



**CONTRIBUTION A LA REHABILITATION DES HALDES A
STERILES DE LA MINE D'OR DE BISSA GOLD SA**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER SPECIALISE EN GESTION DURABLE DES MINES ET DES CARRIERES**

Présenté et soutenu publiquement le [17 décembre 2012] par

Kawiba Moïse SIA

Travaux dirigés par : M. Nonguema Désiré YAMEOGO
Surintendant Environnement de Bissa Gold SA

Jury d'évaluation du stage :

Président : Corentin **SOME**

Membres et correcteurs : Anderson **ANDRIANISA**
Salimata **SPINATO**

Promotion [2011/2012]

REMERCIEMENTS

A la fin des travaux d'élaboration du présent mémoire fruit, de la franche collaboration entre plusieurs acteurs, il nous plait de témoigner à travers ces lignes notre reconnaissance aux personnes qui n'ont ménagé aucun effort dans notre accompagnement par leurs critiques, conseils, encouragements et soutiens en tout genre. Tous nos vifs et sincères remerciements vont à :

- M. Paul GENIES, Directeur Général de l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement pour l'ouverture de cette formation de Master en Gestion Durable des Mines au 2^{ie} ;
- Dr Abdoulaye DIARRA, Responsable Pédagogique du Master en Gestion Durable des Mines pour son accompagnement dans la recherche de structure d'accueil pour le stage ;
- L'ensemble du corps professoral qui a consenti d'énormes efforts pour nous assurer un enseignement de qualité.

Nos remerciements s'adressent également au personnel de Bissa Gold en général et particulièrement au :

- Dr Christian Félix OUEDRAOGO, DGA de Bissa Gold SA pour nous avoir acceptés dans leur entreprise minière pour le stage ;
- M. André DEVEAU, Directeur du Département Environnement et Prévention de Bissa Gold SA pour nous avoir reçus dans le département dont il a la charge ;
- M. Nonguema Désiré YAMEOGO notre maître de stage, Surintendant du Service Environnement de Bissa Gold SA, pour sa disponibilité et son encadrement dans l'élaboration du présent mémoire ;
- Le personnel du Service Environnement de Bissa Gold, M. Harouna ZIDA, M. Mohamed BA, M. Thierry MOTCHEBONG ;
- M. Etienne TIENDREBEOGO, Surintendant Prévention et son personnel ;
- A mes amis Naba BANGRE et Barnabé KABORE pour la lecture du document.

Nous n'oublions pas de partager notre joie avec l'ensemble des étudiants du Master Spécialisé en Gestion Durable des Mines du 2^{ie} en particulier M. Togo DOLI mon co-stagiaire de Bissa Gold SA.

Enfin, nous disons grand merci à nos parents, amis et connaissances pour leurs soutiens multiformes pour la réussite de nos travaux.

Que Dieu Tout Puissant vous bénisse abondamment !

CITATION

« C'EST LA BENEDICTION DE L'ETERNEL QUI ENRICHIT, ET IL NE LA FAIT
SUIVRE D'AUCUN CHAGRIN » Proverbes 10 :22

DEDICACES

Je dédie le fruit de ce travail à Dieu Tout-Puissant à l'ombre de qui, je demeure ! Je dédie ce mémoire à ma chère épouse Mariame SYALE, à mon bien aimé fils Kelbona Jedidja SIA, à mes protégées Nedba Irène SIA et Sophie Abena SIA et surtout à chère Mère Zoubiré ainsi que mon oncle Pasteur Paul G. SIA qui m'ont toujours fait confiance et assisté.

*Puisse Dieu, vous combler de riches bénédictions !
AMEN !*

RESUME

Depuis les années 1990, le Burkina Faso a connu un important développement des travaux d'exploration minière avec le démarrage effectif de l'exploitation de gisements aurifères. L'extraction industrielle de l'or a atteint 12,5 tonnes et des recettes d'exportation de 177 milliards de FCFA en 2009. Nonobstant ces enjeux économiques incontestables, les activités minières engendrent d'importants dommages pour l'homme et l'environnement car plus de 90% des matières extraites du sol sont des roches stériles qu'il faut gérer. L'objectif général est de contribuer à l'élaboration du plan général de réhabilitation de la mine d'or de Bissa Gold à travers la détermination de la capacité de production, la composition et les quantités de stériles, les superficies qui seront occupées et la proposition de méthodes pour leur réhabilitation progressive. La recherche documentaire, les entretiens et des visites de terrain ont été les outils de travail utilisés. La méthode d'exploitation est à ciel ouvert avec une cadence moyenne de 4 000 t/j pour le minerai et 27 000 t/j de stérile qui seront stockés sur une superficie de 86,5 ha. Les dimensions de la halde en construction sont de 2100 m de longueur, 420 m de largeur et 55 m de hauteur. Les propositions de réhabilitation faites concernent le compactage en couches alternées, le recouvrement de terre végétale, le paillage et la mise en place de plantations ligneuses et herbacées. La réhabilitation d'un ha de stérile est estimée à plus de 46 millions de FCFA. Des recommandations sont formulées pour une meilleure gestion des stériles, respectueuse de l'environnement.

Mots Clés :

- 1 - Or**
- 2 - Halde à stériles**
- 3 - Réhabilitation**
- 4 - Végétalisation**
- 5 - Bissa Gold SA**

ABSTRACT

Since 1990, Burkina Faso has experienced significant development of mineral exploration with the actual start of gold mining. The industrial extraction of gold reached 12.5 tonnes and export revenues of 177 billion FCFA in 2009. Notwithstanding these clear economic stakes, mining activities generate significant damage to humans and the environment because more than 90% of the materials mined are waste rock that must be managed.

The overall objective is to contribute to the development of the general plan of rehabilitation of the Bissa Gold mine by determining the capacity of production, composition and quantities of sterile, areas which will be occupied and proposals for their progressive rehabilitation . Documentary research, interviews and field visits have been working tools. The operating method is opencast mine with an average rate of 4000 ton of ore by day and 27,000 ton by day of sterile which will be stored on an area of 86.5 ha. The dimensions of the pile under construction are 2100 m long, 420 m wide and 55 m high. Rehabilitation proposals concerning the compaction in alternating layers, the cover by biological soil, mulching and establishment of woody and herbaceous plantings are made. Rehabilitation of a barren ha is estimated at over 46 million FCFA. Recommendations were made to improve tailings management, environmentally.

Key words:

- 1 - Gold
- 2 - Waste rock pile
- 3 - Rehabilitation
- 4 -Planting
- 5 - Bissa Gold Ltd

LISTE DES ABREVIATIONS

ADP	: Assemblée des Députés du Peuple
AMD	: Acid Mineral Drainage
AN	: Assemblée Nationale
BCEAO	: Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest
BRGM	: Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BUNEE	: Bureau National des Evaluations Environnementales
CIL	: Carbon-in-Leach
CODE	: Commission chargée du Développement Economique et de l'Environnement
DGFF	: Direction Générale des Forêts et de la Faune
DGPA	: Direction Générale de la Pêche et de l'aquaculture
DGPEDD	: Direction Générale de la Préservation de l'Environnement et du Développement Durable
DMA	: Drainage Minier Acide
DNEF	: Direction Nationale des Eaux et Forêts
EIE	: Etude d'Impact Environnemental
EIES	: Etude d'Impact Environnemental et Social
EPI	: Equipement de Protection Individuel
F CFA	: Franc de la Communauté Financière d'Afrique
FIE	: Fonds d'Intervention pour l'Environnement
GDM	: Gestion Durable des Mines
HRG	: High River Gold
ICMM	: Conseil International des Mines et Métaux
ITIE	: Initiative pour la Transparence dans les Industries Extractives
2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
MAH	: Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique
MATDS	: Ministère de l'Administration Territoriale, de la Décentralisation et de la Sécurité
MMCE	: Ministère des Mines, des Carrières et de l'Energie
MEDD	: Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
NIE	: Notice d'Impact Environnemental
RAF	: Reforme Agraire et Foncière

RN N°22	: Route Nationale Numéro 22
PAM	: Potentiel Acide Maximal
PAS	: Programme d'Ajustement Structure
PGES	: Plan de Gestion Environnemental et Social
PIB	: Produit Intérieur Brut
PM	: Premier Ministère
PN	: Potentiel de Neutralisation
PNN	: Potentiel Net de Neutralisation
PRES	: Présidence
SFI	: Société Financière Internationale
USB	: Universal Serial Bus
URSTM	: Unité de Recherche et de Service en Technologie Minérale

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	<i>i</i>
DEDICACES	<i>iii</i>
RESUME	<i>iv</i>
ABSTRACT	<i>v</i>
LISTE DES ABREVIATIONS	<i>vi</i>
LISTES DES CARTES	<i>xi</i>
LISTE DES TABLEAUX	<i>xi</i>
LISTE DES FIGURES	<i>xi</i>
LISTE DES PHOTOS	<i>xi</i>
I. INTRODUCTION GENERALE	<i>1</i>
1.1. Contexte de l'étude	<i>2</i>
1.2. Justification de l'étude	<i>2</i>
1.3. Problématique	<i>3</i>
1.4. Objectifs de l'étude	<i>4</i>
1.5. Plan de rédaction du mémoire	<i>4</i>
II. CADRE CONCEPTUEL ET REVUE DE LITTERATURE	<i>5</i>
2.1. Cadre conceptuel	<i>5</i>
2.2. Revue de littérature	<i>6</i>
III. PRESENTATION DE LA STRUCTURE DU PROJET	<i>9</i>
3.1. Localisation du projet	<i>9</i>
3.2. Historique du projet et travaux de recherche minière	<i>9</i>
3.3. Caractéristiques biophysiques de la zone	<i>10</i>
3.3.1. Données climatiques.....	<i>10</i>
3.3.1.1. Pluviométrie.....	<i>11</i>
3.3.1.2. Température, Evaporation et Humidité.....	<i>11</i>
3.3.1.3. Situation des vents	<i>12</i>
3.3.2. Données physiques	<i>12</i>
3.3.2.1. Types et occupations des sols	<i>12</i>

3.3.2.2. Ressources en eaux	14
3.3.2.3. Géologie du site	15
3.3.3. Données biologiques	15
3.3.3.1. Flore.....	15
3.3.3.2. Faune	16
3.4. Description de quelques activités du projet	16
3.4.1. Phase de construction du site.....	16
3.4.2. Phase d'exploitation	17
3.4.2.1. Méthode d'exploitation.....	18
3.4.2.2. Dénoyage de la mine	19
3.4.2.3. Disposition du sol, des morts-terrains et des stériles	19
3.4.2.4. Contrôle des eaux d'écoulement	20
IV. MATERIELS ET METHODE.....	21
4.1. Méthodologie de recherche.....	21
4.1.1. Rencontre de prise de contact et de cadrage de l'étude	21
4.1.2. Recherches bibliographiques.....	21
4.1.3. Entretiens	21
4.1.4. Visite de terrain	21
4.1.5. Exploitation, analyse des données et rédaction du mémoire	22
4.2. Matériels utilisés	22
V. RESULTATS ET DISCUSSION	23
5.1. Présentation des résultats	23
5.1.1. Capacité de production et composition des haldes à stériles.....	23
5.1.2. Capacité de stockage des haldes à stériles.....	23
5.1.3. Méthodes de réhabilitation prévues par l'EIE	23
5.1.3.1. Réhabilitation physique	23
5.1.3.2. Réhabilitation biologique.....	24
5.2. ANALYSE DES RESULTATS	24
5.2.1. De la composition de la halde à stériles.....	24
5.2.2. De la Capacité de stockage de la halde à stériles.....	26
5.2.3. Des méthodes de réhabilitation.....	26
5.2.3.1. Des méthodes physiques.....	26
5.2.3.2. Des méthodes biologiques	27
VI. PROPOSITION D'UN PLAN DE REHABILITATION DES HALDES A STERILES	29
6.1. Objectifs et principes de la réhabilitation	29

6.2. Mesures préconisées pour la prévention du DMA.....	29
6.2.1. Dilution.....	29
6.2.2. Construction d'ouvrages de réception des eaux de ruissèlement.....	30
6.2.3. Modification des techniques d'extraction et de traitement des minéraux	30
6.3. Réhabilitation physique des haldes à stériles	30
6.3.1. Régalage	30
6.3.2. Apport de terre végétale	30
6.3.3. Stabilisation des pentes de la halde et contrôle de l'érosion hydrique.....	31
6.4. Réhabilitation biologique des haldes à stériles.....	31
6.4.1. Paillage	32
6.4.2. Mise en place de plantations.....	33
6.4.2.1. Préparation du terrain.....	33
6.4.2.2. Préparation du matériel végétal	34
6.4.2.3. Mode de plantation	34
6.4.2.4. Entretien des plants.....	37
6.4.2.5. Apport de fertilisants	37
6.5. Evaluation du coût estimatif de réhabilitation d'un ha de stérile	38
6.6. Programme de surveillance et suivi environnemental	40
6.7. Limite de l'étude	41
VII. RECOMMANDATIONS.....	42
7.1. Recommandations pour l'État Burkinabè et le MEDD	42
7.2. Recommandations pour l'entreprise minière de Bissa Gold.	42
VIII. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	44
IX. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	45
X. ANNEXES.....	I
Annexe I : Guides d'entretien	I
Annexe II : Cadre réglementaire de l'étude.....	IX
Annexe III : Politique environnementale de Bissa Gold SA	XVII
Annexe IV : Réhabilitation physique des haldes à stériles	XVIII
Annexe V : Politique de Santé et Sécurité de Bissa Gold SA.....	XIX
Annexe VI : Liste des espèces produites dans la pépinière de Bissa Gold SA	XXI
Annexe VII : Méthode d'évaluation des besoins en engrais minéral.....	XXII

LISTES DES CARTES

Carte N° 1: Localisation de la zone du Projet (Jilbey Burkina Sarl, 2010).....	9
Carte N° 2 : Carte géologique du Burkina Faso (http://www.hrg.ca/s/Bissa.asp)	15
Carte N°3 : Plan général de la zone du Projet Bissa-Zandkom.....	17

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Situation des moyennes des températures à Bissa de 2006 – 2008.....	12
Tableau 2: Situation des types de sols de la zone.....	12
Tableau 3: Résultats des analyses du DMA	25
Tableau 4: Détail estimatif du coût de la réhabilitation d'un ha de stérile.....	39
Tableau 5: Liste des espèces produites dans la pépinière de Bissa Gold	XXI
Tableau 6: Quantité de chaque élément chimique nécessaire à la fertilisation.	XXII
Tableau 7 : Résumé de la quantité d'engrais nécessaire par plant	XXIII

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Evolution des précipitations de la station de Bissa de 2006-2011	11
Figure 2 : Aperçu de métallurgie extractive : du minerai au métal (HAKKOU, 2012).....	19
Figure 3 : Disposition alternée des différentes couches de stériles	29
Figure 4: Piquetage en carré à gauche et en quinconce à droite.....	33
Figure 5 : Association ligneux-herbacées en carré à gauche et en quinconce à droite	36
Figure 6: Etapes de l'évolution de la végétalisation (Adaptée de T.JAFFRÉ et al.1997).....	36

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Ecoulement d'eaux acides dans un cours d'eaux au Canada (KEITA, 2012)	7
Photo 2 : Stockage des eaux acides dans les fosses (KEITA, 2012).....	7
Photo 3: Paillage du sol avant plantation, mine d'or de Morila (ILBOUDO, 2011)	32
Photo 4: Ensemencement hydraulique (P. JACQUEMIN & al. 2006)	35
Photo 5 : Compostière en fosse (SIA, 2012)	38
Photo 6 : Opération de nivellement, mine d'or de Morila (S. ILBOUDO, 2011).....	XVIII
Photo 7 : Recouvrement des stériles, mine d'or de Morila (S. ILBOUDO, 2011)	XVIII
Photo 8: Nivellement pour la plantation, mine d'or de Morila (S. ILBOUDO, 2011)	XVIII
Photo 9: Insérer la pelle dans le sol à 10 cm du plant Photo 10 : Créer une fente	XXIII
Photo 11 : Insérer l'engrais Photo 12: Refermer la fente	XXIV

I. INTRODUCTION GENERALE

Depuis les années 1990, le Burkina Faso a connu un important développement des travaux d'exploration minière qui s'est traduit par le démarrage effectif de l'exploitation de gisements aurifères notamment ces trois dernières années (ITIE, 2011). Jusqu'en 2007, le secteur minier ne comptait pas parmi les secteurs les plus importants de l'économie du Burkina Faso. Cependant, cette situation a changé avec le développement et l'exploitation de plusieurs mines d'or. En 2008, le gouvernement prévoyait des recettes budgétaires annuelles de 60 milliards de francs CFA à partir de 2010 avec une extraction de 26 tonnes d'or par an. De nos jours, le Burkina Faso compte parmi les pays africains riches en ressources minières. L'extraction industrielle de l'or a atteint 12,5 tonnes en 2009, avec des recettes d'exportation de 177 milliards de F CFA et une contribution au PIB de l'ordre de 4 % (au moins 8 % avec les externalités). L'or est devenu le 1^{er} produit d'exportation détrônant ainsi le coton qui était resté pendant longtemps le principal produit d'exportation (ITIE, 2011).

