d'exploitation du projet et pour chacun des principaux segments de route est résumé dans le tableau 5.5-2. Ces nombres représentent une petite fraction du trafic de référence actuel inscrit dans le tableau 5.5-1.

Tableau 5.5-2 Nombre de véhicules par jour ^(a)

Phase du projet	Types de véhicule	RN 2, Moramanga-Toamasina	RN 2, Moramanga-Antananarivo	RN 44, Ampitambe-Moramanga
construction (3 ans) (nombre d'allers-retours par jour)	automobiles	0	0	10
	camions	16	2	18
	autobus	0	0	7
	total	16	2	35
exploitation (27 ans) (nombre d'allers-retours par jour)	automobiles	0	0	10
	camions	4	1	5
	autobus	0	0	8 / 4
	total	4	1	23 / 19

^(a) Les nombres de véhicules sont estimés à partir de la description du projet fourni à partir de Mai 2005.

Les principaux impacts du projet en ce qui a trait aux volumes du trafic se feront sentir au cours de la phase de construction, plus précisément sur la RN44 entre Ampitambe et Moramanga. Le nombre de camions sur la route augmentera de 6 % pendant la phase de construction et de 2 % pendant la phase d'exploitation. Le nombre de véhicules de particuliers connaîtra une hausse de 3 % au cours des deux phases (construction et exploitation). Une augmentation de 4 % du nombre d'autobus est prévue durant les phases de construction et d'exploitation, même si les autobus utilisés seront de plus grande dimension que ceux que l'on trouve

habituellement à Moramanga dans les conditions de référence. Compte tenu de l'incidence économique du projet, la création d'autres entreprises et le travail des entrepreneurs pourraient être à l'origine d'un volume de trafic supplémentaire, lequel est difficile à prévoir quantitativement et ne figure pas dans le tableau 5.5-2.

En fonction du nombre de véhicules estimés dans le tableau 5.5-2, les distances totales qui seront parcourues chaque année par les véhicules du projet sur les principales routes d'accès sont résumées au tableau 5.5-3.

Tableau 5.5-3 Kilomètres-véhicule par année

Phase du projet	Types de véhicule	RN 2, Moramanga-Toamasina	RN 2, Moramanga-Antananarivo	RN 44, Ampitambe-Moramanga
construction (3 ans) (km par année)	automobiles	0	0	0,07 million
	camions	2,92 millions	0,19 million	0,13 million
	autobus	0	0	0,07 million
	total	2,92 millions	0,19 million	0,27 million
exploitation (27 ans) (km par année)	automobiles	0	0	0,07 million
	camions	0,73 million	0,09 million	0,04 million
	autobus	0	0	0,05 million
	total	0,73 million	0,09 million	0,16 million

Selon le nombre de kilomètres, l'impact le plus élevé du projet se fera sentir sur la RN2 entre Moramanga et Toamasina. La phase de construction entraînera, selon les prévisions, le niveau le plus élevé d'impacts sur l'ensemble des routes.

Les effets sur le volume du trafic seront davantage marqués à Moramanga, ville où l'engorgement des routes est le plus grand et où les trois routes se rencontrent. Il est fort probable que le projet cause une augmentation de l'encombrement des voies de circulation à Moramanga, à moins que des voies de contournement supplémentaires ne soient construites.

Taux d'accidents

Un taux d'accidents (mesuré en fonction du nombre d'accidents rapportés par million de kilomètres-véhicule motorisé parcourus) de 3,12 par million de kilomètres-véhicule selon les statistiques du gouvernement malgache a été enregistré sur la RN2 entre Brickaville et Toamasina. Les conditions routières sur les autres parties de la RN2 et de la RN44 sont considérées équivalentes à

celles-ci, et le taux d'accident est réputé être proportionnel à l'accroissement du trafic. En fonction des volumes de trafic supplémentaires, les impacts sur le taux d'accidents ont été estimés et sont décrits dans le tableau 5.5-4.

Tableau 5.5-4 Changements dans le nombre d'accidents attribuables au projet

	RN2, Moramanga-Toamasina	RN2, Moramanga-Antananarivo	RN44, Ampitambe-Moramanga
kilométrage du trafic de référence	476 736 voyages x 250 km = 119 millions de km	1 094 288 voyages x 130 km = 142 millions de km	1 843 452 voyages x 10 km = 8 millions de km
taux d'accidents de référence	372 par année	443 par année	58 par année
kilométrage du trafic par année pendant la construction	Référence + 2,92 millions de km	Référence + 0,19 million km	Référence + 0,27 million
kilométrage du trafic par année au cours de l'exploitation	Référence + 0,73 million de km	Référence + 0,09 million de km	Référence + 0,16 million
hausse (et taux d'augmentation) du nombre d'accidents pendant la construction (sans mesure d'atténuation)	9 accidents (2,4 %)	1 accident (<1 %)	1 accident (<1 %)
hausse (et taux d'augmentation) du nombre d'accidents au cours de l'exploitation (sans mesure d'atténuation)	2 accidents (<1 %)	0 accidents (<1 %)	1 accident (<1 %)

Perturbations causées par le bruit et les vibrations

Bruit

L'évaluation du bruit produit par la circulation ne s'intéresse qu'aux véhicules motorisés. Les principales sources de bruit propres aux véhicules motorisés sont les suivantes:

- le moteur
- l'interaction entre les pneus d'un véhicule et la surface de roulement

Il est prévu que la quantité de bruit générée par les véhicules individuels utilisés dans le cadre du projet sera semblable à celle des véhicules déjà utilisés à Madagascar. Par conséquent, les changements dans les niveaux de bruit varieront en fonction du nombre de véhicules semblables sur les routes.