Selon le ministère en charge des mines, la production d'or au Burkina Faso devrait augmenter de 32% en 2011 et s'établir 33,74 tonnes contre 25,6 tonnes l'année précédente.

En 2011, L'Institut Fraser, un cabinet canadien spécialisé dans l'étude économique, a classé dans sa dernière enquête annuelle (2010-2011), le Burkina Faso au 6e rang en Afrique en termes de potentiel minier (Journal MUTATIONS N. 7 de mars 2012). En effet, six (06) mines (*BELAHOURO, TAPARKO, ESSAKANE, MANA, YOUNGA, NANTOU*) sont actuellement en exploitation et au moins une demi-douzaine en phase d'exploration ou de construction (*BISSAZANDKOM, TAMBAO, OREZONE, AVION GOLD, etc.*).

Nonobstant ces enjeux économiques incontestables, force est de reconnaître que ces activités minières engendrent des dommages importants pour l'homme et l'environnement, d'autant plus que la réglementation dans la plupart des pays est insuffisante, notamment en Afrique (Campbell, 2011). L'exploitation minière génère d'importante quantité de stériles qui représentent parfois plus de 90% des matières extraites du sol. Les Sociétés minières sont donc confrontées presque toutes aux mêmes problèmes de gestion des rejets miniers en leurs seins.

La prise de conscience de ces effets néfastes a permis à l'état Burkinabé d'entreprendre des réformes et d'adopter des politiques visant non seulement l'amélioration du cadre de vie des populations par l'assainissement des milieux urbains et ruraux mais aussi la réalisation d'aménagements paysagers. Ainsi, plusieurs instruments législatifs et réglementaires ont été adoptés, des accords et conventions internationales signés. Toutefois, l'on peut remarquer que ces textes et accords sont insuffisants pour juguler ces impacts du fait que la prise de conscience de la nécessité de réhabiliter les sites après exploitation est récente.

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

Cette étude rentre dans le cadre de la formation de Master spécialisé en Gestion Durable des Mines (GDM) de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE). En effet, les étudiants en fin de cycle sont tenus d'effectuer des stages terrains avec une proposition de thème de recherche sanctionné par un mémoire à défendre. C'est dans ce contexte que se déroule le présent stage.

C'est aussi l'occasion d'accompagner les entreprises minières dans la résolution des problèmes environnementaux auxquels elles sont confrontées à travers la réflexion sur des problématiques bien définies par elles. Notons enfin que c'est également le fruit d'un partenariat entre les instituts de formation et les entreprises qui contribuent à la formation de l'expertise nationale.

1.2. JUSTIFICATION DE L'ETUDE

Soucieuse de la mise en œuvre diligente de sa politique environnementale, l'entreprise minière de Bissa Gold s'est fixée comme objectif de gérer les impacts environnementaux à travers l'application du plan de réhabilitation de sa mine dans le respect des accords nationaux et internationaux en matière de Développement Durable.

En effet, on rencontre à travers le monde des milliers de mines "orphelines ou abandonnées" dont les propriétaires sont introuvables ou n'ont plus les ressources financières nécessaires permettant de procéder à leur restauration et qui posent d'importants problèmes environnementaux, sociaux et économiques (Castrilli, 2002). C'est le cas au Canada où l'on dénombre environ dix milles (10 000) mines orphelines ou abandonnées, ce qui crée des problèmes de toutes sortes partout au pays (DMA, pollution des eaux et des sols, etc.), (W.O. MACKASEY, 2000).

Il paraît alors important de réfléchir sur le système de gestion qui minimiserait les dommages sur l'environnement. La gestion des rejets en amont et la restauration en aval présente les avantages suivants :

- les coûts sont étalés sur une durée plus longue et peuvent être récupérés sur les revenus miniers ;
- les activités de fermeture peuvent être intégrées aux activités d'exploitation journalières de la mine ;
- la période de mise en œuvre de la fermeture sera plus courte ;
- les programmes de surveillance sont intégrés au management environnemental systématique ;
- des techniques ayant fait leurs preuves peuvent être incorporées au plan de fermeture

définitive ;

- les effets nocifs pour l'environnement sont réduits.

C'est dans cette perspective et pour éviter les situations déplorables que Bissa Gold, consciente de sa responsabilité sociale et environnementale, veut anticiper en se dotant d'instruments qui lui permettront d'assurer au mieux la réhabilitation de son site pendant et après exploitation. La présente étude s'intéresse aux rejets majeurs de la mine que constituent les millions de tonnes de dépôts de stériles. A travers ce travail, nous voulons bien apporter notre modeste contribution aux travaux existants en matière de réhabilitation des haldes à stériles, et ce dans le cas spécifique de la mine d'or de Bissa Gold.

1.3. PROBLEMATIQUE

L'exploitation minière a contribué énormément au développement économique des pays industrialisés (YACOUBA, 2012). Cependant, face à ces avantages économiques considérables se dressent de nombreux problèmes environnementaux majeurs préjudiciables à la vie humaine. L'industrie minière est une activité de courte durée alors que ses effets persistent longtemps (Kevin et D'Souza, 2009). En effet, des modifications importantes du milieu physique, biologique et socio-économique caractérisées par la perte quasi totale du couvert végétal, la modification du relief et du sol des sites d'extraction et la pollution physicochimique des milieux par les métaux lourds contenus dans les boues rejetées ont été constatées sur le terrain (PRECAGME, 2004).

Les nombreux sites abandonnés à travers le monde sont là pour illustrer ces effets pervers de l'activité minière. Ces sites constituent un réel danger non seulement pour l'environnement, la sécurité publique, mais aussi un vrai problème d'impact paysager vis-à-vis du paysage local.

Le Burkina Faso qui, connaît un boom minier ces dernières années, n'est pas à l'abri de ces problèmes. En effet, on note actuellement plus d'une douzaine de sites miniers en phase d'exploitation ou d'exploration. Faut-il alors conclure à l'incompatibilité entre développement économique par l'exploitation minière et protection de l'environnement ? Les terres dégradées des sites miniers peuvent-elles être réhabilitées ? Quelles méthodes et pratiques existantes peuvent contribuer à leur restauration, particulièrement pour celles des haldes à stériles ? Quels peuvent être les rôles des acteurs impliqués dans la réhabilitation des haldes de Bissa Gold ? Comment réussir la réhabilitation du site minier de Bissa Gold en vue de léguer aux populations locales un environnement satisfaisant et compatible avec l'usage futur ?

Ce sont là, quelques interrogations auxquelles nous proposons d'apporter des éléments de réponse. La direction de l'entreprise de Bissa Gold a manifesté le besoin d'avoir des instruments, susceptibles d'aider à la reconstitution du couvert végétal d'ou la présente étude sur le thème : « **Contribution à la réhabilitation des haldes à stériles de la mine d'or de Bissa Gold** ».

1.4. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'objectif global de la présente étude est de contribuer à l'élaboration du plan général de réhabilitation de la mine d'or de Bissa Gold à travers une revalorisation des haldes à steriles après fermeture de la mine.

Pour les objectifs spécifiques, il s'agira de :

- ✚ Déterminer la capacité de production et la composition des haldes à stériles ;
- ✚ connaître les quantités de stériles et superficies occupées ;
- ✚ proposer des méthodes et actions pour la réhabilitation progressive des haldes à stériles assurant une configuration stable à long terme.

1.5. PLAN DE REDACTION DU MEMOIRE

Le plan de restitution des travaux du mémoire abordera successivement les points suivants :

- ✓ Introduction générale
- ✓ Cadre conceptuel et revue de littérature
- ✓ Présentation de la structure du projet
- ✓ Matériels et méthode
- ✓ Résultats et discussion
- ✓ Proposition d'un plan de réhabilitation des haldes à stériles
- ✓ Recommandations
- ✓ Conclusion et perspectives

II. CADRE CONCEPTUEL ET REVUE DE LITTERATURE

2.1. CADRE CONCEPTUEL

La conduite de cette étude nécessite la définition de certains concepts visant une meilleure appréhension du thème. Sans être exhaustif les concepts suivants sont ainsi définis dans le contexte de l'étude :

- **Mine** : c'est une entreprise exploitant une ressource minérale naturelle avec une fourniture d'énergie, d'équipements, de ressources humaines etc., en vue d'extraire et d'élaborer un produit qui peut être du minerai brut, du concentré ou un produit plus élaboré. Dans le cas de Bissa Gold, le minerai qui sera exploité est de l'or.
- **Méthodes d'exploitation minière** : il existe deux principales méthodes d'exploitation minière à savoir, l'exploitation souterraine et l'exploitation à ciel ouvert. L'exploitation souterraine concerne les sites où le minerai se trouve à des grandes profondeurs au delà de 300 m. il présente moins de dommage environnemental notamment la pollution visuelle. Au Burkina Faso, seule la mine d'or de SEMAFO serait en phase de passer à cette méthode du fait de l'éloignement en profondeur du minerai. L'exploitation à ciel ouvert consiste à l'ouverture d'une fosse en vue d'extraire le minerai. Des opérations telles que le défrichage, le déblayage, le dynamitage, suivi de l'excavation du minerai se font à l'aide d'engins lourds. C'est ce mode d'exploitation qui est utilisé par la mine d'or de Bissa Gold. Cette méthode est à l'origine de la disparition de la couverture végétale et la perturbation de la terre végétale, soutien de la biodiversité animale et végétale.
- **stériles** : ce sont des débris de roches faiblement minéralisées que l'on extrait avant d'atteindre le minerai de forte teneur. Suivant le cours favorable de l'or sur le marché international, ils peuvent faire l'objet de traitement pour récupérer les petites quantités d'or qu'elles contiennent.
- **Halde à stériles** : c'est le lieu de dépôts des stériles excavés qui sont entreposés formant parfois un panorama d'aspect colinéaire. Ils constituent une pollution visuelle du fait de la modification du paysage. Ils doivent subir des traitements spécifiques pour assurer leur stabilité, leur reverdissement et leur intégration dans le nouveau paysage.
- **Réhabilitation**: c'est le procédé par lequel les terrains perturbés par des activités minières sont modifiés afin d'en permettre une nouvelle utilisation. Les travaux de réhabilitation peuvent comprendre l'enlèvement des bâtiments, équipements, machinerie et autres vestiges physiques de l'extraction, la fermeture des aires d'entreposage des résidus, des cellules de lixiviation et autres installations de la mine, ainsi que le

reprofilage, le recouvrement et la revégétalisation des haldes de stériles et autres secteurs perturbés (KEITA, 2012).

- **Cadre réglementaire de l'étude:** c'est l'ensemble des textes réglementaires et de lois qui régissent les activités minières. Au Burkina Faso plusieurs instruments sont élaborés à cet effet et le détail concernant l'étude est présenté en annexe II.

2.2.REVUE DE LITTERATURE

Suivant le constat, l'exploitation minière cause de nombreux dommages environnementaux dont les effets persistent au delà de la fermeture de la mine. Depuis l'exploitation industrielle de l'or, les sites miniers n'ont pas toujours fait l'objet de réhabilitation ce qui explique l'existence de nombreuses mines orphelines dans les pays de tradition minière (KEITA, 2012). En effet, on rencontre à travers le monde des milliers de mines "orphelines ou abandonnées" dont les propriétaires sont introuvables ou n'ont plus les ressources financières nécessaires permettant de procéder à leur restauration et qui posent d'importants problèmes environnementaux, sociaux et économiques (Castrilli, 2002). C'est le cas au Canada où l'on dénombre environ dix milles (10 000) mines orphelines ou abandonnées, ce qui crée des problèmes de toutes sortes partout au pays (DMA, pollution des eaux et des sols, etc.) (W.O. MacKasey, 2000). Ces dommages environnementaux concernent la disparition du couvert végétal, la perturbation des milieux écologiques, les déformations du paysage et surtout l'écoulement des eaux minières acides qui polluent les eaux souterraines et de surfaces, détruisant la vie aquatique, les animaux et oiseaux qui viennent s'abreuver.

Parmi les déchets miniers importants, il y a les dépôts d'énormes quantités de stériles dites haldes à stériles qui constituent des sources de pollution visuelle. De plus, suivant la composition chimique des roches qui les composent, ils peuvent provoquer le drainage minier acide suivant certaines conditions du milieu naturel.

Le drainage minier acide (DMA) est un problème environnemental majeur et fréquent pour l'industrie minière et ce, à l'échelle internationale. Il résulte de la circulation d'eaux acides produites par l'oxydation naturelle de sulfures dans divers matériaux miniers (parc à résidus, haldes de stériles, minerais, galeries de mine, fosses etc...). Les eaux de drainages minières acides sont caractérisées par un faible pH, des concentrations en métaux lourds et en sulfates élevées, une grande concentration en solides dissous. L'oxydation des minéraux sulfureux est un grave problème de l'industrie minière. Les eaux contaminées du DMA proviennent de diverses exploitations (métaux précieux et de base, charbon et uranium). Par exemple au Canada

au début des années 1990, il y a eu 740 millions de tonnes de stériles potentiellement acidogènes, 1,9 milliards de tonnes de rejets de concentration potentiellement acidogènes dans les parcs à résidus couvrant 12,5 millions d'hectares (HAKKOU, 2011).

Le DMA entraîne des conséquences dommageables sur les écosystèmes aquatiques (réduction de la biodiversité et des populations, modification de la structure des communautés, etc.). Il dégrade la qualité de l'eau et entraîne la disparition des usages de l'eau en aval de la mine (alimentation en eau potable, base de loisir, pêche, irrigation). Ce qui impacte négativement la qualité vie de l'homme. De nombreux cours d'eau affectés par le drainage d'acide de mine ont un pH de 4 (ELAW, 2010) ou inférieur (similaire à l'acide de batterie). Les plantes, les animaux et les poissons ont peu de chance de survivre dans de tels milieux. Les dépôts de couleur rouille sur plusieurs kilomètres de cours d'eau ou l'aspect dénudé des stocks de déchets miniers (dévégétalisation), ainsi que la disparition de certains arbres des communautés végétales riveraines des canaux de drainage constituent des dommages environnementaux. Les photos 1 et 2 indiquent l'écoulement d'eaux acides dans un cours d'eau au Canada.



Photo 1 : Ecoulement d'eaux acides dans un cours d'eau au Canada (KEITA, 2012) **Photo 2** : Stockage des eaux acides dans les fosses (KEITA, 2012)

Il existe également un risque d'intoxication par ingestion directe si une surveillance des eaux d'alimentation n'est pas assurée. De plus, par le jeu des phénomènes de bioaccumulations et des bioamplifications cela peut aboutir à une intoxication indirecte de l'homme via les poissons, notamment chez les populations de pêcheurs. Chez les personnes souffrant d'intoxications métalliques, on trouve des métaux toxiques dans la plupart des tissus mous, surtout le foie, les reins mais aussi dans les os. Une fois absorbés, les métaux lourds sont souvent difficiles à éliminer. La demi-vie de la plupart d'entre eux dans le corps humain est longue (30 ans pour le cadmium). De nombreux effets liés à une exposition de longue durée aux métaux (Cd, Cu, Pb,

Sn, Zn) sont les gastro-entérites, irritations pulmonaires, insuffisances rénales, hépatiques et les cancers (BRGM, 2009).

Nonobstant les nombreuses mines orphelines qui existent à travers le monde et les conséquences néfastes dont elles sont sujettes, il y a des efforts qui sont fait dans le cadre de la réhabilitation des sites miniers exploités. En exemple nous avons le site minier de Mantagani au Québec (GAUTIER, 2007), les sites de la Nouvelle Calédonie (PAUL-HUS, 2011) etc.

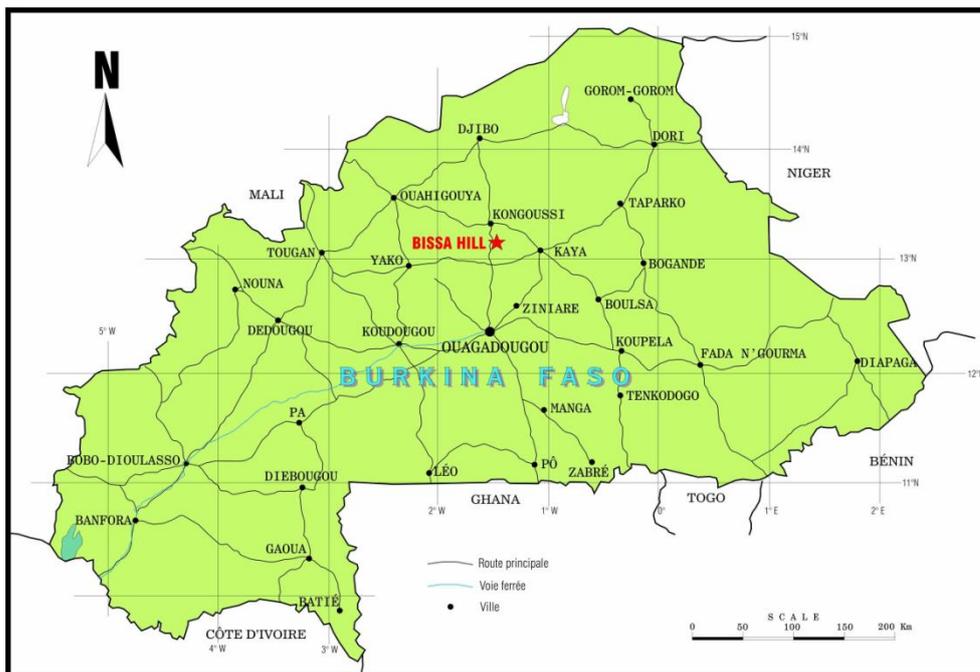
En Afrique, quelques mines connaissent une réhabilitation en cours. Il s'agit de la mine d'or de Morila au Mali (OUEDRAOGO, 2011), la mine d'Ahafo au Ghana (BEREMWIDOUGOU, 2011). Au niveau du Burkina Faso, la plus ancienne mine est celle de Poura qui a fermé ses portes en 1996 mais qui n'a pas connu de réhabilitation. Le récent boume minier dans notre pays mérite que des mesures idoines soient prises pour une bonne réhabilitation des différents sites exploités.

III. PRESENTATION DE LA STRUCTURE DU PROJET

3.1. LOCALISATION DU PROJET

La zone du projet d'exploitation aurifère de Bissa Gold est située au Burkina Faso, dans la région du Centre Nord à 94 km au nord de Ouagadougou la capitale (Carte N°1). Couvrant une superficie d'environ 129 km², elle est située dans la commune rurale de Sabcé relevant de la province du Bam. La zone du projet est traversée du Nord au Sud par la Route Nationale (RN) N°22 sur l'axe Ouagadougou-Djibo. La commune de Sabcé fait partie des 09 communes qui constituent la province du Bam avec pour chef lieu Kongoussi. Elle s'étend sur une superficie de 338,99 km² est et limitée :

- à l'Est par la commune urbaine de Kaya (Province du Sanmatenga) ;
- au Sud par la commune rurale de Mané (Province du Sanmatenga) ;
- à l'Ouest par la commune rurale de Rouko ;
- au Sud-Ouest par la commune rurale de Guibaré ;
- au Nord par la commune urbaine de Kongoussi et rurale de Nasséré.



Carte N° 1: Localisation de la zone du Projet (Jilbey Burkina Sarl, 2010)

3.2. HISTORIQUE DU PROJET ET TRAVAUX DE RECHERCHE MINIERE

La tradition minière aurifère de la zone de Bissa est assez récente. Débutées depuis plus d'une vingtaine d'année, les activités d'orpaillage se seraient intensifiées vers la fin des années 90. Plusieurs entreprises ont eu à réaliser divers travaux d'exploration dans cette région, soit depuis

plus de 30 ans. Leurs travaux avaient permis d'identifier plusieurs cibles et des minéralisations aurifères discontinues. C'est Jilbey Gold Exploration (« Jilbey ») qui a acquis en début 2004 les permis de recherche du Groupe Bissa.

En septembre 2005, il y a eu la fusion entre Jilbey et High River Gold (HRG) qui a repris les travaux de forage sur la propriété de Bissa, le long de la structure de Sabcé appelée « Bissa Trend » en vue d'augmenter les ressources minières. HRG Ltd. du Canada détient d'autres permis de recherche sur plusieurs sites au Burkina Faso, dont un ensemble identifié comme le Groupe de permis de recherche de Bissa. Le projet Bissa-Zandkom dont les ressources aurifères ont fait l'objet d'une étude de faisabilité technique et économique est le résultat d'un des plusieurs permis contigus.

Les ressources minérales mesurées s'établissaient à 0,93 Mt, avec une teneur moyenne de 3,21 g/t Au, contenant 96 000 onces d'or en mars 2010. Les ressources minérales indiquées représentaient quant à elles 12,42 Mt dont une teneur moyenne de 2,43 g/t Au, et 970 000 onces d'or. L'ensemble des ressources minérales mesurées et indiquées correspondent à 13,35 Mt, contenant 1 066 000 onces d'or, soit une augmentation de 143 000 onces par rapport à l'estimation d'avril 2009.

La durée d'exploitation minière serait de 6,75 années, au-delà des 2 années de pré-production / construction avec un taux d'excavation de 1,5 millions t/a de minerai (4 300 t/j) et près de 6,8 millions t/a (10 000 à 25 000) t/j de stériles. L'exploitation progresse d'Est en Ouest, et les stériles ainsi excavés à proximité pourraient servir comme matériau de construction de voies d'accès. Dans un premier temps, ces réserves proviendront essentiellement des fosses principales de Bissa Hill, Bissa Sud Extension, Bissa Sud Ouest, ainsi que des fosses des zones 51, 52, 55.

3.3.CARACTERISTIQUES BIOPHYSIQUES DE LA ZONE

3.3.1. Données climatiques

La zone du projet est située dans la zone Soudano – Sahélienne entre 11°30 et 14° Nord, avec une pluviométrie entre 600 mm et 900 mm. Elle est déterminée par le mouvement de masses d'air qui diffèrent par leur taux d'humidité et leur stabilité relative. Elle est caractérisée par un climat de type chaud et sec marqué par deux flux d'air dominants que sont :

- l'harmattan : vent chaud et sec de direction Nord-est / Sud-ouest ;
- la mousson : vent humide de direction Sud-ouest / Nord-est.

3.3.1.1. PLUVIOMETRIE

L'analyse de la pluviométrie mensuelle montre que d'une année à l'autre, les précipitations varient d'une manière significative. Plus de 90% de la pluie tombe pendant la période de Mai à Septembre (entre 130 à 170 jours) d'où le pic constaté en cette période, le nombre réel de jour de pluie ne dépassant cependant pas les 50 jours. Le début et la fin de la saison sont caractérisés par des pluies violentes et courtes avec des vents violents pouvant atteindre 9,42 mètres par seconde. La valeur moyenne annuelle de la pluviométrie dans la zone se situe autour de 605 mm par an. Le graphique N° 1 ci-dessous donne un aperçu des hauteurs d'eau depuis 2006.

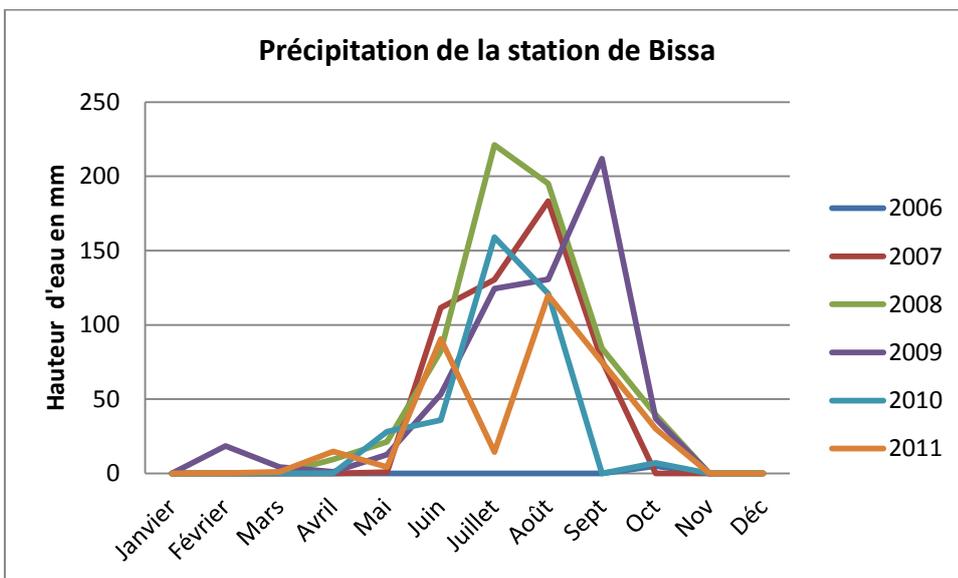


Figure 1: Evolution des précipitations de la station de Bissa de 2006-2011

3.3.1.2. TEMPERATURE, EVAPORATION ET HUMIDITE

La moyenne minimale de température enregistrée à la station météorologique de Bissa était de 17,54° C pour la période de 2006 – 2008 tandis que la maximale moyenne se stabilisait à 39,94°C. Le Tableau 1 ci-dessous donne des indications y relatives. Pour ce qui est de l'évaporation annuelle moyenne, elle est de l'ordre de 3561 ml. L'humidité relative minimale quant à elle varie entre 9,5% et 39%, tandis que celle maximale oscille de 36% et 99,5% dans le site de Bissa.

Tableau 1: Situation des moyennes des températures à Bissa de 2006 – 2008

Température (°C)	Mois											
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
Minima	10,15	12,90	15,95	21,15	23,85	21,90	19,80	20,31	20,80	17,90	14,20	11,83
Maxima	36,45	40,60	42,50	44,20	43,75	41,30	37,05	35,55	40,40	40,93	39,73	37,80
Moyenne	23,30	26,75	29,22	32,67	33,80	30,94	27,76	26,50	27,73	29,41	26,96	24,81

Source : Jilbey Burkina Sarl, 2010

3.3.1.3. SITUATION DES VENTS

La zone d'étude connaît deux régimes de vents dont la première dominante de secteur Nord-est à Est correspond à l'incursion de l'harmattan soufflant pendant la saison sèche d'Octobre à Avril. La seconde dominante de secteur Sud-ouest à Ouest est liée à la circulation d'air humide de la mousson provenant de l'océan pendant la saison des pluies qui s'étale de Mai à Septembre. Du fait de la variabilité de cette saison humide d'une année à l'autre, les pluies sont aussi très irrégulièrement réparties dans le temps et l'espace.

La moyenne annuelle de la vitesse des vents est de 2,02 m/s ; cependant, elle peut atteindre 8,9m/s pendant la saison de pluie à cause des vents violents.

3.3.2. Données physiques

3.3.2.1. TYPES ET OCCUPATIONS DES SOLS

Cinq types de sols ont été répertoriés dans la zone du projet avec des niveaux de fertilité variés et des risques d'érosion plus ou moins prononcés. La situation est présentée dans le Tableau 2.

Tableau 2: Situation des types de sols de la zone

Types de sols	Classe de fertilité	Risque d'érosion	Risque d'inondation
Sols bruns eutrophes peu évolués (sols riches)	Bas	Moyen	Nul
Sols peu évolués d'érosion régosoliques	Nul	Elevé	Nul
Sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphes	Bas	Elevé	Faible
Sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux (sols appauvris)	Bas	Moyen	Nul
Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds	Bas	Moyen	Faible
Lithosols sur cuirasse ferrugineuse et roches diverses	Nul	Elevé	Nul

Source : Jilbey Burkina Sarl, 2010

Pour ce qui est de l'occupation même des sols, l'on peut noter que la zone de l'emprise du projet d'exploitation minière de Bissa- Zandkom est très faiblement occupée du fait des effets de la désertification qui limitent la production agricole.

En termes d'exploitation, l'agriculture est l'activité dominante des populations de la région. Elle est de type extensif et pratiquée sur des terres peu fertiles avec un très faible niveau de mécanisation. Suivant des levés topographiques des champs à Bissa et à Imiougou, on peut estimer les superficies moyennes des champs entre 0,07 ha à 14,40 ha par ménage.

Sur ces exploitations agricoles sont cultivés des céréales et légumineuses telles que le petit mil, le sorgho, l'arachide et le niébé en culture pure. Sont aussi pratiquées des associations de cultures comme sorgho et mil, voandzou, sésame et maïs dans les champs de maison. Du fait du déficit pluviométrique (500 à 800 mm d'eau par an) dans la zone, les rendements en céréales varient aussi d'une année à l'autre.

La pratique de l'élevage est l'activité de second rang et concerne celui des bovins, ovins, caprins, et d'asins. Les espaces non exploités en agriculture sont des lieux communautaires de pâturage et de transhumance du cheptel animal domestique comme c'est le cas à Sabcé.

Avant l'implantation du projet, l'orpaillage était une activité aussi répandue dans la zone surtout dans les villages de Bissa, Zandkom et Imiougou. Il était pratiqué aussi bien par les habitants des villages voisins que des chercheurs d'or venus d'autres villages à travers le pays. Cette activité connaît la participation de tous les acteurs du monde rural à savoir les hommes, les femmes et aussi les enfants.

Deux principaux types d'habitats sont rencontrés dans la zone à savoir :

- *l'habitat mossi*, le plus répandu dans la commune. Il est caractérisé par un groupe de cases rondes construites en banco et au toit en chaume. Ces cases sont disposées en cercle autour d'une cour centrale où vivent plusieurs ménages ;
- *l'habitat peulh*, qui répond au caractère nomade de ce groupe ethnique. Il est entièrement réalisé en matériau précaire que sont les rameaux, tiges et pailles.

Dans le cadre de la gestion du foncier, c'est le système foncier traditionnel mossi qui est pratiqué. Dans ce mode de gestion rural, la terre est d'abord un bien communautaire dont la responsabilité est confiée au «chef de terre» appelé *Tengsoba*, qui en est le garant spirituel. C'est ensuite un bien de production qui est traditionnellement réparti entre les familles autochtones ou fondatrices de chaque village et qui se transmet par héritage à l'intérieur du lignage mâle. En tant que bien de production à caractère sacré, la terre ne peut en principe être vendue. Ce sont les limites territoriales de chaque *Tengsoba* qui définissent la notion de terroir traditionnel ou finage. Ces limites sont intangibles, mais reconnues et respectées par les villages voisins.

Les installations et infrastructures de la Société minière sont implantées sur les terroirs des occupants traditionnels et des familles autochtones des villages de Bissa, Imiougou et Tibin.

3.3.2.2. RESSOURCES EN EAUX

Le bassin versant du fleuve Nakambé, d'une superficie de 50 000 km² constitue le principal réseau hydrographique de la zone du projet. Il comprend deux principaux lacs que sont le lac Bam et celui de Bourzanga. L'écoulement des eaux de surface de la région est intermittent car dépendant de la saison des pluies. En effet, les eaux coulent abondamment de juin à juillet et cessent de couler à partir du mois d'octobre dès la fin des pluies.

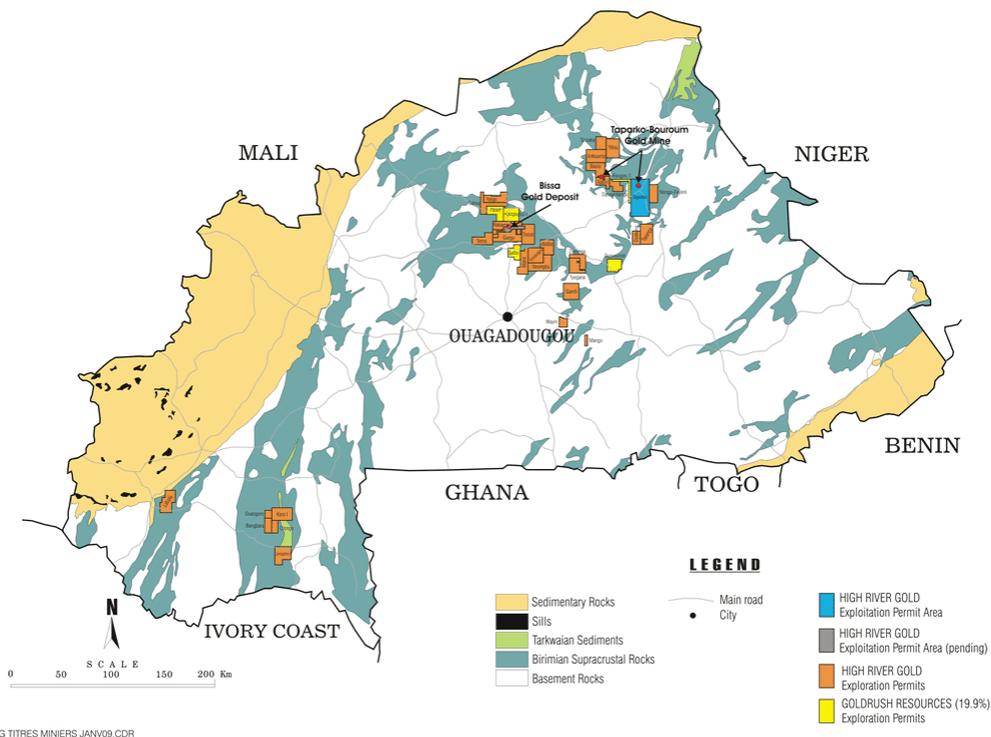
Les besoins en eaux potables pour les utilisations domestiques et l'abreuvement du cheptel, sont fournis à partir des forages, des puits à grand diamètre (cimentés) et des puits traditionnels. Dans une certaine mesure, l'approvisionnement en eau est aussi assuré dans les mares, les retenues d'eau et les plans d'eau existants. La mine a construit un barrage à Tiben dans le cadre de ses activités. Ces eaux de surface ne sont pas considérées comme potables et nécessiteront un traitement pour mettre la qualité au niveau des normes potables. Notons que le barrage a connu un débordement en amont pendant la saison des pluies, ce qui a causé des désagréments aux populations installées aux abords.