Le nombre total de véhicules sur les trois voies publiques qui font l'objet d'une évaluation augmente généralement de moins de 1 %. Les changements dans les divers types de véhicule représentent généralement moins de 5 % pour chaque

catégorie, à l'exception de la circulation des camions entre Ampitambe et Moramanga qui varie de 5,5 à 7 % au cours d'une semaine. Les changements relatifs à la circulation des camions sont considérés plus importants étant donné que ces derniers génèrent habituellement plus de bruit que les véhicules de passagers.

Les changements du trafic peuvent également être exprimés du point de vue de l'environnement récepteur, à savoir le nombre de passages de véhicules par heure. Le bruit des véhicules est perçu chaque fois qu'ils passent près d'un récepteur de bruit; chaque passage étant une occurrence de bruit. En supposant que 80% de la circulation survienne à la lumière du jour (considéré comme étant de 14 heures par jour) et que le trafic lié au projet survienne aussi durant cette période, on peut s'attendre à un changement de un à quatre véhicules par heure. Sur la RN44 (la route Ampitambe-Moramanga), on peut s'attendre à un ou deux camions par heure. Cette analyse est présentée dans le tableau 5.5-5

Tableau 5.5-5 Nombre de passages de véhicules (occurrences de bruit) par heure, aux heures de clarté

Type de véhicule	RN 2, Moramanga-Toamasina			RN 2, Moramanga-Antananarivo			RN 44, Ampitambe-Moramanga		
	Minimum en semaine/ week-end	Nombre attribuable au projet	Nombre total de passages par heure	Minimum en semaine/ week-end	Changement attribuable au projet	Nombre total de passages par heure	Minimum en semaine/ week-end	Changement attribuable au projet	Nombre total de passages par heure
construction									
voitures particulières	29	0	29	14	0	14	19	1	20
transport de personnes (autobus)	20	0	20	12	0	12	12	1	13
transport de marchandises (camions)	32	1-2	33-34	20	<1	20-21	14	1-2	15-16
véhicules motorisés à deux roues	80	0	80	20	0	20	204	0	204
total	161	1-2	162-163	66	<1	66-67	249	3-4	252-253
exploitation									
voitures particulières	29	0	29	14	0	14	19	<1	19-20
transport de personnes (autobus)	20	0	20	12	0	12	12	<1	12-13
transport de marchandises (camions)	32	<1	32-33	20	<1	20-21	14	<1	14-15
véhicules motorisés à deux roues	80	0	80	20	0	20	204	0	204
total	161	<1	161-163	66	<1	66-67	249	0-3	249-252

Les changements aux niveaux de bruit sur la route d'accès au projet dépendront du trafic actuel. Il est prévu que le trafic lié au projet sur cette route génèrera le même nombre d'occurrences de bruit que la circulation sur la RN44, à savoir de trois à quatre véhicules par heure, de même qu'un ou deux camions à l'heure pendant la période de construction.

Vibrations

L'évaluation des vibrations produites par la circulation concerne les gros véhicules motorisés (autobus et camions de marchandises). Les principales sources de vibration des véhicules motorisés sont les suivantes:

- le contact des pneus avec les irrégularités de la surface de roulement (charge d'impact)
- l'oscillation de la suspension du véhicule ou le « piochage » du véhicule (charge oscillante ou « axle hop ») (Hunaidi, 2000)

La quantité de vibrations produites dépend de la vitesse du véhicule, de l'état de la chaussée et du type ou de l'état de la suspension du véhicule. Les véhicules utilisés dans le cadre du projet sont prévus être semblables aux autres véhicules de la même catégorie à Madagascar et respecteront les limites de vitesse affichées.

Les routes RN2 et RN44 sont des routes bitumées généralement en bon état. Les routes qui traversent Moramanga sont très fréquentées et peuvent présenter davantage d'irrégularités (nids-de-poule et dommages découlant de l'usage) en raison des niveaux élevés de trafic. Les changements aux niveaux actuels de vibrations au sol dépendront de l'augmentation du nombre de véhicules liés au projet. Comme le démontre le tableau 5.5-5, la circulation connaîtra une hausse de un à deux camions par heure et de un autobus à l'heure pendant la période de construction, ce qui représente une hausse pouvant aller jusqu'à 7 % pour ces types de véhicule.

Les changements en matière de vibrations au sol sur la route d'accès au projet dépendront du niveau de trafic actuel et des conditions routières. Le niveau de trafic lié au projet sur cette route peut être aussi élevé que celui de Moramanga (1 à 3 poids lourds à l'heure) et on prévoit que la chaussée sera recouverte de gravier nivelé. Il pourrait être nécessaire de prendre des mesures d'atténuation relatives à la vibration si des résidences sont situées près de la route (à moins de 200 m) et si les conditions routières se détériorent (par ex. à la suite d'un phénomène météorologique). Cette route sera élargie et améliorée par le promoteur du projet, et on en assurera l'entretien afin de réduire les vibrations au sol.