Pour ce qui concerne les eaux souterraines, on distingue trois types d'aquifères caractérisés par différents paramètres hydrodynamiques dans la zone du projet à savoir :

- la carapace et la cuirasse latéritique qui forme un aquifère superficiel avec une épaisseur moyenne saturée de 2 m. C'est un aquifère limité et vulnérable du fait qu'il dépend d'une alimentation continue par la pluie ;
- l'ensemble saprolite qui peut, grâce à sa forte porosité constituer, un aquifère important ; cependant, sa faible perméabilité limite toutefois ses réserves exploitables. Son épaisseur varie en fonction de la nature du socle, elle est très importante dans les terrains schisteux, soit 42 m en moyenne. Ce sont ces ressources en eau qui sont captées par les puits traditionnels ou busés ;
- la zone des fissures et des fractures qui draine directement ou indirectement ;
- la nappe d'altération argileuse. Les différents réseaux de fractures sont interconnectés car dépendant de la géométrie des fissures et des fractures. Cette zone peut induire un écoulement régional parfois important. La pérennité de ce type d'aquifère est déterminée par la continuité de l'alimentation à partir des altérites et de la communication des différents réseaux de fractures.

3.3.2.3. GEOLOGIE DU SITE

La géologie de la région de Bissa-Zandkom est considérée comme similaire à d'autres séquences volcano-sédimentaires d'âge birrimien. La région présente un potentiel pour les dépôts orogéniques hydrothermaux, lesquels sont typiquement reliés à un ensemble régional de zones de failles majeures. Ainsi, aux réseaux organisés de veines de quartz et/ou de sulfures est associée la minéralisation aurifère. La carte N°2 présente un aperçu des formations géologiques du Burkina et les propriétés de High River Gold.



Carte N° 2 : Carte géologique du Burkina Faso (<http://www.hrg.ca/s/Bissa.asp>)

3.3.3. Données biologiques

3.3.3.1. FLORE

Une étude descriptive de la végétation (GENIVAR, 2008) réalisée dans la zone du Projet a identifié 04 types de végétation sur les six que comporte le domaine phytogéographique Sud Sahélien. Il s'agit de :

- une savane arbustive couvrant 43,54% de la superficie communale soit, 14 760,60ha ;
- une savane herbeuse occupant 11,70% de la superficie communale, soit 3 964,87ha ;
- une steppe arbustive couvrant 0,38% de la superficie communale, soit 128,40ha ;
- une petite steppe arborée s'étendant sur une superficie de 16,99ha.

La zone d'étude se caractérise par un couvert végétal peu abondant, dont le niveau de densité varie d'une zone à l'autre.

Les espèces ligneuses rencontrées sont entre autres *Combretum micranthum*, *Guiera senegalensis*, *Vitellaria paradoxa*, *Ziziphus mucronata*, *Combretum nigricans*, *Faidherbia albida*, *Lannea microcarpa*, *Mitragyna inermis*, *Boswellia dalzielii*, *Piliostigma reticulatum*, *Boscia senegalensis*, *Acacia laeta*, *Acacia seyal*, *Combretum glutinosum*, *Feretia apodanthera*, *Gardénia sokotensis*, *Pterocarpus lucens*, *Acacia ataxacantha*, *Caparis sepiaria*, *Dalbergia melanoxydon* et *Diospyros mespiliformis* etc.

Les espèces herbacées rencontrées sont principalement *Elionurus elegans*, *Eragrostis trémula*, *Panicum laetum*, *Pennisetum pedicellatum*, *Cenchrus biflorus*, *Loudethia togoensis*, *Cymbopogon schoenanthus*, *Ctenium newtonii* et *Ctenium elegans*, *Aristida adscensionis*, *Cassia tora*, *Echinochloa colona*, *Panicum laetum* etc.

3.3.3.2. FAUNE

La ressource faunique de la zone est peu abondante non seulement du point de vue des effectifs mais surtout de la diversité des espèces du fait de plusieurs facteurs notamment la forte pression anthropique, le braconnage et la forte dégradation de l'habitat des animaux (notamment par le défrichage, les feux de brousses, etc.). On note cependant la présence de quelques petits mammifères, des reptiles et de l'avifaune.

Les mammifères sont aujourd'hui représentés par des *Lepus capensis*, *Erinaceus albiventris*, et *Erythrocepus patas patas*. La présence probable d'autres espèces a été signalée. Il s'agit de *Oryzomys affinis*, *Phocochoerus africanus*, *Crocuta crocuta*, *Felis silvestris*, *Melivora capensis*, *Genetta genetta senegalensis*, *Leptailurus serval* etc.

La faune aviaire est la plus abondante dans la zone d'étude. Cependant, certaines populations sont aujourd'hui en déclin à cause la destruction des habitats, les pesticides et le braconnage. Il s'agit de: *Numenius meleagris*, *Fringilla bicalcaratus*, *Eupodotis melanogaster*. D'autres par contre sont omniprésents comme : *Streptopelia sp.*, *Lamprolaima sp.*, *Tockus erythrorhynchus* et *Tockus nasutus*, *Corvus albus*, *Ploceus cucullatus* etc.

3.4. DESCRIPTION DE QUELQUES ACTIVITES DU PROJET

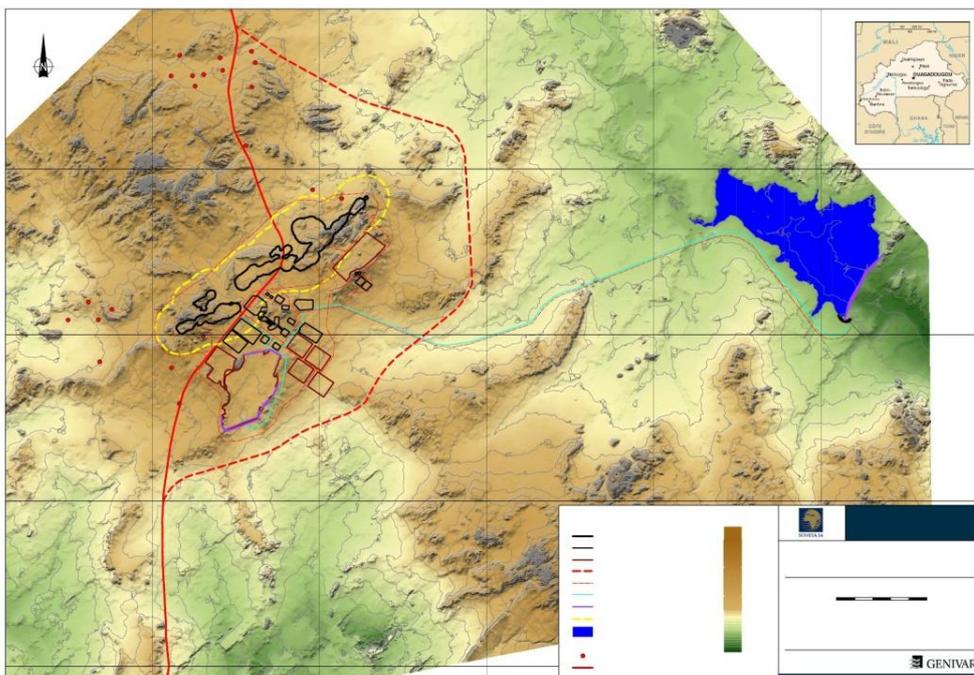
3.4.1. Phase de construction du site

Cette phase concerne la mise en place des différents compartiments de la mine. Pour ce projet, les différentes composantes sont les fosses d'extraction, les aires de stockage et de traitement du minerai, le parc à résidus et des haldes à stériles. Il y a également d'autres installations comme la

centrale électrique, une base vie avec une station de traitement et d'épuration d'eau ainsi qu'un barrage construit à Tiben pour l'approvisionnement en eau de l'usine.

Les populations ont été réinstallées dans leur site pour laisser place aux travaux de découverte, de décapage et d'excavation. Les deux bases vies ont été construites près de l'usine de traitement comprenant deux cantines, un centre de loisirs, des sanitaires et un magasin. L'eau courante est assurée par un forage et l'électricité par un ensemble de groupes électrogènes installés.

Un parc à résidus est en court de construction pour accueillir les résidus de traitement des minerais. Il est situé au Sud-Ouest de la zone des fosses à ciel ouvert. Des pistes d'accès sont aussi construites. La phase de construction de la mine est à un stade très avancé et les grands travaux tirent bientôt à leur fin pour permettre le début du traitement des minerais excavés du fait que les travaux d'extraction et de construction sont simultanés. Le plan général de la mine est présenté par la Carte N°3 ci-dessous.



Carte N°3 : Plan général de la zone du Projet Bissa-Zandkom

3.4.2. Phase d'exploitation

Elle comporte un choix de méthode d'exploitation, un ensemble d'opérations à réaliser avec des équipements adéquats.

3.4.2.1. METHODE D'EXPLOITATION

Les ressources minières de Bissa Gold sont extraites suivant la méthode d'exploitation à ciel ouvert. Elle comprend entre autres les travaux de découverture, d'implantation de la fosse, les travaux de forage et dynamitage, d'abatage, d'excavation, de chargement, de concassage, de broyage, classification, criblage, cyanuration, séparation et extraction du minerai.

L'extraction du minerai se fait en bancs à profondeurs variées suivant chaque carrière avec une inclinaison moyenne des parois. Le chargement des camions est assuré par une combinaison d'une pelle hydraulique à godets de 10 m³, et de deux chargeuses sur pneus de 14,5 m³. Une flotte de 8 camions de 90 tonnes (100 tonnes courtes) est utilisée. Cette flotte comprend aussi une niveleuse pour l'entretien des routes, deux boteurs (bulldozer) sur chenilles, pour faire les attaques au sol, la préparation des fronts de taille, la gestion des haldes à stériles et de la pile-tampon de minerai, la construction des routes et le maintien des pentes. Un boteur sur pneus est aussi prévu pour l'entretien des planchers de banc.

D'autres équipements d'appui composés d'un camion à eau pour le contrôle des poussières et le lavage des fronts de tailles, d'un camion-citerne pour le ravitaillement de carburant, d'un véhicule d'entretien/lubrification et d'un camion de service articulé pour le changement des pneus sont utilisés.

Le système de traitement du minerai sera basé sur le procédé d'extraction chimique par lixiviation au charbon activé qui implique un broyage fin du minerai, suivi de la mise en solution de l'or dans des réservoirs agités en présence de charbon activé, pour l'adsorption de l'or.

La cyanuration par charbon en lixiviation (« Carbon-in-Leach – CIL ») aussi lixiviation au charbon activé, sera utilisée pour traiter autant les minéralisations oxydées que celles contenant des sulfures, comme on en trouve en profondeur.

Les réactifs prévus sont notamment la chaux, le cyanure, la soude caustique, l'acide chlorhydrique et le charbon activé. Ce sont des produits chimiques typiques, plus adaptés et les plus simples pour récupérer l'or. Il y a aussi de l'hypochlorite de calcium sera stocké et utilisé pour la décontamination de sites en cas de pollution accidentelle ainsi que pour traiter les eaux du procédé qui pourraient être déversées dans la nature.

La figure 2 donne un aperçu du processus de métallurgie extractive allant du minerai au métal.

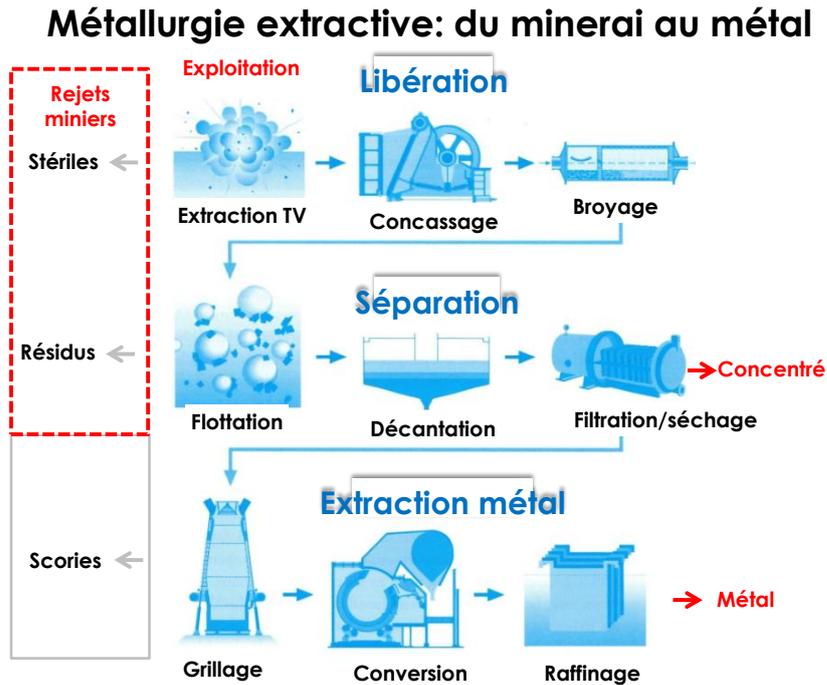


Figure 2 : Aperçu de métallurgie extractive : du minerai au métal (HAKKOU, 2012)

3.4.2.2. DENOYAGE DE LA MINE

Les eaux météoriques et les eaux souterraines d'infiltration sont récoltées dans des bassins construits au fond des carrières. Dans le cas du gisement de Bissa-Zandkom, l'exhaure doit être dirigée vers un bassin de sédimentation avant d'être rejeté dans la nature. Pour l'instant, ce dispositif n'est pas encore fonctionnel. Ces eaux pourront être utilisées dans le procédé de traitement du minerai ou pour l'arrosage des voies d'accès en vue de l'abattement des poussières.

Selon les résultats des analyses des échantillons d'eau souterraine prélevés sur le site du projet, il n'y a pas de problème majeur lié à la qualité des eaux. Cependant, par mesure de précaution, elles devront être traitées avant leur rejet dans la nature. Le contrôle des concentrations doit être effectif afin de s'assurer du respect des normes de rejet. Par exemple la norme de rejet de l'arsenic est de 0,1 mg/l selon la Banque Mondiale.

3.4.2.3. DISPOSITION DU SOL, DES MORTS-TERRAINS ET DES STERILES

Les stériles issus du décapage des fosses sont surtout composés de mort-terrain (latérite, d'argilite et de saprolite). Environ 60,3 millions de tonnes de stériles seront répartis entre les 02 mises à terrils. Ces roches stériles seront entassées en des haldes à composition cellulaires, à proximité des fosses.

Les deux haldes de stériles seront localisées à proximité des fosses, du côté sud, dans de petits

vallons qui pourront être drainés soit vers une fosse (côté nord et est des talus), soit vers le parc à résidus miniers (côté sud et ouest du talus).

Ces haldes seront compartimentées de façon à assurer une certaine ségrégation des matériaux. Ainsi sera-t-il possible d'utiliser une partie de la latérite et de la saprolite décapée pour des usages tels que les fondations des chemins de halage (latérite) ou la construction des digues (saprolite). Certaines roches stériles non-génératrices d'acide pourront aussi être utilisées comme granulats pour fondation et béton.

Le compartimentage des stériles permettra aussi, le cas échéant, d'enclaver les résidus ayant un potentiel de génération d'acide par des piles d'argilite. Ces cellules pourraient être recouvertes ultimement par du mort-terrain argileux. Les empilements sont prévus sur 20 m de hauteur, avec une pente de talus de 26,5°.

La terre végétale aux endroits des fosses sera enlevée et accumulée en un site de disposition spécifique. Ce matériel servira à la réhabilitation du site minier à la fin des opérations.

Chaque zone d'entreposage des stériles sera réhabilitée et revégétalisée de façon progressive en utilisant la terre végétale, les horizons superficiels des sols ou de la saprolite obtenus au niveau des carrières ou d'autres sites. En fin d'exploitation ou de construction d'une des zones d'entreposage des stériles, ce substrat pourra être réparti, selon les besoins, en une couche de 50 cm d'épaisseur à la surface de l'ouvrage à revégétaliser.