5.5.5.3 Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation visant à prévenir les accidents et à promouvoir la sécurité publique sont notamment:

- une amélioration des routes afin de minimiser les perturbations et les risques, particulièrement aux intersections, là où les voies d'accès au projet rencontrent les voies publiques
- l'établissement de codes de bonne conduite et de programmes de formation à l'intention des travailleurs relativement à la conduite de véhicules
- la sensibilisation du public

A Moramanga, le promoteur du projet collaborera avec l'administration municipale afin de déterminer les procédures locales appropriées (routes et limites de vitesse) à suivre relativement aux véhicules liés au projet qui circulent dans la ville.

Les mesures d'atténuation relatives au bruit et aux vibrations sont notamment:

- dans la mesure du possible, faire circuler les véhicules liés au projet pendant le jour, afin d'éviter les perturbations du sommeil dues à l'accroissement des occurrences de bruit durant la nuit (cette mesure a été étudiée dans le cadre de l'analyse)
- utiliser des gros véhicules (camions et autobus) en convois afin de réduire le nombre de perturbations par jour, si les récepteurs de bruit préfèrent cette option
- maintenir les véhicules en bon état afin de s'assurer qu'ils ne font pas plus de bruit que les autres véhicules semblables sur les routes
- s'assurer que les véhicules circulent à une vitesse réduite afin de limiter les charges d'impact oscillantes lorsque des résidences se trouvent à proximité d'une route (à moins de 200 m)

5.5.6 Conclusions

Le projet entraînera un accroissement du trafic sur les routes bitumées entre Antananarivo et Moramanga, Toamasina et Moramanga, Ampitambe et Moramanga, puis Ampitambe et le site de la mine. Les plus grands impacts du projet en ce qui a trait au volume du trafic se feront sentir pendant la période de construction, surtout sur la RN44 entre Ampitambe et Moramanga. Le nombre de camions sur la route augmentera de 6 % pendant la construction et de 2 % au

cours de l'exploitation. Le nombre de véhicules particuliers connaîtra une hausse d'environ 3 % pendant les périodes de construction et d'exploitation. Le nombre d'autobus augmentera de 4 % en moyenne au cours des deux phases du projet. Des changements de cette nature donneront probablement lieu à une augmentation proportionnelle du taux d'accidents, ainsi qu'à une hausse des niveaux de bruit, des émissions des véhicules et de la poussière et des vibrations sur les routes. Toutefois, la mise en œuvre de mesures de sécurité (limites de vitesse, sensibilisation des conducteurs et du public, planification des passages de véhicules, entretien des véhicules et amélioration ponctuelles des routes lorsque nécessaire) permettra de réduire ces impacts.

La route d'accès à la mine en provenance d'Ampitambe desservira probablement un pourcentage élevé de trafic supplémentaire, et des mesures d'atténuation particulières, telles que la réinstallation des résidents, seront peut-être nécessaires au moment de l'élargissement des chaussées. Cette route d'accès à la mine est présentement sous étude. La traversée des villages devrait être évitée dans la mesure du possible.

Un accroissement du trafic peut avoir un effet sur les résidences, le bétail et la sécurité humaine à proximité d'une route, par l'entremise des impacts sur l'encombrement des voies de circulation, le bruit, les émissions, la poussière et les vibrations. En général, on s'attend à ce que ces effets soient faibles, mais en raison de l'engorgement des routes à certains endroits, comme à Moramanga et à Ampitambe, l'accroissement du trafic aura des impacts notables pour les résidents locaux.

6 REHABILITATION ET PLAN DE FERMETURE

6.1 PRESENTATION ET OBJECTIFS GENERAUX

La réhabilitation et la fermeture de la mine seront basées sur les objectifs généraux suivants:

- Les buts et les objectifs de la réhabilitation sont considérés durant les phases de conception et de planification de la construction et de l'exploitation.
- La réhabilitation progressive sera mise en œuvre là où cela sera possible.
- Quand l'exploitation prendra fin, les équipements seront démantelés et la zone sera réhabilitée afin de remettre le site à l'état d'habitat forestier compatible avec la forêt zonale environnante.
- Les plans de réhabilitation et de fermeture feront en sorte que la stabilité physique et chimique soit assurée à long terme.

Le plan de réhabilitation et de fermeture préliminaire est un document évolutif qui sera mis à jour tout au long de la durée de vie du projet Ambatovy (le projet) afin de refléter les conditions changeantes et l'apport des autorités locales et des parties prenantes. De plus, la recherche et la mise en œuvre de projets de revégétalisation dans le cadre de la réhabilitation progressive, guideront également le perfectionnement des concepts pour la fermeture finale. Des détails additionnels sur la planification de la réhabilitation et de la fermeture sont fournis au volume H, annexe 7.

Le site de la mine Ambatovy-Analamay est adjacent à une matrice de forêt naturelle quasi primaire, à la lisière de la zone prévue de conservation de la forêt Zahamena – Mantadia – Andasibe. Ainsi, le but principal de la réhabilitation sur le site de la mine sera de maintenir l'intégrité biologique en termes de paysages, d'écosystèmes, de communautés, d'habitats, de populations végétales et animales, d'espèces et de gènes. La protection de la forêt sur la concession minière sera planifiée, mise en œuvre et appliquée au moyen d'une entente sur la gestion de la forêt, élaborée par le promoteur du projet avec le Service forestier malgache.