A cause de la séquence d'exploitation du minerai et la possibilité d'entreprendre à terme des travaux de forages en profondeur, qui permettraient d'évaluer une extension potentielle des réserves, il n'est pas possible d'envisager, à ce stade, un remblaiement partiel des carrières par les stériles. Finalement, il est important de noter qu'un remblaiement des carrières en fin d'exploitation rend généralement ce genre de projet économiquement non viable.

3.4.2.4. CONTROLE DES EAUX D'ÉCOULEMENT

Des fossés de dérivation, des canaux d'écoulement, des bassins de sédimentation et des ouvrages de franchissement seront construits pour limiter l'entrée des eaux d'écoulement dans la zone d'activité minière et plus particulièrement à l'intérieur des carrières.

Des travaux de terrassement seront effectués à l'avance afin de minimiser le phénomène d'érosion des sols et d'assurer un drainage effectif des zones de stériles, des zones de stockage du minerai et des différentes routes de transport et voies d'accès.

IV. MATERIELS ET METHODE

4.1.METHODOLOGIE DE RECHERCHE

La démarche métrologique suivie pour l'exécution des travaux de recherche s'articule autour de plusieurs axes décrits dans les lignes ci-dessous.

4.1.1. Rencontre de prise de contact et de cadrage de l'étude

Elle a permis au stagiaire de rencontrer et d'échanger avec les responsables du Service Environnement de Bissa Gold pour une meilleure connaissance et des orientations sur le thème notamment les objectifs, et les résultats attendus de l'étude ainsi que du chronogramme de travail. Ainsi la partie sur la carrière qui était incluse dans le thème initial a été supprimée pour permettre de centrer la réflexion sur les haldes à stériles, suivant les orientations du service d'encadrement.

4.1.2. Recherches bibliographiques

Cette étape a consisté à la compilation de la documentation disponible sur le thème : textes législatifs et réglementaires en vigueur au Burkina Faso et au plan international. Elle s'est poursuivie au sein de Bissa Gold et auprès de certaines structures du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) comme le Bureau National des Evaluations Environnementales (BUNEE). Nous avons également consulté divers documents relatifs au sujet traité à travers le Net et les cours reçus au 2ie.

4.1.3. Entretiens

Plusieurs séries d'entretiens ont eu lieu avec des services de Bissa Gold notamment le Service Environnement et celui de la Géologie afin de recueillir des informations et de la documentation relatives à leurs activités et celles concernant le thème traité. Deux guides d'entretiens ont servi aux échanges.

4.1.4. Visite de terrain

Des sorties de terrain ont été organisées pour nous permettre de visiter les différentes installations (carrière, haldes, usine, bassin de résidu, base-vie administration, barrage etc). Ce sont des observations directes effectuées sur les différents secteurs de la mine. L'objectif recherché étant de compléter non seulement les données de base recueillies à l'avance, mais aussi de valider certaines informations collectées au cours des entretiens.

Nous avons également effectué une visite à la mine d'or de Taparko qui appartient au même

promoteur. Cela a été possible grâce à la diligence du Chef de Service Environnement de la mine, afin de nous permettre de visualiser les effets d'une mine en pleine exploitation car celle de Bissa Gold est en phase de construction, et ne permet pas de voir certains aspects. Ce fut une sortie bénéfique qui nous a permis d'accroître notre expérience.

4.1.5. Exploitation, analyse des données et rédaction du mémoire

Cette étape a consisté au traitement et à l'analyse des données récoltées sur le terrain et pendant la recherche documentaire afin de renseigner le mémoire. Nous avons utilisé l'outil informatique pour traiter et analyser les données de terrain. Ceci a été rendu possible grâce à l'utilisation de logiciels spécialisés tels qu'EXCEL pour la réalisation des graphiques et WORD pour le traitement de texte. Le traitement des données a permis de connaître la situation des haldes à stériles de la mine d'or de Bissa Gold et de proposer un plan pour leur réhabilitation.

4.2.MATERIELS UTILISES

Pour mener à bien nos travaux de recherche, nous avons eu à utiliser divers outils et matériels composés principalement :

- d'un appareil photo numérique (PENTAX) pour des prises de vues ;
- d'un ordinateur portable, des clés USB et des logiciels pour l'enregistrement, la collecte, le traitement et l'analyse des données ainsi que pour la finalisation du mémoire ;
- un véhicule de déplacement sur le terrain ;
- une fiche de questionnaires pour les entretiens ;
- des équipements de protection individuels (EPI) à savoir un casque, des lunettes, un gilet fluorescent et des chaussures de sécurité dont le port est obligatoire sur le site.

V. RESULTATS ET DISCUSSION

5.1. PRESENTATION DES RESULTATS

5.1.1. Capacité de production et composition des haldes à stériles

La méthode d'exploitation retenue pour le Projet est par fosse à ciel ouvert, selon une cadence moyenne de 4 000 t/j pour le minerai et de 27 000 t/j de stérile soit une production de minerai de 1 400 000 t/an et de stériles de l'ordre de 9450 000 t/an. Si l'on tient compte de la durée de vie de la mine qui est de 6,75 ans, la production totale de minerais serait à 9 100 000 t contre 61 425 000 t de stériles.

Les types de roches rencontrées sont les roches volcaniques mafiques, les roches sédimentaires clastiques, les granites, les diorites, les grès, et les argilites. La minéralisation aurifère est typiquement associée à des réseaux organisés de veines de quartz et/ou de sulfures.

5.1.2. Capacité de stockage des haldes à stériles

Une halde à stérile sur les deux prévues par l'EIE est entrain d'être mise en place et couvrira une superficie de 86,5 ha. Elle servira à stocker les 61 425 000 t de stériles durant la vie de la mine. Ces dimensions seront de 2100 m de longueur, 420 m de largeur et 55 m de hauteur. Elle est à proximité des fosses, du côté sud, dans de petits vallons qui pourront être drainés soit vers une fosse (côté nord et est des talus), soit vers le parc à résidus miniers (côté sud et ouest du talus).

5.1.3. Méthodes de réhabilitation prévues par l'EIE

5.1.3.1. REHABILITATION PHYSIQUE

Ces haldes seront compartimentées de façon à assurer une certaine ségrégation des matériaux. Ainsi sera-t-il possible d'utiliser une partie de la latérite et de la saprolite décapée pour des usages tels que les fondations des chemins de halage (latérite) ou la construction des digues (saprolite). Certaines roches stériles non-génératrices d'acide pourront aussi être utilisées comme granulats pour fondation et béton. Le compartimentage des stériles permettra aussi, le cas échéant, d'enclaver les résidus ayant un potentiel de génération d'acide par des piles d'argilite. Ces cellules pourraient être recouvertes ultimement par du mort-terrain argileux.

Le sol organique (terre végétale) aux endroits des fosses sera enlevé et accumulé en un site de disposition spécifique. Ce matériel servira à la réhabilitation du site minier à la fin des opérations. A cause de la séquence d'exploitation du minerai et de la possibilité d'entreprendre à terme des travaux de forages en profondeur, qui permettraient d'évaluer une extension potentielle des réserves, il n'est pas possible d'envisager, à ce stade, un remblaiement partiel des carrières par les stériles.

5.1.3.2. REHABILITATION BIOLOGIQUE

Chaque zone d'entreposage des stériles sera réhabilitée et revégétalisée de façon progressive en utilisant la terre végétale, les horizons superficiels des sols ou de la saprolite obtenus au niveau des carrières ou dans d'autres sites seront accumulés et stockés à part. En fin d'exploitation ou de construction d'une des zones d'entreposage des stériles, ce substrat pourra être réparti, selon les besoins, en une couche de 50 cm d'épaisseur à la surface de l'ouvrage à revégétaliser. Le contrôle de l'érosion par la limitation de la déforestation, la gestion des eaux de ruissellement, la limitation des pentes des ouvrages, etc. sera assuré en permanence. Un responsable de l'environnement assisté d'un personnel d'appui seront chargés de l'exécution du programme de revégétalisation à travers la production de matériel végétal et sa transplantation sur les zones à réhabiliter.

Il est prévu l'amendement des surfaces pour l'augmentation de la fertilité des sols ; l'utilisation de terre végétale pour l'épandage sur les surfaces à revégétaliser. En outre une construction et une gestion appropriée de la zone des stériles, en cours d'exploitation, permettront de réduire considérablement l'effort qu'il sera nécessaire d'investir pour la réhabiliter. Une conception adaptée du plan de réhabilitation permettra de commencer la réhabilitation dès les premières années d'exploitation.

5.2. ANALYSE DES RESULTATS

5.2.1. De la composition de la halde à stériles

Selon les résultats de l'étude d'impact environnementale (GENIVAR, 2008) les ressources minérales de Bissa Gold ont été identifiées sur une zone d'à peine 6 km le long d'une structure minéralisée nommée « Corridor de déformation Sabcé ». Cette structure régionale de cisaillement (Sabcé) s'étire sur plus de 30 km à l'intérieur du groupe Bissa. On y retrouve des minéralisations aurifères associées à des sulfures et des veines de quartz, à l'intérieur d'un ensemble volcano-sédimentaire déformé et fortement altéré.

La présence de minerais sulfureux pourrait être à l'origine d'un risque de production de drainage acide minier (HAKKOU, 2011). Afin de déterminer ce potentiel acide, une étude sur les caractéristiques de la roche stérile a été effectuée par le laboratoire de l'Unité de Recherche et de Service en Technologie Minérale (URSTM) de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue au Canada en 2007 (MONTCHEBON, 2011). Les échantillons de roche en provenance des différents gisements ont été analysés par des tests statiques, conformes aux normes internationales. La méthode utilisée a été basée sur des tests statiques conformes aux normes de l'agence Américaine de Protection de l'Environnement. Le potentiel net de

neutralisation (PNN) a été déterminé comme la différence entre le potentiel acide maximal (PAM) et le potentiel de neutralisation (PN). Le ratio PN/PAM a aussi été calculé et le résultat présenté dans le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3: Résultats des analyses du DMA

Echantillon	Stotal	Ssulfate %	Ssulfure %	PA (kgCaCO 3/t)	PN (kgCaCO 3/t)	PNN (kg CaCO 3/t)	Ratio PN/PA
213905(#U4337)	0,934	0,096	0,838	26,2	160	134	6,11
213910(#U4338)	0,461	0,096	0,365	11,4	161	150	14,1
213943(#U4339)	0,878	0,058	0,82	25,6	73,7	48,1	2,88
259111(#U4340)	2,93	0,062	2,87	89,6	41,9	-47,7	<u>0,468</u>
259528(#U4341)	0,188	0,136	0,052	1,63	155	153	95,4

Source : Jilbey Burkina Sarl, 2010

Seul l'échantillon 259111 (#U4340) a un ratio égal à 0,468 donc au-dessous de 2,5 qui est la valeur limite au-dessous de laquelle on se trouverait dans une zone d'incertitude. Cet échantillon pourrait potentiellement produire des drainages acides (K. Adam., 2001).

Selon NSHAGALI (2011), plus l'excavation va en profondeur, plus l'on pourrait atteindre des roches comportant des sulfures (dominance de pyrite, des traces de pyrrotites, de galènes, chalcopyrites, arsénopyrite...) sous divers morphologie (disséminé, cristal, veinule...) augmentant ainsi le risque d'une éventuelle production de DMA à partir de l'exposition en surface des roches extraites en profondeur.

Suivant les recommandations du cabinet GENIVAR, des tests de potentiel acide doivent être effectués en cours d'exploitation et principalement sur des échantillons de stériles au fur et à mesure de leur extraction des carrières ; ceci permettra d'avoir une maîtrise de la situation et de prendre des mesures appropriées en cas de risque avéré.

Selon le mécanisme de la formation du DMA (combinaison roches sulfureuses, oxygène, eau...), la réunion des facteurs de déclenchement du DMA semble faible eu égard aux conditions climatiques de la zone du projet qui se trouve dans une zone à faible pluviométrie, ce qui indique le manque d'eau, défavorable à la formation du DMA. Cependant, les sulfates solubles formés, par évaporation d'eau, dans un environnement semi-aride peuvent stocker les métaux et l'acidité durant les périodes sèches et ensuite les relarguer pendant la saison humide. Ce cycle peut engendrer des variations saisonnières pour les concentrations en métaux et avoir un impact sur l'environnement (HAKKOU, 2005).

De ce fait, et compte tenu des changements climatiques avec ses conséquences de sécheresses alternées aux inondations dans les zones arides, l'on n'est pas à l'abri des surprises désagréables comme ce fut le cas en 2009 au Burkina Faso et au Mali et dans d'autres villes de la sous région comme le Sénégal et le Niger en 2012. Tous ceux -ci concourent à prendre au sérieux ce risque à travers la réalisation d'analyses plus approfondies et des mesures de prévention fortes. De plus cela pourrait entraîner une pollution de la nappe souterraine du fait qu'il existe par endroit une carapace et une cuirasse latéritique qui forme un aquifère superficiel avec une épaisseur moyenne saturée de 2 m. C'est un aquifère limité et vulnérable du fait qu'il dépend d'une alimentation continue par la pluie.

5.2.2. De la Capacité de stockage de la halde à stériles

L'espace qui sera occupée par la halde à stériles couvre une superficie de 86,5 ha. S'étalant sur une distance de plus de 2 km et à une hauteur de plus de 55 m contrairement au 20 m prévus par l'EIE, cette halde formera une chaîne de colline qui s'intégrera dans le paysage de la zone. Bien que cela constitue une pollution visuelle, son impact est négligeable du fait du paysage collinaire du site avant l'implantation de la mine. Cependant, vue sa hauteur, des problèmes de stabilité de la halde pourraient subvenir si des dispositifs de stabilisation et de sécurisation ne sont pas mis en place. Si l'on compare ses dimensions à celle de la mine d'or de Inata (YAYE, 2011), leur hauteur se limite à 40 m avec des dépôts à trois niveaux pour plus de sécurité. Un modèle d'empilement des stériles devrait donc être adopté pour sécuriser et stabiliser les haldes afin de lutter contre l'érosion hydrique. Sans une maîtrise des eaux de ruissèlement, ces écoulements chargés de boues et de débris contribueront à polluer les eaux de surfaces comme celles souterraines et cela sera préjudiciable à la vie humaine, animale et aquatique.

5.2.3. Des méthodes de réhabilitation

Nonobstant les effets néfastes de dégradation de la couverture végétale, il existe bien des moyens qui peuvent contribuer à les réduire, atténuer ou compenser. La méthode d'exploitation à ciel s'accompagne toujours de la perte de la faune et de la flore dont le défi à relever dans la réhabilitation serait de ramener " la vie " sur ces terres impropres à toute activité biologique.

5.2.3.1. DES METHODES PHYSIQUES

Le compartimentage permettra d'assurer une bonne ségrégation des matériaux. De même, l'utilisation des stériles à d'autres fins (fondations des chemins de halage, construction des digues, fondation et béton) est une bonne chose cependant des mesures doivent être prises pour

vérifier qu'elles ne sont pas sulfureuses pour être source de production de DMA, suite à leur exposition à l'air ambiant et la pluie.

Le sol organique (terre végétale) aux endroits des fosses sera enlevé et accumulé en un site de disposition spécifique et servira à la réhabilitation du site minier à la fin des opérations. Ceci constitue une bonne pratique cependant, l'on doit s'assurer du respect de sa séparation réelle d'avec les stériles. Les superficies à couvrir s'évaluent à plus de 116 ha avec des besoins en terre végétale de plus de 579 600 m³. Si des mesures ne sont pas prises à temps, cela pourrait constituer un manque à gagner et nécessiterait un apport extérieur de terre végétale ce qui n'est pas non plus sans dommage environnementale dans les sites de prélèvements de ce substrat.

En fin d'exploitation ou de construction d'une des zones d'entreposage des stériles, sa recouverture par ce substrat d'une couche de 50 cm d'épaisseur suivant les besoins sur les surfaces des sites à revégétaliser pourrait faciliter la bonne reprise des plants. Cependant des essais de plantations sur des couches de différentes épaisseurs devraient être faits afin d'apprécier la couche de terre nécessaire en fonction des types de stériles et des espèces en présence ; ceci donnera l'avantage de limiter les pertes d'énergie, de économie et de temps.

L'amendement des surfaces pour l'augmentation de la fertilité des sols serait un atout pour accélérer la croissance des plants, cependant des analyses seront nécessaires pour évaluer les besoins nutritifs des espèces à reboiser pour éviter le gaspillage des fertilisants et la pollution des sols par des engrais minéraux. La meilleure option serait la production de compost qui non seulement fertilise le sol mais aussi facilite la formation d'une structure stable du sol.