6.2 SCENARIO SANS PROJET OU FERMETURE PRECOCE DE LA MINE

Le plan de gestion environnemental pour l'exploration accepté par les promoteurs du projet et l'ONE indique que des activités de réhabilitation seront menées suite à l'exploration, que la mine soit mise en production ou non. En réponse à cette entente, le projet mène des activités de restauration continue sur tous les sites, en priorisant les zones aux pentes les plus raides en bordure des gisements.

Suivant le scénario où le projet minier ne devait pas se faire, la restauration de toutes les routes et de toutes les plate-formes sera réalisée. Le projet remplira toutes les exigences pour obtenir un certificat de réhabilitation délivré par l'ONE, sur la base de critères de fermeture de la canopée et d'établissement d'une succession progressive de communautés végétales.

6.3 MINE ET PLAN DE FERMETURE

Les fosses à ciel ouvert seront exploitées au moyen d'excavatrices hydrauliques afin de creuser progressivement des gradins inférieurs, atteignant des profondeurs maximales de 50 m sous le niveau du terrain existant, à certains endroits. Suite à l'extraction dans une zone donnée, le stérile d'une autre zone sera placé en gradins dans la zone de la mine où l'exploitation sera terminée. Les gradins seront nivelés dans la pente et configurés dans le sens de la longueur afin de diriger le ruissellement vers un fossé muni d'un revêtement ou un tuyau vertical d'où l'eau de ruissellement peut être déchargée de manière stable, le long de la pente. Les angles de pente proposés dans le plan de la mine actuel, ont été déterminés de sorte que les pentes soient stables pour l'extraction, mais des investigations supplémentaires sont nécessaires pour déterminer si de telles pentes seront stables à long terme en considérant le climat et la nature du matériau. A la fin de l'exploitation minière, les fosses à ciel ouvert seront, chacune, partiellement et non complètement remblayées, avec le mort-terrain. Au terme des activités d'assèchement des fosses, plusieurs points bas se rempliront d'eau pour former des étangs. Aux endroits où cela sera possible, une attention sera portée pour relier ces étangs à des ruisseaux de premier ordre dans la zone. Cette attention aidera à faire de ces étangs un habitat pour les poissons.

Toutes les pentes seront nivelées de nouveau et modelées pour être stables, considérant la nature du matériau, afin d'assurer une stabilité à long terme. Les pentes des fosses à ciel ouvert et le plancher seront formés de latérite sans contenu organique et, comme pour les autres portions du site, ils nécessiteront des amendements comme l'ajout d'un paillis.

Deux empilements de stérile et mort-terrain (empilements de stérile d'Ambatovy et empilement de stérile d'Analamay) resteront à la fermeture. De plus, un petit empilement de cuirasse ferrallitique restera également. Les empilements seront constitués tôt dans l'aménagement de la mine, ils seront composés du premier stérile extrait des fosses à ciel ouvert. Les empilements seront aménagés avec des pentes stables pour une stabilité physique à long terme. Ils seront progressivement réhabilités, par revégétalisation, au fur et à mesure de leur aménagement, respectant ainsi les exigences en matière de stabilisation provisoire pour le contrôle de l'érosion et des apports solides. Ces mesures respectent les exigences pour une fermeture durable.

Les bâtiments sur le site de la mine, surtout l'usine de préparation du minerai ainsi que les bâtiments auxiliaires, seront démantelés et retirés du site après la fermeture. L'équipement et les matériaux seront récupérés afin d'être réutilisés, dans la mesure du possible. L'équipement et les matériaux sans valeur de récupération iront au site d'enfouissement du site. Tous les bâtiments seront retirés du site à moins que des utilisateurs potentiels soient identifiés. Les structures en béton seront démolies à 0,5 m en-dessous du niveau du sol et seront couvertes avec du mort-terrain avant la revégétalisation.

6.4 HYDROLOGIE

Les bassins de rétention des eaux de ruissellement situés en aval des empilements demeureront en place durant toute la phase de l'exploitation et pendant la phase de fermeture jusqu'à ce que la surveillance des apports solides indique que les mesures de revégétalisation assurent la protection adéquate afin de minimiser l'érosion et la sédimentation. Les bassins seront réhabilités par drainage et les digues seront ouvertes afin de restaurer le drainage naturel. Les zones perturbées (telles que les digues ouvertes) seront revégétalisées.

Une fois la revégétalisation bien établie sur tout le site, les installations de captage des eaux de ruissellement de la mine seront démantelées afin de rétablir le drainage naturel.

6.5 GESTION DES DECHETS

Les substances chimiques non utilisées seront retirées du site pour être vendues/réutilisées ailleurs ou mises au rebut avec les autres déchets dangereux comme pour la phase d'exploitation du projet.

Un site d'enfouissement sera aménagé sur le site et sera utilisé pour la mise au rebut de déchets non dangereux durant la phase d'exploitation de la mine. A la

fermeture, toutes les portions exposées du site d'enfouissement seront recouvertes.

Toute zone dont le sol est contaminé ou suspecté de l'être, comme les zones de transfert et de stockage de carburant, fera l'objet d'une caractérisation. Toute contamination par des produits pétroliers fera l'objet d'un traitement sur le site.