En outre une gestion appropriée des haldes à stériles pendant l'exploitation, permettra de réduire considérablement l'effort qu'il sera nécessaire d'investir pour les réhabiliter à la fermeture de la mine (KEITA, 2012). Une conception adaptée permettra de commencer la réhabilitation dès les premières années d'exploitation de la mine.

5.2.3.2. DES METHODES BIOLOGIQUES

La recouverture des stériles par la terre végétale et l'incorporation des fertilisants sont les conditions préalables avant toute activité de plantation d'arbres. Cependant, ces conditions ne sont pas suffisantes car le choix des espèces à reboiser, la pluviométrie de la zone en dépendent énormément. L'orientation vers les espèces locales, natives déjà adaptées aux conditions pédoclimatiques de la zone serait un atout vers le succès. Aussi, du fait que ces reboisements se feront à une certaine altitude, et dans une zone de faible pluviométrie, un arrosage d'appoint pourrait être envisagé dès les premières années; car selon des constats faits à la mine d'or d'Inata comme à celle d'Essakane, le taux de reprise des plantations serait inférieur à 15%, ce

qui dénote la pénibilité des actions de reboisement dans les zones arides. En outre, ces plantations doivent permettre en plus des dispositifs mécaniques de contrôler les eaux de ruissellement, d'où l'intégration des espèces herbacées dans le choix des plantes à reboiser. Ces espèces pourraient être disponibles à travers l'installation d'une pépinière.

VI. PROPOSITION D'UN PLAN DE REHABILITATION DES HALDES A STERILES

6.1. OBJECTIFS ET PRINCIPES DE LA REHABILITATION

La remise en végétation des anciens sites miniers doit avoir pour but, outre la régulation des débits hydriques et la lutte contre toutes les pollutions, celui de restaurer à terme des écosystèmes spécialisés propres à rétablir une diversité floristique égale à celles des écosystèmes initiaux. Pour cela, la végétalisation doit s'apparenter, comme souligné par Bradshaw (1983), à une reconstitution des écosystèmes. Quelque soit le pays, les principes de la réhabilitation restent les mêmes :

- limiter l'érosion des sols grâce à une bonne gestion des eaux et une compaction des sols.
- tirer rapidement profit des potentialités biologiques du sol de couverture, pallier les carences nutritives, favoriser la germination ou l'implantation des plantes, choisir des espèces adaptées (pionnières ou natives) au milieu concerné et pouvant être associées.

6.2. MESURES PRECONISEES POUR LA PREVENTION DU DMA

En sus des analyses ci-dessus évoquées, certaines pratiques peuvent contribuer à la prévention d'une éventuelle formation de DMA dont en voici quelques unes :

6.2.1. Dilution

C'est une pratique qui consiste à faire un mélange de stériles de roches sulfureuses en couches alternées avec les stériles oxydées ou neutres. Sur une couche de roches stériles sulfureuses, l'on dépose une couche de stériles oxydées, puis une couche de saprolite jusqu'à la hauteur de la halde. Cette pratique peut permettre de confiner les roches sulfureuses à l'abri de l'air et de l'eau d'infiltration, facteurs déclencheurs de DMA. La figure 3 donne une illustration de l'empilement des différentes couches.



Figure 3 : Disposition alternée des différentes couches de stériles

6.2.2. Construction d'ouvrages de réception des eaux de ruissèlement

Elle consiste à concevoir et construire des couvertures et des ouvrages, de canalisation des eaux de ruissèlement et des eaux issues des haldes vers des bassins de traitement avant le rejet des excédents dans la nature.

6.2.3. Modification des techniques d'extraction et de traitement des minéraux

Elle pourrait se faire en adoptant d'autres méthodes d'extractions autres que celle à ciel ouvert pour les minerais à hautes teneurs de sulfures et d'autres techniques de traitement à savoir l'extraction par gravité ou flottation en lieu et place de la cyanuration.

6.3. REHABILITATION PHYSIQUE DES HALDES A STERILES

Afin de modérer les coûts liés à la réhabilitation, et surtout avoir une maîtrise des actions à réaliser, il serait plus judicieux d'opter pour une réhabilitation progressive qui concerne des superficies limitées à restaurer par an. C'est le principe retenu par Bissa Gold conformément à la politique environnementale consignée à l'Annexe III. Quelques techniques sont ici proposées.

6.3.1. Régalage

Il consiste à l'épandage et au nivellement des tas de stériles à l'aide d'un boueur sur chenille pour disposer d'une surface plus ou moins plane en vue des actions de revegetalisation. Cette action a pour but d'assurer un bon compactage du sol afin d'éviter les éboulements et effondrements des haldes au fil du temps. Les gros blocs sont déplacés et repositionnés puis recouvertes par les matériaux de faibles granulométries. Dans le cadre de la mise en œuvre des mesures de prévention du DMA, des couches alternées de roches sulfureuses seront mélangées avec des roches oxydées ou neutres. Un bon planning doit permettre un nivellement progressif et la formation alternée couches de stériles. Une illustration est faite par la photo 6 placée en Annexe IV qui donne un aperçu des travaux de nivellement des stériles d'une halde dans la mine d'or de Morila au Mali.

6.3.2. Apport de terre végétale

La préparation du sol intègre aussi l'apport de terre végétale pour recouvrir les stériles de roches nivelées. En effet, avant l'exploitation du minerai, la matière organique et la couche de terre végétale ont été enlevées. En vue de la réhabilitation progressive du site, des mesures doivent être prises pour assurer la séparation de cette terre végétale en vue de préserver son potentiel séminal d'avec les stériles de roches et les morts-terrains. Il s'agira alors dans ce cas de

recouvrir celles-ci d'avec une épaisseur minimum de 50 cm de terre végétale. Si cette terre végétale n'a pas été conservée ou se trouve insuffisante, l'on devra procéder à un prélèvement dans un autre terrain, ce qui n'est pas sans conséquence pour l'environnement. L'on pourra également utiliser les boues de station d'épuration pour recouvrir les stériles, cependant, des précautions doivent être prises pour limiter le transfert de polluants. La revegetalisation va concerner les paliers et les surfaces relativement planes avec une pente faible. Pendant cette phase de recouvrement, l'on peut incorporer de la matière organique (Compost, fumier, engrais minérale). Le till doit avoir une épaisseur suffisante pour permettre un bon travail du sol qui doit accueillir les plants. Les photos 7 et 8 illustrent l'épandage de terre végétale sur des stériles nivelées. (cf, Annexe IV)

6.3.3. Stabilisation des pentes de la halde et contrôle de l'érosion hydrique

Les sols nus d'une halde à stérile entraînent une augmentation du ruissellement, de l'érosion et du transport sédimentaire. Ce transport, souvent à l'origine de l'engravement des cours d'eau, peut avoir un impact négatif sur les ouvrages ou installations de prélèvement d'eau existants ou en projet tels les forages et captages d'eau potable ou d'irrigation. Ces ouvrages peuvent être pollués ou détruits par les sédiments provenant de ces sols nus. Par mesure de précaution, des fossés périphériques doivent être aménagés pour collecter les eaux d'exfiltration et de drainage des bassins versants situés à l'intérieur des limites du site et aux pieds des haldes. L'eau sera donc acheminée au bassin de polissage puis sera réutilisée pour les besoins en eau de procédé du complexe minier. La mise en place de cordons pierreux végétalisés renforcera cette stabilité et le contrôle de l'érosion.

6.4. REHABILITATION BIOLOGIQUE DES HALDES A STERILES

L'ouverture des fosses pour l'exploitation du minerai passe par des phases de déblayage et de découverte où la matière organique de surface (arbres, herbes, litière) est décapée puis suivie de la couche arable (terre végétale) sur une certaine profondeur. Un dispositif devrait permettre la séparation de cette terre végétale qui servira à la restauration des roches stériles qui seront extraites par la suite. Les roches stériles (pauvre en minerai) extraites des profondeurs sont alors déposées et forment des amas de terre dépourvus de toute fertilité. Dans le cadre de la réhabilitation biologique qui consisterait à revégétaliser ces tas infertiles, le déficit majeur est comment ramener la fertilité sur ces sites dénudés ? Quelques techniques sont ici proposées.

6.4.1. Paillage

L'emploi de certains matériaux organiques secs est déterminé par leur facilité à se minéraliser plus ou moins rapidement. La qualité de la matière organique conditionne la reprise de l'activité biologique, déterminante pour la bonne fonctionnalité du sol. Les matériaux organiques facilement minéralisables sont décomposés rapidement, de l'ordre de quelques jours à quelques semaines, par les agents biologiques du sol qui trouvent là leur source d'énergie. Ces derniers intègrent les substances humiques issues de la décomposition aux particules du sol pour former l'humus, complexe colloïdal support de la fertilité.

Cet apport de matériaux organiques peut être fait à partir du paillage qui consiste à recouvrir le terrain infertile des résidus de pailles, de tiges, de feuilles d'arbres pour non seulement protéger contre l'érosion éolienne et surtout hydrique, mais aussi amorcer le processus biologique de décomposition. La photo 6 présente un aperçu de recouvrement du sol par la matière organique sèche telle que la paille.



Photo 3: Paillage du sol avant plantation, mine d'or de Morila (S.ILBOUDO, 2011)

Cette pratique de paillage a fait ses preuves dans la mine d'or de Morila au Mali. Elle nécessite une main d'œuvre locale, témoin de l'intégration des communautés locales dans le processus de réhabilitation. La litière morte va se décomposer, constituant une assise en fertilisant et susciter le développement d'une végétation spontanée à partir des graines et souches contenues dans la terre de recouverture d'où la nécessité de sa bonne conservation. Elle permet ainsi une colonisation rapide de la strate herbacée et la maîtrise du contrôle de l'érosion hydrique. La paille sèche dans le domaine de la mine pourrait être récolté et mise à profit ; ce qui contribuerait aussi à lutter contre les feux de brousse accidentels.

6.4.2. Mise en place de plantations

6.4.2.1. PREPARATION DU TERRAIN

Après les travaux de recouvrement des haldes et de nivellement, l'on procède à d'autres aménagements du terrain avant le reboisement des plants. Ces travaux concernent :

❖ Le Piquetage

Il consiste à matérialiser sur le sol l'emplacement exacte des points où les plants seront mis en terre. Plusieurs techniques peuvent être utilisées soit en carré, en rectangle ou en quinconce.

Le piquetage en carré ou rectangle consiste à placer les points sur des lignes à équidistance et écartement réguliers de sorte que sur 2 lignes, les points forment les figures de carré ou rectangle. Dans la pratique habituelle, la matérialisation des points est faite en carré de 2 à 4 m de côté. Pour d'autres espèces (locales, fruitières etc.), l'écartement peut aller jusqu'à 10 m.

Le piquetage en quinconce consiste aussi à placer sur des lignes droites des points équidistants de 2 à 4 m. Cependant, à la différence du précédent, le point de chaque deuxième ligne est décalé de 2 m vers l'intérieur, c'est-à-dire entre les deux points de la première ligne, formant ainsi un triangle avec ceux-ci.

Les mêmes procédés peuvent être utilisés pour le reboisement des plantes ligneuses et certaines espèces herbacées. La matérialisation doit être faite par des professionnels (agents forestiers, paysans forestiers ou producteurs formés.) La figure 3 donne une illustration du piquetage.

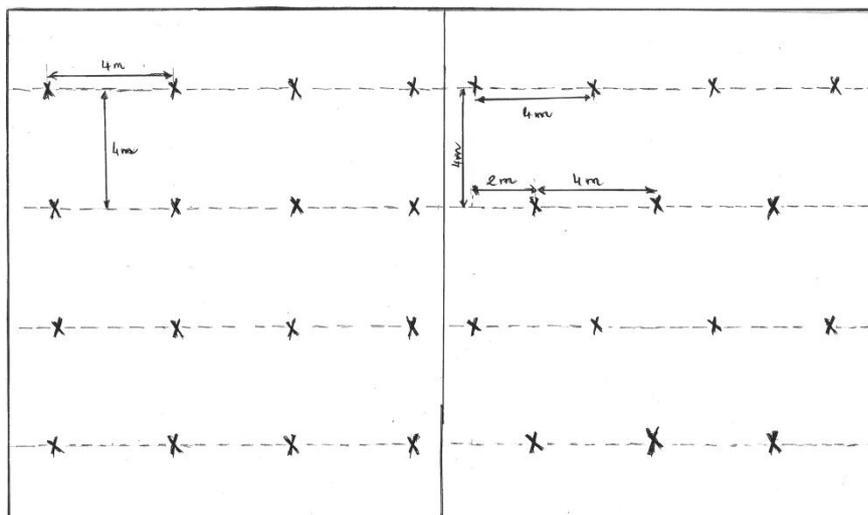


Figure 4: Piquetage en carré à gauche et en quinconce à droite

❖ Trouaison

C'est le creusage des trous qui doivent recevoir les plants. Ils sont faits aux emplacements des points de piquetage à l'aide de divers matériels (pique H, bar- amines, bêches, dabas etc.). Les dimensions conventionnelles au Burkina Faso varient de 40 à 60 cm de diamètre comme de profondeur. Pour certaines espèces (fruitières, ombrage) ces dimensions peuvent aller de 80 - 100cm. Dans le cas des haldes à stériles ou la couche végétale n'est pas assez profonde, l'on devra en tenir compte pour améliorer l'épaisseur de la couche au delà des 30 cm pour disposer d'un bon trou pour la plantation. Sur les terrains de reboisement classique, une séparation des couches pédologiques est observée pendant la trouaison. Le rebouchage des trous est fait en inversant les couches pédologiques: la terre de surface (plus fertile) est remise la première au fond du trou et celle du fond en surface. Ce qui n'est pas possible dans le cas de haldes à stériles où la faible couche de terre végétale recouvrant les tas de roches infertiles est la même.

6.4.2.2. PREPARATION DU MATERIEL VEGETAL

Afin d'assurer un taux élevé de succès aux opérations de reboisement des haldes à stériles qui ne sont pas gagnées d'avance, il sera judicieux d'accorder un accent particulier au choix des espèces végétales. L'austérité des conditions climatiques de la zone (forte température, faible pluviométrie) et les caractéristiques édaphiques des sites à végétaliser doivent être prises en compte. Les espèces à retenir seront donc fonction du sol et de la pluviométrie du site. Le site de la mine dispose d'une pépinière qui assure les besoins en plants pour ses reboisements. Les espèces qui y sont produites sont consignées dans l'Annexe VI.

A titre d'exemple les espèces ligneuses suivantes sont proposées : *Faidherbia albida*, *Acacia nilotica*, *Azadirachta indica*, *Parkia biglobosa*, *Piliostigma reticulata*, *Guiera senegalensis*, *Vitellaria paradoxa*, *Pterocarpus lucens*, *Pterocarpus erinaceus*, *Ziziphus mauritiana*, *Z. mucronata*. Pour les plantes herbacées, on peut retenir : *Andropogon gayanus*, *Andropogon ascinodis*, *Ipomea azarifoilia*, *Vetiveria zizanioides* (IDO, 2007)

6.4.2.3. MODE DE PLANTATION

Un ratio devra être respecté entre les catégories d'espèces utilisées et leur agencement déterminé avec une certaine précision pour assurer le meilleur développement de l'ensemble de la plantation et son évolution vers des groupements végétaux plus complexes.

De ce fait, et pour les espèces ligneuses, les plants seront mis en terre dans les trous creusés à effet suivant le plan de piquetage. S'il n'y a pas eu d'apport de matière organique pendant le recouvrement et nivellement de la terre végétale, l'on pourrait en rebouchant incorporer du

compost pour faciliter la reprise et la croissance des plants. Le plant est mis en terre suivant des normes techniques et avec du matériel adéquat. Il faudra veiller à disposer des plants de bonne qualité pour assurer une bonne reprise et plus tard un bon taux de succès.

En ce qui concerne les plantes herbacées, le reboisement se fait dans les mêmes conditions à partir des éclats de souches sur des lignes de façon serrée ou équidistante suivant les objectifs poursuivis. Cela peut se faire aussi en blocs de casiers, en quinconce ou pêle-mêle. L'on peut encore procéder par un semis direct de graines soit en poquets carrés ou quinconce ou à la volée à partir d'engins mécaniques ou manuellement. L'ensemencement mécanique pourrait se faire par ensemencement hydraulique, propulsant un mélange de boue et de semences sur le sol et les flancs des pentes. Cette technique permet de répartir les semences de façon uniforme sur le sol et une bonne adhésion sur les flancs des haldes.



Photo 4: Ensemencement hydraulique (P. JACQUEMIN & al. 2006)

Enfin la plantation peut intégrer une association des espèces ligneuses et herbacées en vue d'augmenter le taux de recouvrement du sol en biomasse. Cette option pourrait être envisagée et il s'agira alors d'alterner des lignes de plants de ligneux avec celles d'herbacées qui seront implantées en cassier ou mélangées.



Figure 5 : Association ligneux-herbacées en carré à gauche et en quinconce à droite

La figure 6 présente un récapitulatif du processus d'évolution de la végétalisation des sites miniers.

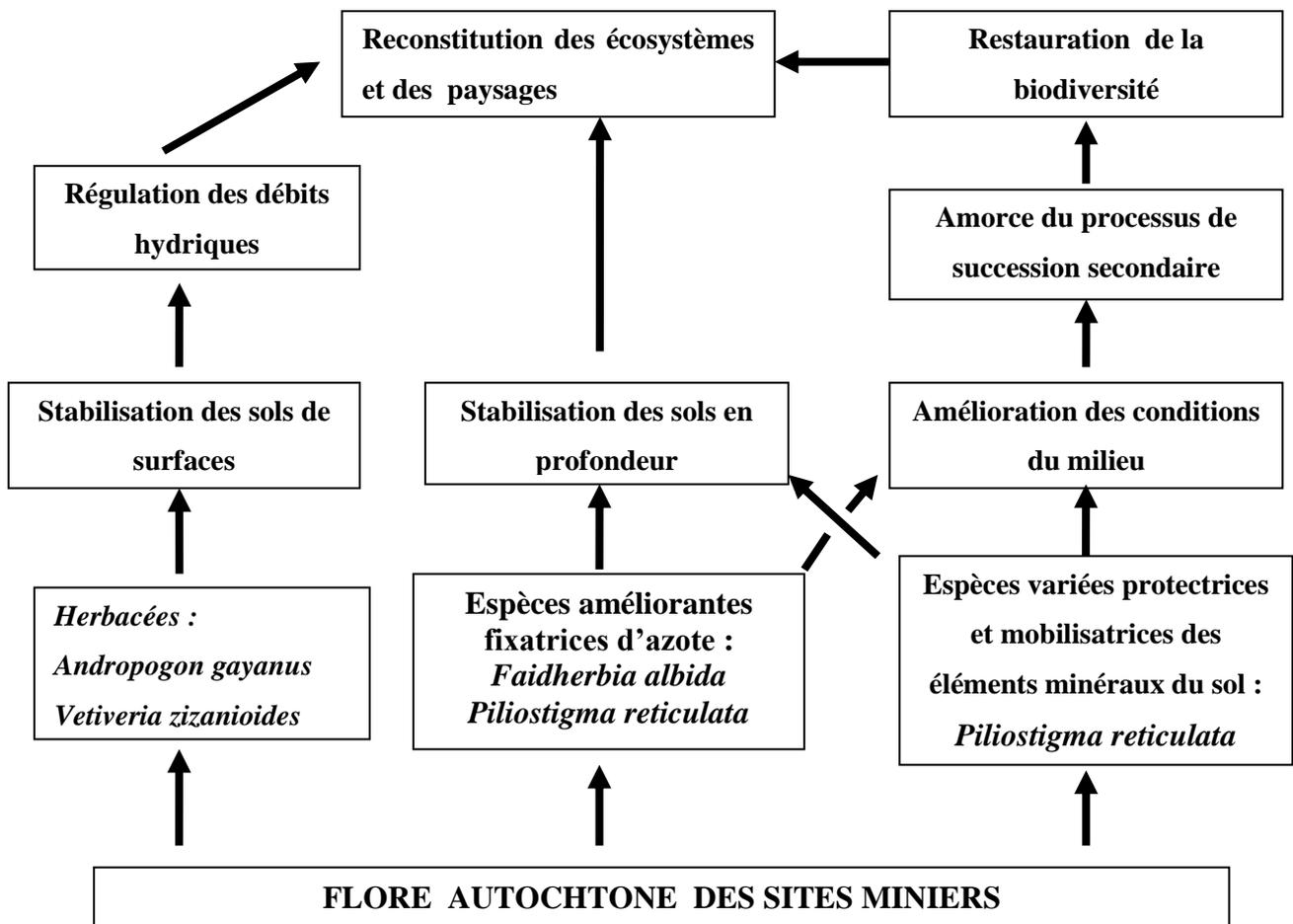


Figure 6: Etapes de l'évolution de la végétalisation (Adaptée de T.JAFFRÉ et al.1997)

Cette illustration permet de comprendre que les plantes reboisées (herbacées et ligneuses), fixatrices d'azote et mobilisatrices d'éléments minéraux vont dans une première phase permettre la fixation des sols en surface pour les herbacées et en profondeur pour les ligneux tout en améliorant les conditions du milieu. Dans une seconde phase, il y aura une régulation des débits hydriques et l'amorce d'une régénération de végétation naturelle conduisant à la reconstitution des écosystèmes ainsi que des paysages et à la restauration de la biodiversité.

6.4.2.4. ENTRETIEN DES PLANTS

L'objectif des plantations et de l'enherbement étant de favoriser le retour de l'activité des microorganismes du sol, il ne sera pas nécessaire dans une certaine mesure de recourir à des insecticides pour éliminer les termites et autres ravageurs qui constituent la microfaune dont l'activité favorise le retour de la fertilité du sol. Le site étant clôturé, le risque majeur à surveiller est celui des feux de brousse qui peut en cas de survenue annihiler tous les efforts consentis. Une surveillance doit être mise en place pour maîtriser, voir éviter toute survenue de feu de brousse.

L'entretien implique aussi l'arrosage des plants. Du fait de la faible couche de terre végétale qui recouvre les tonnes de stériles, cela ne permet pas aux plants d'emmagasiner suffisamment d'eau pour leur survie en cas de stress hydrique prolongé. Pour ce faire, un arrosage d'appoint sera nécessaire pour accompagner les plants jusqu'à leur sevrage.

6.4.2.5. APPORT DE FERTILISANTS

La fertilisation a pour objectif de favoriser l'enracinement du plant et améliorer sa croissance. Celle-ci permet aux plants de développer leur système racinaire plus rapidement et d'avoir davantage accès aux ressources, tant l'eau que les éléments nutritifs. L'apport de fertilisant devrait influencer positivement la croissance des plants et améliorer leur taux de survie. Deux possibilités sont ici présentées à savoir les fertilisants organiques et minéraux.

❖ Apport de fertilisant organique : le compostage

L'apport en fertilisant peut aussi être assuré à partir de la production de l'humus par compostage. C'est un processus biologique de conversion et de valorisation des matières organiques (sous-produits de la biomasse, déchets organiques d'origine biologique...) en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau riche en composés humiques, le compost. (WIKIPEDIA, 2012). Dans la pratique courante au Burkina Faso, le compost est produit dans des bassins creusés dans le sol ou construits en mur ou en tas. L'humus issu de ces compostières

peut être mélangé à la terre végétale pendant le nivellement en raison de 30 tonnes /ha suivant la pratique ou être utilisé en pépinière pour la production de plants à reboiser sur le site. La photo 9 présente une compostière en fosse.



Photo 5 : Compostière en fosse (SIA, 2012)

❖ **Apport de fertilisant minéral : l'engrais minéral**

L'apport de l'engrais minéral est fait selon certaines conditions et intervient après la mise en terre des plants. Une démonstration du mode de fertilisation par pied d'arbre lors du reboisement des sites est proposée en Annexe VII.

6.5. EVALUATION DU COUT ESTIMATIF DE REHABILITATION D'UN HA DE STERILE

A titre de simulation le tableau 4 présente, une estimation du coût de réhabilitation d'un ha de stérile. Cet exercice permet non permet un récapitulatif des différentes opérations dans le cadre d'une réhabilitation mais aussi donne une idée d'ordre de grandeur de la valeur chiffrée adaptable aux situations réelles.

Tableau 4: Détail estimatif du coût de la réhabilitation d'un ha de stérile

Désignation	Unité	Quantité	Coût Unitaire (CFA)	Coût total (CFA)
<i>Phase physique</i>				
Nivellement	heure	8	50 000	400 000
Acquisition de terre végétale	m ³	5 000	5 000	25 000 000
Epandage de terre végétale	heure	8	50 000	400 000
Acquisition de fumure organique	tonne	60	30 000	1 800 000
Epandage fumure organique /minérale	heure	8	50 000	400 000
Délimitation/piquetage	ha	1	100 000	100 000
Trouaison	nbre	700	500	350 000
<i>Sous total 1</i>				<i>28 450 000</i>
<i>Phase Biologique</i>				
Acquisition de plants	nbre	700	500	350 000
Acquisition de semences herbacées	kg	2	50 000	100 000
Plantation/Epandage graines	h/j	50	5 000	250 000
Arrosage des plants (3 manoeuvres *8 mois)	nbre	24	120 000	2 880 000
Acquisition/transport eau (2 citernes*4 fois/mois*8 mois)	nbre	64	200 000	12 800 000
Entretien/surveillance (2*8)	nbre	16	120 000	1 920 000
<i>Sous total 2</i>				<i>18 300 000</i>
Total général				46 750 000

Source : données de terrain et Burkina Equipement

Il faut noter que l'évaluation du coût de réhabilitation présentée dans ce contexte, bien que relativement détaillée, reste imprécise à ce niveau d'étude. Elles donnent un ordre de prix global et le détail des principaux travaux qui pourront orienter le promoteur quant à l'élaboration de projets de réhabilitation plus concrets avec une évaluation des coûts beaucoup plus affinée. Il faut remarquer que la plus grosse dépense se situe au niveau de la mobilisation de la terre végétale qui représente plus de 50% du budget si toutefois elle devait être acquise. Des précautions doivent donc être prises pour sa conservation pendant la phase d'exploitation pour amortir ces coûts. Les aspects de surveillance pourront être aussi minimisés si toutefois la clôture du site demeurerait pendant les travaux de réhabilitation. De plus, les coûts indiqués sont négociables avec les entreprises prestataires de service et cela pourra contribuer à réduire le coût de réalisation ici estimé. Toutefois, la réhabilitation des haldes doit intégrer un plan général de restauration de la mine et non une action isolée en vue d'une meilleure planification des actions de restauration.

6.6. PROGRAMME DE SURVEILLANCE ET SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Le plan de fermeture comprendra l'information requise concernant le plan d'urgence et le programme de surveillance (intégrité des ouvrages, suivi environnemental et suivi agronomique). Le plan doit comporter les orientations, les objectifs et les cibles à respecter selon les critères et les différents éléments inclus dans le programme de surveillance. Dès l'entame des travaux de réhabilitation, un suivi périodique doit être fait avec des évaluations. Le suivi et le contrôle aura pour objectif de s'assurer de la stabilité physique des sols, de la stabilité chimique et de l'équilibre biologique de l'environnement du site. Ainsi, le suivi et la surveillance porteront sur :

- la prévention des risques de DMA ;
- le respect du mode de dépôt de la terre végétale ;
- la qualité des eaux de surface et souterraine ;
- le taux de succès des opérations de plantations réalisées ;
- taux de recouvrement du sol,
- les dispositifs anti-érosifs ;
- la stabilité des pentes, des talus et des digues ;
- l'échantillonnage de contrôle.

6.7. LIMITE DE L'ETUDE

Cette contribution à la réhabilitation devrait être mise à jour de façon régulière pour tenir compte des modifications éventuelles (plan d'exploitation, nouvelle législation, sinistre important, changement d'exploitant) ou suite à une modification notable au niveau du site (extraction, exploitation et traitement), etc. La durée prévisionnelle de vie de la mine est de 6,75 ans ; cependant des études d'extension sont en cours et devraient permettre de découvrir de nouvelles réserves exploitables, ce qui prolongerait sa durée de vie et aurait pour conséquence l'augmentation de la production de stériles à réhabiliter d'où la nécessité de prendre des mesures qui s'imposent pour une réhabilitation progressive. La non réalisation des analyses chimiques qui auraient permis d'orienter au mieux les différentes propositions est aussi à relever comme insuffisance.

VII. RECOMMANDATIONS

Aux termes de la présente étude et au regard de l'intérêt de la restauration des haldes à stériles sus évoqué, nous formulons ici des recommandations en vue de contribuer à une meilleure réhabilitation de la mine de Bissa Gold dans son ensemble et en particulier la question de la gestion des haldes à stériles.

7.1. RECOMMANDATIONS POUR L'ÉTAT BURKINABE ET LE MEDD

Afin d'accompagner le boum minier de notre pays dans le respect de l'environnement, les recommandations suivantes sont formulées :

- élaborer des politiques concernant la réhabilitation des sites miniers afin d'orienter les acteurs du domaine ;
- élaborer des protocoles d'accords entre les industries minières et le ministère de l'environnement pour un meilleur suivi et surveillance environnemental ;
- doter les moyens aux structures régaliennes pour le suivi environnemental des opérations d'exploitation minière et de réhabilitation des sites miniers ;
- réaliser des études afin de disposer de plans types de fermeture des sites miniers à proposer aux acteurs ;
- développer des projets de recherche sur l'adaptation des espèces végétales aux sols dégradés des sites miniers.

7.2. RECOMMANDATIONS POUR L'ENTREPRISE MINIERE DE BISSA GOLD.

Pour une production minière éco citoyenne, il serait souhaitable que l'entreprise renforce sa politique environnementale par des actions concrètes à savoir :

- élaborer des plans spécifiques de réhabilitation pour chacun des grands compartiments ayant un impact sur l'environnement afin de permettre un examen minutieux de chaque problématique ;
- réviser le plan de fermeture général à partir des synthèses qui seront fait des études spécifiques ;
- établir un programme annuel de réhabilitation des haldes qui déclinera les objectifs de chaque campagne de reboisement, le chronogramme détaillée des activités à réaliser et les moyens à mettre en œuvre ;
- élaborer des programmes de surveillance des stériles et des résidus miniers afin de prédire ou d'évaluer les risques de génération de DMA et de lixiviation de métaux lourds ;

- réaliser des essais de régénération ou des cultures avec diverses espèces pour juger des plus aptes pour la revégétation des haldes à stériles afin d'éviter les pertes de temps, d'énergie et de ressources ;
- réaliser des essais de plantations pour évaluer la profondeur adaptée pour le recouvrement de la terre végétale favorable à un bon enracinement et réduire le déficit en terre végétale qui pourrait se poser ;
- prospecter l'utilisation future des boues d'épuration comme complément de terre végétale sous réserve des mesures de précaution à prendre pour éviter la contamination de la nappe par les eaux de ruissellement en métaux lourds ;
- créer des emplois nouveaux à travers la contractualisation de la production de plants et de compost pour les grands travaux réhabilitation.

VIII. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le présent stage qui a porté sur la réhabilitation des haldes à stériles de la mine d'or de Bissa Gold a été fort enrichissant et a permis d'aboutir à des résultats satisfaisants pour les deux partis. La méthode d'exploitation est à ciel ouvert avec une cadence moyenne de 4 000 t/j pour le minerai et 27 000 t/j de stérile qui seront stockés sur une superficie de 86,5 ha. Les dimensions de la halde en construction sont de 2100 m de longueur, 420 m de largeur et 55 m de hauteur.

L'exploitation minière a un impact négatif sur l'environnement du fait de la disparition de la couverture végétale et de la perturbation de la couche de terre végétale, réservoir de la biodiversité ; eu égard à l'option de mine à ciel ouvert comme méthode d'exploitation. Néanmoins l'étude relève des possibilités d'atténuation et de reconstitution de la couverture végétale et de la diversité biologique. Les propositions concrètes de méthodes de réhabilitation faites concernent le compactage en couches alternées, le recouvrement de terre végétale, le paillage et la mise en place de plantations ligneuses et herbacées à partir des espèces retenues. La réhabilitation d'un ha de stérile est estimée à 47 millions de FCFA.

Les technologies développées devront permettre de prendre des décisions utiles relatives à la conduite du processus de réhabilitation afin de minimiser ces impacts sur les écosystèmes locaux et régionaux.

La problématique de la réhabilitation des sites miniers reste une préoccupation majeure dans l'exploitation minière. Pour éviter les erreurs du passé relatives aux mines orphelines qui créent le désastre environnemental à travers le monde, toute entreprise minière responsable et éco-citoyenne se devait d'y prêter une attention particulière.

En perspectives, nous suggérons la poursuite de la réflexion autour des problématiques suivantes :

- comment conjuguer exploitation minière et tendance à la dégradation de l'environnement ?
- comment redonner une seconde vie aux sites miniers après fermeture ;
- les entreprises minières partagent t'elles les objectifs des écologistes pour une exploitation durable des ressources minières?
- quelles espèces locales conviendraient le plus pour la revégétalisation des sites miniers ?