6.6 FERMETURE DE LA CONDUITE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET DU CORRIDOR

La conduite d'approvisionnement en eau de 23 km enfouie et utilisée pour l'adduction d'eau de la rivière Mango à l'usine de préparation du minerai, sera laissée en place car la retirer causerait des perturbations inutiles. Toute partie de la conduite d'approvisionnement en eau apparaissant à la surface (par exemple, les vannes) ainsi que la station de pompage et le groupe électrogène au diesel qui y sont associés, seront retirés.

Les conduites et les systèmes de pompage tirant l'eau des bassins de rétention des eaux de ruissellement de la mine pour l'utiliser pour le procédé à l'usine de préparation du minerai, seront essentiellement hors sol. Les portions hors sol de ces conduites, ainsi que les systèmes de pompage seront enlevés à la fermeture et récupérés afin d'être utilisés par d'autres dans la région.

Il est prévu que les corridors de transport resteront en place, pendant une certaine période de temps après la fermeture, pour faciliter l'accès au site à des fins de surveillance. Une fois que la zone se sera stabilisée, les accès seront réhabilités à moins que les autorités régionales n'en décident autrement. Les chaussées seront scarifiées, refaites de façon à s'intégrer au paysage et seront revégétalisées. Au besoin, des mesures temporaires de lutte contre l'érosion seront mises en place jusqu'à ce que les surfaces soient suffisamment stabilisées. Une expérience considérable déjà été accumulée au niveau du projet, grâce à la réhabilitation d'anciennes routes d'exploration, et cela contribuera à la méthodologie de la réhabilitation des routes, suite à la fermeture de la mine.

6.7 PLAN DE REHABILITATION

6.7.1 Lutte contre l'érosion

Les mesures d'atténuation générales suivantes seront employées afin de prévenir l'érosion hydrique:

- récupérer la terre végétale là où cela est possible (à l'exception des sols de la cuirasse ferrallitique) et l'entreposer loin des zones d'érosion potentielle
- construire des fossés transversaux temporaires afin de rediriger le ruissellement de surface
- construire des bermes temporaires avec de billes de bois importés, du bois de charpente, des sacs de sable ou tout autre matériau disponible
- construire des bermes avec du mort-terrain dans les zones où la terre végétale a été retirée
- construire les routes d'accès à la mine de sorte que les régimes d'écoulement naturel ne soient pas entravés et de manière à ce que le ruissellement vers les fossés des routes entre dans les systèmes de drainage naturels ou contournent les zones de confinement
- utiliser des mesures temporaires de lutte contre l'érosion comme l'ajout d'un paillis, de nattes, de filets ou de paillage pour contrôler l'érosion avant qu'une couverture végétale ne soit établie
- appliquer des agents collants là où cela est nécessaire afin de stabiliser les sols et utiliser des hydro-semoirs afin d'ensemencer les pentes escarpées
- ensemercer rapidement les zones exposées et les empilements de terre végétale avec un mélange de semences stables, capables de contrôler l'érosion et appropriées à la région. Il est suggéré de planter une herbe, le vétiver (*Vetivera zizanioides*) en bandes parallèles aux pentes (NRC 1993). D'autres espèces peuvent ensuite être plantées entre les bandes de vétiver

Les mesures d'atténuation suivantes seront appliquées, au besoin, afin de prévenir l'envasement des cours d'eau réhabilités:

- interdire de faire fonctionner de l'équipement de construction près des berges des cours d'eau là où il y a un risque de voir une berge s'écrouler ou de voir un véhicule tomber en panne au moment où il traverse, ou là où il y a un risque que la zone de travail soit inondée
- excaver des fossés transversaux afin de détourner le ruissellement des cours d'eau
- construire des bermes avec du mort-terrain, du bois d'œuvre, du bois débité, des sacs de sable, de la roche, des ballots de paille sur les pentes d'approche et/ou sur les berges afin de détourner le ruissellement du site et de le diriger vers des terres bien végétalisées
- placer des sacs de sable de manière stratégique pour aider à stabiliser et à ajouter de la hauteur aux berges afin d'éviter l'inondation des zones environnantes, en particulier là où la végétation a été retirée.

6.7.1.1 Utilisation du vétiver pour la lutte contre l'érosion

Le vétiver (*Vetivera zizanioides*) est une herbe originaire de l'Inde qui est utilisée partout dans les tropiques pour la lutte contre l'érosion (NRC 1993). Il est utilisé à Madagascar, depuis plus d'une décennie, par les fermiers et l'industrie pour la lutte contre l'érosion et il est également suggéré pour la lutte contre l'érosion des haldes de stériles dans le pays (Grimshaw 1997). Les utilisateurs de vétiver dans les tropiques pour la lutte contre l'érosion ont indiqué que le fait de planter des haies de vétiver réduira l'érosion du sol jusqu'à 90 % et le ruissellement des eaux jusqu'à 60 % (Grimshaw 1997).

Le NRC (1993) a suggéré que le vétiver présente les caractéristiques uniques suivantes:

- il contrôle l'érosion quand il est planté dans une haie en travers de la pente, avec un seul plant de largeur par rangée
- certains types portent des graines stériles ce qui fait que le vétiver n'empiète pas sur le terrain et qu'il ne s'étend pas
- ces plantes sont rustiques et ont été décrites comme étant capables de résister à la sécheresse, au pâturage, au feu et aux inondations. Elles ne tolèrent pas le gel
- il s'agit de plantes à racine pivotante avec des racines à grande résistance à la traction, ce qui leur permet de retenir le sol et de contrer ainsi l'érosion

- le vétiver ne coûte pas cher à établir et il nécessite peu d'entretien
- le vétiver croît dans divers types de sol, y compris dans des sols salins, acides et peu fertiles

Pour ce projet, des essais de vétiver sont proposés pour les haldes de stériles initiales qui seront établies afin d'évaluer le potentiel de cette espèce pour l'ensemble du programme minier.

6.7.2 Revégétalisation

La revégétalisation des surfaces perturbées est un objectif essentiel en terme de restauration parce que la végétation assure le contrôle des débits solides et la lutte contre l'érosion et qu'elle permet d'utiliser le terrain dans le futur. Des détails additionnels sont donnés sur la revégétalisation du site de la mine, dans le volume J, annexe 1.1, pièce jointe 3.

Dans cette région minière, qui comprend toute l'intrusion basique d'Antampombato (de la période du Crétacé), on distingue trois types de forêts en fonction de la géologie et du substrat, soit la forêt azonale (ou atypique), la forêt de transition et la forêt zonale de moyenne altitude.

La protection de la forêt, sur la concession, sera planifiée, mise en œuvre et appliquée au moyen d'un plan de gestion forestière devant être ratifié par le gouvernement malgache; ce plan de gestion est actuellement en préparation.

Un aménagement forestier multifonctionnel a été choisi comme type d'occupation du sol de la région de la mine à long terme parce qu'il reflète le plan régional de Madagascar qui consiste à maintenir le corridor forestier de Mantadia-Zahamena et le marais de Torotorofotsy, y compris ses bassins versants, en tant que site de conservation à long terme. La forêt zonale de la région de la mine constitue la limite ouest de ce corridor. A ce titre, la région de la mine forme une partie du paysage de conservation élargi considéré dans le cadre de la stratégie de conservation régionale actuelle.

Pour aider à atteindre les objectifs de réhabilitation à long terme, les hypothèses et les observations suivantes peuvent être faites:

- Il est prévu qu'à long terme (> 50 ans), la composition des espèces ligneuses de la forêt naturelle soit semblable à celle de la forêt résiduelle environnante (de transition – zonale) qui est à l'extérieur de l'empreinte au sol de la mine.

- Le type de substrat dominant devant être réhabilité est un sol profondément altéré qui est sujet à l'érosion en nappe et ravinement et qui pourrait produire des charges élevées de matières en suspension si aucune mesure de lutte contre l'érosion n'est appliquée.
- Le substrat du sol ne contient plus de nutriments et la création d'une couche organique visant à améliorer l'agrégation du sol et la croissance des plantes est requise ; l'utilisation de paillis sera nécessaire.
- Le paillis fait de végétation native (coupes à blanc sur l'empreinte au sol) est de haute qualité mais la disponibilité des quantités produites ne suffira pas à satisfaire la demande; d'autres types de paillis, comme l'eucalyptus, devront être produits.
- La récupération de la terre végétale pour la préparation ultérieure du site n'est pas une mesure appropriée car les propriétés de la terre végétale ne conviennent pas au stockage (la terre végétale est plus un réseau racinaire que de l'humus), les quantités sont insignifiantes et l'extraction de la terre végétale forestière sur la cuirasse ferralitique ou un substrat de transition n'est pas réalisable.
- Un programme proactif de tests et d'essais visant à améliorer les protocoles de réhabilitation, sera mis sur pied afin d'optimiser les méthodes et les techniques de réhabilitation.

6.7.2.1 Phases de revégétalisation proposées

Actuellement, l'approche globale de réhabilitation la plus appropriée inclut quatre phases conceptuelles distinctes, soit:

- la lutte contre l'érosion et le contrôle des eaux
- la préparation du sol et la revégétalisation
- la plantation d'arbres indigènes
- l'incitation à la succession naturelle

La réhabilitation progressive est tout à fait possible tout au long des 20 années de la durée de vie de la mine, ainsi que durant les sept années ultérieures quand les piles de stockage de minerai à faible teneur seront traitées. La fermeture finale impliquera une période de « fermeture active » à compter de l'année 28, durant laquelle le gros du travail de réhabilitation physique aura lieu, suivi par une période de surveillance post-fermeture. A des fins de planification, il est présumé que la période de fermeture active sera de cinq ans, suivie d'une période de surveillance post-fermeture de dix ans (15 ans au total).

6.8 SURVEILLANCE

La surveillance post-fermeture impliquera de surveiller la stabilité physique afin d'identifier des signes et/ou les premiers indices indiquant des problèmes d'érosion ou de stabilité et/ou éléments de danger. De plus, l'analyse périodique de la qualité de l'eau sera réalisée afin de s'assurer de la stabilité chimique de la zone.

7 PLANS DE GESTION ENVIRONNEMENTALE ET DE DÉVELOPPEMENT SOCIAL

L'annexe 6 du volume H contient un aperçu détaillé du Plan de gestion environnementale et de développement social (PGEDS) du projet Ambatovy (le projet). Les éléments de ce plan s'appliquent à tous les sites du projet et comprennent:

- les procédures de gestion en matière de santé et sécurité
- les plans des interventions d'urgence
- les plans de gestion des stériles
- les plans de gestion du bruit
- les plans de gestion des matériaux
- les plans de gestion du sol
- les plans de gestion de l'eau
- les plans de gestion de la qualité de l'air
- les plans de gestion de la flore
- les plans de gestion de la faune
- les plans de gestion des ressources aquatiques
- les plans de développement des ressources humaines
- les plans d'achat
- les plans de gestion du personnel
- les plans de réinstallation

Cette section présente les grandes lignes des mesures d'atténuation et de surveillance choisies qui feront partie des plans de gestion spécifiques au site de la mine. De plus amples renseignements seront fournis dans les sections des mesures d'atténuation et de surveillance de chaque section des différentes disciplines de l'étude d'impact environnemental. Les mesures d'atténuation et la surveillance sont divisées en trois sections : la section 7.1 présente le travail clé à effectuer avant la construction; la section 7.2 présente les activités à exécuter dans le cadre des plans de gestion clé pendant la phase d'exploitation; et la section 7.3 présente les activités à compléter dans le cadre des plans de gestion clés lors de la réhabilitation et de la fermeture.

7.1 ETUDES DE PRE-CONSTRUCTION

7.1.1 Plan de gestion de l'eau

Dans le cadre du plan de gestion de l'eau, la sensibilité à l'acidification des mares temporaires à protéger dans les secteurs azonaux du site sera évaluée avant le début du projet. Les échantillons d'eau seront analysés et, si l'eau présente de par ses propriétés une sensibilité à l'acidification, un programme de surveillance sera élaboré et implanté durant la phase d'exploitation.

Des études seront effectuées par rapport aux matières en suspension (MES) qui s'écoulent de la mine lors de violents cyclones sous les conditions de référence. La modélisation prévisionnelle est effectuée dans le cas d'événements de fortes pluies ayant une récurrence décennale, ou plus importante.

7.1.2 Plans de gestion de la faune et de la flore

Les études taxonomiques seront complétées avant le début de la construction, incluant les inventaires sur le site et hors site. Les listes des espèces préoccupantes de la flore seront réévaluées lorsque la mise à jour de la distribution des espèces de ces secteurs sera vérifiée. Les études de la faune hors site se concentreront sur les espèces clés qui se trouvent sur le site et à proximité de la mine, spécialement les espèces rares, tels que les deux espèces de serpents inconnues de la science qui ont été trouvées sur l'empreinte au sol de la mine.

De plus, un plan de gestion forestière sera élaboré pour le secteur de la mine dans le but de protéger les habitats forestiers clés qui agissent comme zone tampon et de fournir des secteurs pour une occupation du sol productive.

7.1.3 Plan de gestion des poissons et du milieu aquatique

Une étude des zones de protection azonales hors site renfermant des étangs temporaires sera effectuée afin de déterminer si des propriétés biologiques similaires existent pour les étangs de l'empreinte au sol du site de la mine.

7.2 ACTIVITES DURANT LES PHASES DE CONSTRUCTION ET D'EXPLOITATION

7.2.1 Plan de gestion de l'eau

Afin de s'assurer que les volumes de débit d'eau en aval de la mine ne soient pas substantiellement abaissés, une conduite d'amenée sera construite à partir d'une prise d'eau aménagée sur la rivière Mangoro. Les concentrations de solides en suspension seront surveillées dans la rivière Mangoro immédiatement en aval lors de la construction de la prise d'eau.

Le contrôle des eaux de ruissellement et des sédiments sera mis en place lors du défrichement et de la préparation du site. Les eaux de ruissellement des secteurs ciblés par le projet seront retenues pour décantation et traitées, si nécessaire, au moyen de flocculant avant leur rejet dans les bassins d'eau en aval. Les eaux de ruissellement des puisards actifs de la fosse seront dérivées directement vers l'usine de préparation du minerai si la fosse semble contenir des niveaux élevés de chrome. Les bassins de rétention des eaux de ruissellement et les bassins de clarification seront gérés afin de refléter la variabilité naturelle associée aux débits de crues et d'étiage. Le stockage sera effectué dans les bassins de rétention des eaux de ruissellement afin d'atténuer les débits de pointe.

Le suivi du débit des cours d'eau sera effectué dans des bassins en aval de la mine afin d'aider à définir la variabilité des débits et de s'assurer que les besoins en débits en aval sont rencontrés au moins sous les conditions de référence. La qualité de l'eau sera suivie à tous les exutoires des bassins de clarification et dans les secteurs en aval incluant le marais de Torotorofotsy durant les saisons humides et sèches.

7.2.2 Plans de gestion de la faune et de la flore

Deux aires de protection seront établies sur le site dans des secteurs d'habitat azonale à proximité de la mine. Une zone de conservation azonale additionnelle hors site sera également établie à Ankera en attendant la confirmation qu'elle constitue un site propice.

Les espèces de plantes et d'animaux vulnérables seront relocalisées avant la construction. Les plantes seront transplantées, cultivées ou déplacées dans les installations appropriées et seront réintroduites sur d'autres terres ou dans des secteurs réhabilités, suivant le cas. Lorsque possible, les espèces fauniques inscrites aux listes de l'Union mondiale pour la nature (UICN) et de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore

sauvages menacées d'extinction (CITES) seront relocalisées dans des habitats similaires. La surveillance sera effectuée afin de déterminer le succès de telles activités de relocalisation et de transplantation.

La stabilité écologique des zones de conservation sera surveillée, spécialement en ce qui concerne les effets concernant les émissions atmosphériques et les effets de lisière. Les essais de réhabilitation fondés sur la recherche seront réalisés pour valider le succès des différentes techniques de réhabilitation.

Une consultation aura lieu afin de déterminer si le plan de gestion des forêts affecte la capacité d'occupation du sol de certains individus spécifiques de manière négative nette, soit en raison de la perte de ressources ou en raison du changement apporté aux accès. Les réclamations pendantes seront dédommagées.

7.2.3 Plan de gestion des poissons et du milieu aquatique

Un programme de sauvetage des poissons permettra de déplacer les poissons endémiques dans des habitats naturels similaires aux plans d'eau importants de la mine (avant perturbation), ou dans d'autres habitats convenables (selon la disponibilité). L'expertise malgache sera utilisée afin d'aider à évaluer les techniques de gestion et de conservation à long terme en aval de la mine.

Le plan de gestion de l'eau décrit les moyens par lesquels la qualité de l'eau et des sédiments sera maintenue et suivie lors de la construction et de l'exploitation de la mine afin d'atténuer les effets sur les habitats en aval. Parmi ces efforts de suivi, les habitats aquatiques en aval seront également observés régulièrement. La perte d'habitats dans le secteur perturbé par la mine sera compensée grâce à la conservation de secteurs hors site incluant des étangs et d'autres habitats aquatiques. La qualité de l'eau (incluant le pH) sera surveillée dans les zones de conservation sur le site et hors site.

La prise d'eau sur la rivière Mangoro sera bien grillagée afin de prévenir l'entraînement des poissons.

7.2.4 Plan de développement des ressources humaines

Le projet instituera des programmes de formation et d'enseignement afin de répondre aux besoins du projet et d'aider à combler les besoins futurs de la région. De plus, le projet travaillera en collaboration avec les gouvernements régionaux et les parties prenantes afin d'aider à planifier les développements futurs dans les collectivités de Moramanga et d'autres collectivités avoisinantes.

7.2.5 Plan d'achat

Un plan d'achat optimisera l'implication des entreprises locales dans un premier temps et augmentera leur implication au fil du temps.

7.2.6 Autres activités de gestion socio-économique

Un programme VIH/SIDA sera établi et en marche avant le début de la construction du projet.

Le promoteur s'engage également à participer avec le gouvernement et les ONG à diverses initiatives de planification de développement communautaire dans le secteur ciblé pour le projet. Une telle participation aidera à intégrer diverses mesures d'atténuation du projet dans des initiatives connexes dirigées par d'autres.

7.2.7 Plans d'intervention d'urgence

Les mesures d'atténuation des risques naturels potentiels causés par les bassins de rétention d'eau et de clarification ainsi que les terrils de déchets et les talus excavés comprennent:

- des inspections régulières et une surveillance des talus
- des mesures d'entretien
- la revanche des digues
- un évacuateur
- les essais géotechniques sur les résidus miniers, remblais, mort-terrains de stériles et matériaux d'assises
- des analyses de stabilité des pentes
- l'application de normes internationales quant aux de sécurité acceptables
- les mouvements et les déformations du sol attribuables au séisme de projet
- l'installation et le suivi de l'instrumentation
- l'installation et la surveillance des structures de drainage
- une sélection prudente de la précipitation maximale probable (PMP) de l'averse de projet et des rafales de vent de projet (200 km/h)
- des études sur les inondations

- la conception en fonction des trajectoires des tempêtes

7.3 ACTIVITES DE FERMETURE ET DE REHABILITATION

7.3.1 Plan de gestion de l'eau

La mine sera réhabilitée progressivement pendant les opérations. La topographie de fermeture de la mine sera configurée afin de s'assurer que les bassins versants de chaque sous-bassin versant aient une apparence similaire à l'état initial des lieux. La végétation sera rétablie progressivement sur les secteurs dans lesquels l'exploitation minière est complétée.

7.3.2 Plans de gestion de la faune et de la flore

Pour enclencher la végétalisation, de la matière organique sera incorporée à la couche de surface du profil pédologique réhabilité pour améliorer la fertilité des sols tropicaux pour la réhabilitation. Les nutriments déficients seront remplacés, au besoin, par des amendements d'engrais afin de permettre le succès de la réhabilitation.

7.3.3 Plan de gestion des poissons et du milieu aquatique

Lors de la fermeture, les régimes d'écoulement seront établis en liaison avec les cours d'eau naturels aux limites du secteur aménagé. La couverture forestière et l'habitat riverain seront rétablis le long des cours d'eau réhabilités et des plans d'eau stagnants. Toute espèce endémique « extirpée » de son milieu naturel qui était présente auparavant dans la région, sera réintroduite par des programmes de reproduction en aquarium et en captivité et ce, si les habitats convenables existent pour leur survie.

Le concept et le potentiel d'une pêche artisanale basée sur l'utilisation d'espèces endémiques convenables, seront discutés pour les lacs qui se formeront dans les fosses à la fin de l'exploitation de la mine. Le suivi de la réintroduction des espèces et de son efficacité, à la fermeture, sera réalisé afin d'évaluer le développement et le succès des pêcheries artisanales.