IX. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **A. YACOUBA., (2012)**, Cycle de vie d'une mine. Cours MSP/GDM, 2ie Ouagadougou, 167p.
2. **B. CAMPBELL (2011).**, « Ressource minière en Afrique. Quelle réglementation pour le développement ? GRAMA, UQAM » 255 p.
3. **B.Sc.N. GAUTHIER (2007).**, « Rapport d'exécution Reboisement du site minier Isle-Dieu Mira Godbout» 12p.
4. **C. PAUL-HUS (2011).**, « Méthodes d'étude de l'érosion et gestion des sites dégradés en Nouvelle-Calédonie » 127p.
5. **ECEREX (1988).**, « Etudes sur la mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais après déboisement » Revue Bois et Forêts des Tropiques, n O 219, spécial Guyane.
6. **ELAW (2010).**, «Guide pour l'évaluation des EIE de projets miniers, 1^{ère} Edition» 118 p.
7. **GENIVAR (2008).**, « Etude d'impact sur l'environnement : Orientation du projet de restauration du site minier, Projet minier aurifère Canadien Malartic 18p ».
8. **GENIVAR (2008).**, « Étude d'impact sur l'environnement du projet Bissa-Zandkom, Burkina Faso». 223p.
9. **G. BEREMWIDOUYOU (2011).**, « Evaluation de la politique de responsabilité sociétale de Newmont sur son projet minier de Ahafo (Ghana) »66p.
10. **G. OUÉDRAOGO et au. (1972)**, « Contribution à l'étude du rayonnement global et de la durée d'insolation en Haute Volta. Centre National de Recherche Scientifique (CNRST), Ouagadougou, 1-12 ».
11. **G.T.MOTCHEBON (2011)**, « contribution à l'élaboration d'un plan de Réhabilitation pour la mine bissa gold » 48p.
12. **H. TRANAP.**, « Réhabilitation des sites miniers orphelins en province Sud, M2 – H3 » Université Rennes 1.
13. **H.YAYE (2011)**, « Les plans de réhabilitation et de fermeture, outils de gestion durable de l'environnement minier : cas de la mine d'or d'Inata » 92p.
14. **B.IDO (2007).**, « cours d'agroforesterie », cycle d'ingénieur de conception en vulgarisation agricole, IDR, Bobo.
15. **J.F. CASTRILLI and al., (2002).** « Barriers to collaboration: orphaned/abandoned mines in Canada, final report »76p.

16. **S. KEITAA., (2012)** « aspects environnementaux de l'exploitation d'une mine » cours de MSP DGM 2iE, 88p.
17. **Journal le Pays** du mercredi 18 avril 2012 « Exploitation minière au Burkina : quarante tonnes d'or pour l'année 2012 ».
18. **Journal MUTATIONS** N. 7 de mars 2012, Mensuel burkinabé paraissant chaque 1er du mois (contact : Mutations.bf@gmail.com) du 25/10/2012.
19. **J.W .ALBA. et A. CHATTOPADHYAY. (1985).**, «The Effects of Context and Part-Category Cues on the Recall of Competing Brands, Journal of Marketing Research, 22, August, 340-349».
20. **M. BA (2011)**, « diagnostic environnemental d'un site minier en Construction : cas de la mine d'or bissa gold » 59p.
21. **MMCE (2004)**, Résumé sur la Composante D du PRECAGME.
22. **N.D. YAMEOGO (2011)**, « Risque lie à l'exploration minière dans la zone du permis de recherche de Yagti/Koulpelogo »56p.
23. **P.C.J KEVIN and D'SOUZA (2009).**, « Mining Sustainable Development, Community Development & Artisanal Mining Consultant » 71p.
24. **P. JACQUEMIN & al.**, « 2006 Réhabilitation du site minier une combinaison du confinement et de la phytostabilisation des sols » . Article-revue travaux n°861-2006 Rehab.11p
25. **P.B. TAPSOBA (2011)**, « Etude d'impacts potentiels de l'exploitation du manganèse sur les plantes environnantes : cas de la Compagnie Burkina Manganèse (projet tambao) » p58.
26. **R. HAKKOU and al. (2005).**, « Minéralogie secondaire associée au drainage minier acide du site abandonné de Kettara (Maroc) ».
27. **R.R. BROOKS and al.**, (1998) « Revegetation and stabilisation of mine dumps and other degraded terrain » - 20p.
28. **S.P.ILBOUDO (2011)**, « La réhabilitation des sites miniers comme une alternative de restauration de l'environnement : cas de la mine d'or de Morila au Mali », 78p.
29. **T.J AFFRÉ and al, (1987).**, « Quelle méthode de végétalisation pour la réhabilitation des anciens sites miniers de Nouvelle-Calédonie, note brève ».
30. **T. JAFFRÉ., B PELLETIER (1992).**, « Plantes de Nouvelle-Calédonie permettant de revégétaliser des sites miniers» - ORSTOM/SLN - 115p.

31. **W.O. MACKASEY., (2003).**, « Abandoned Mines in Canada (Sudbury: WOM Geological Associates, Inc.; 2000) at 3- 8 (survey conducted on behalf of Mining Watch Canada identified 10,139 abandoned mines across Canada)

Sites internet

1. <http://www2.brgm.fr/dma/Chapitres/1RisqueEnviron/Cadre.htm>www.minalliance.ca/pdfs/minalliance_100_innovations.pdf du 04/09/2012;
2. <http://www.srk.co.uk/fr/service/uk-fermeture-et-rehabilitation-des-sites-miniers> du 11/10/2012;
3. <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/mines/restauration/restauration-guifrmin.pdf> du 12/10/2012 ;
4. http://www.telabotanica.org/sites/botanique/fr/documents/biblio/articles_en_ligne/revegetalisation.pdf du 12/10/2012 ;
5. http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/Mines_Malartic/documents/PR8.4.pdf du 11/10/2012
6. <http://www.hrg.ca/s/Bissa.asp>

X. ANNEXES

ANNEXE I : GUIDES D'ENTRETIEN



**GUIDE D'ENTRETIEN N°1 POUR LE STAGE SUR LA
REHABILITATION DES HALDES A STERILES DE LA
MINE D'OR DE BISSA GOLD**

Novembre 2012

GUIDE D'ENTRETIEN N°1

Nom de la Compagnie :

Date :.....

A. IDENTIFICATION DU REpondant

Nom et prénom :.....

Service :.....

Contact :.....

B. OBSERVATIONS TECHNIQUES

1. Comment est réalisé le décapage ?

.....
.....

2. Comment est déposée la terre de découverte ? (terre arable)

.....
.....

3. Quel est le mode de dépôt des stériles ?

.....
.....

4. Quelles sont les types de roches qui composent les stériles?

.....
.....

5. Y a-t-il eu des analyses sur la composition chimique des roches ?

Oui Non

6. Quelle est la composition chimique des roches ?

.....
.....

7. Y a-t-il un risque de production de DMA ?

Oui Non

8. Si oui, quelles sont les mesures

préventives ?.....
.....

9. Y a t il eu des analyses d'eaux de surface ou souterraines pour le contrôle du DMA ? Oui

Non

10. Si oui, quelles sont les mesures préventives prises?

.....
.....

11. La mine dispose t-elle d'un plan de réhabilitation des haldes à stériles?

Oui Non

12. Comment se fera la réhabilitation des haldes à stériles ?

.....
.....

13. Ya t-il des dispositifs de contrôle de l'érosion ?

Oui non

Si oui, lesquelles ?

.....
.....

Si non, quelles dispositions prendre ?

.....
.....

14. Quelles sont les dispositions prises (actions prévues) pour assurer la réhabilitation des haldes à stériles ?

.....
.....

15. Quelles sont les méthodes de réhabilitation préconisées ? biologiques ? physiques ?

.....
.....

16. Le plan de réhabilitation est-il progressif suivant le niveau d'exploitation?

Oui Non

17. Quelles sont les mesures préconisées pour une réhabilitation progressive ?

.....
.....

18. Quelles sont les espèces végétales ligneuses préconisées pour la végétalisation des haldes ?

.....
.....

19. Quelles sont les espèces végétales herbacées préconisées pour la végétalisation des haldes ?

.....
.....

20. Quels procédés ou techniques préconisées pour la réhabilitation des haldes à stériles ?

.....
.....

21. Y a-t-il un plan de suivi des mesures de réhabilitation ?

.....
.....

22. Quelles sont les attentes des populations à l'issu de la fermeture de la mine ?

.....
.....

23. Quelle sera l'implication des populations dans le plan de réhabilitation des haldes ?

.....

24. La politique environnementale de Bissa Gold vous semble t-elle efficace ? (conforme aux charges environnementales ?)

Oui Non

25. Si oui, pour quelles raisons ?

.....
.....

26. Si non, quelles mesures à prendre ?

.....
.....

27. Quel autre commentaire pouvez-vous ajouter ?

.....
.....



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering



GUIDE D'ENTRETIEN N°2 POUR LE STAGE SUR LA
REHABILITATION DES HALDES A STERILES DE
LA MINE D'OR DE BISSA GOLD

Novembre 2012

GUIDE D'ENTRETIEN N°2

Nom de la Compagnie :

Date :.....

A. IDENTIFICATION DU REpondant

Nom et prénom :.....

Service :.....

Contact :.....

B.OBSERVATIONS TECHNIQUES

1. Quelles sont les types de roches découvertes lors de la phase d'exploration ?

.....
.....

2. Un risque de production d'un drainage minier acide (DMA) était-il prévisible en phase d'exploitation?

Oui Non

3. Quelles sont les types de roches rencontrées en cette phase d'exploitation ?

.....
.....

Y a-t-il un risque de production de DMA ?

Oui Non

4. Si oui, quelles sont les mesures prises ?

.....
.....

5. Si non, quelles sont les raisons?

.....
.....

6. Y a-t-il déjà eu des analyses des eaux de surface ou souterraines pour le contrôle du DMA ?

Oui Non

7. Avez-vous déjà eu un résultat de pH acide lors de ces analyses ?

Oui Non

- Si oui, quelles sont les mesures prises?

.....
.....

8. Quelles sont les résultats d'analyses (roches, eaux) en cette phase d'exploitation du minerai concernant le DMA?

.....
.....

9. La mine dispose-t-elle d'un plan de réhabilitation des haldes à stériles?

Oui Non

10. Quelles sont les dimensions des empilements ? :

- hauteur?.....
- pendage ? (angle du talus)

11. Y a-t-il des dispositifs prises pour le contrôle de l'érosion hydrique ?

Oui non

Si oui, lesquelles ?

.....
.....

Si non, quelles dispositions prendre pour contrôler l'érosion hydrique?

.....
.....

12. Quelles sont les méthodes de réhabilitation préconisées ?

- physiques
- biologiques
- mixtes

13. Y a-t-il une séparation entre la terre arable et non arable de la découverte lors du dépôt ?

Oui non

- Si oui, comment ?

.....
.....

- Si non, comment comptez-vous assurer la fertilisation des haldes pour la végétalisation?

.....
.....

14. Le plan de réhabilitation sera-t-il progressif suivant le niveau d'exploitation?

Oui Non

15. Quelles sont les mesures préconisées pour une réhabilitation progressive ?

.....
.....

16. Quelles sont les mesures prises ou à prendre dans le cadre du suivi de la réhabilitation ?

.....
.....

17. La politique environnementale de Bissa Gold vous semble-t-elle efficace ? Oui



Non



18. Si oui, pour quelles raisons ?

.....
.....

19. Si non, quelles mesures sont à prendre ?

.....
.....

Quels autres commentaires voudriez-vous ajouter ?

.....
.....

ANNEXE II : CADRE REGLEMENTAIRE DE L'ETUDE

Politiques environnementale et minière

La gestion de l'environnement en général et les activités minières en particulier sont régies par un certain nombre de textes législatif, réglementaire et institutionnel au plan national, ainsi que par des conventions aux plans sous- régional et international.

1. Politique environnementale du Burkina Faso

Les nombreux problèmes environnementaux tels que la désertification, les diverses pollutions et nuisances etc. ont amené l'Etat Burkinabé à entreprendre des réformes et adopter des politiques dont les objectifs sont entre autres l'amélioration des conditions de vie des populations à travers l'assainissement des milieux urbains et ruraux ainsi que la réalisation d'aménagements paysagers. Cette politique en matière d'environnement se traduit par l'adoption et la mise en œuvre d'instruments que sont :

- le plan d'action national de lutte contre la désertification ;
- la politique et la stratégie nationale d'assainissement ;
- les instruments juridiques internationaux ratifiés par le Burkina Faso.

2. Politique minière et préservation de l'environnement

Depuis l'adoption en 1991, du Programme d'Ajustement Structurel (PAS), le Burkina Faso s'est engagé dans une politique de réformes structurelles basée sur la promotion de l'initiative privée comme facteur de son développement socio-économique.

Afin de promouvoir le développement du secteur minier, le Burkina Faso a adopté le 17 janvier 1996, une déclaration de la politique minière. Ce document de base définit les grandes orientations de la politique minière et les stratégies de leur mise en oeuvre. Les activités régies par le code minier doivent être conduites de manière à assurer la préservation de l'environnement et la réhabilitation des sites exploités selon les normes, conditions et moralité établies par la réglementation en vigueur.

Les dispositions relatives à la protection de l'environnement, à l'hygiène et à la sécurité stipulent que tout titulaire d'une autorisation ou d'un permis d'exploitation est tenu de respecter les dispositions législatives et réglementaires relatives à l'environnement, à la sécurité, et à l'hygiène conformément aux dispositions en vigueur au Burkina Faso.

Pour ce faire, une étude d'impacts sur l'environnement accompagnée d'un programme de gestion et de préservation de l'environnement comprenant un plan de réhabilitation des sites à exploiter doit être produite et soumise à l'administration. Toute modification devra faire l'objet d'une autorisation préalable de l'administration des mines.

3. TEXTES LEGISLATIFS ET REGLEMENTAIRES

De nombreux textes juridiques sont pris en compte dans cette étude pour traduire le rôle de l'Etat quant à assurer un développement harmonieux et respectueux de l'environnement au profit des populations.

3.1. Constitution du Burkina Faso

La législation du Burkina Faso, comme celle de plusieurs pays prévoit des dispositions en matière de fermeture des travaux miniers et de réhabilitation de site. C'est ainsi qu'en son préambule, la loi n° 002/97/ ADP du 27 janvier 1997 portant Constitution du Burkina Faso, mentionne la nécessité absolue de protéger l'environnement. On peut aussi retenir les textes constitutionnels suivants :

- l'article 14 qui consacre les ressources naturelles comme patrimoine national et leur utilisation rationnelle pour l'amélioration des conditions de vie;
- l'article 29 qui reconnaît le droit du citoyen à un environnement sain et en fait un devoir pour tous la protection, la défense et la promotion de l'environnement.

3.2. Loi sur la Réorganisation Agraire et Foncière (RAF)

C'est la loi n° 034-2012/AN du 02 juillet 2012 portant Réorganisation Agraire et Foncière (RAF) au Burkina Faso. Elle détermine en son article 1 d'une part, le statut des terres du domaine foncier national, les principes généraux régissant l'aménagement et le développement durable du territoire, la gestion des ressources foncières et des autres ressources naturelles ainsi que la réglementation des droits réels immobiliers et d'autre part, les orientations d'une politique agraire.

Les articles 3 et 40 énoncent les principes d'aménagement et de développement durable du territoire qui sont entre autres :

- le principe de développement durable ;
- le principe de protection de la vocation des terres ;
- le principe de conservation de la diversité biologique ;
- le principe de la conservation des eaux et des sols.

3.3. Loi sur le régime foncier rural

La loi N°034-2009/AN du 16 juin 2009 portant Régime Foncier Rural vise à assurer un accès équitable aux terres rurales pour l'ensemble des acteurs du milieu rural; promouvoir les investissements, accroître la productivité dans le secteur agro-sylvo-pastoral et favoriser la

réduction de la pauvreté en milieu rural; favoriser la gestion rationnelle et durable des ressources naturelles ; et à contribuer à la préservation et à la consolidation de la paix sociale.

3.4. Code de l'environnement

Promulguée par décret n° 97-110/PRES du 17 mars 1997, la loi n°005/97/ADP du 30 janvier 1997, le Code de l'Environnement et ses textes d'application régissent les principes fondamentaux de gestion et de protection de l'environnement dans le but précis de valoriser les ressources naturelles, de lutter contre les formes de pollution et de nuisances et d'améliorer les conditions de vie des populations dans le respect de l'équilibre du milieu ambiant. Il dispose à son article 17 que les activités susceptibles d'avoir des incidences significatives sur l'environnement sont soumises à l'avis préalable du Ministre chargé de l'environnement. L'avis est établi sur la base d'une Etude d'Impact sur l'Environnement (EIE) ou d'une Notice d'Impact sur l'Environnement (NIE). L'article 19 de la même loi indique que l'EIE doit être complétée par une enquête publique dont le but est de recueillir les avis et les contre-propositions des parties concernées par rapport à l'étude d'impact sur l'environnement présentée.

L'article 11 stipule que :*" Il est institué un Fonds d'Intervention pour l'Environnement (F.I.E). Ce fonds est exclusivement réservé au financement des opérations de restauration de l'environnement, de lutte contre les pollutions et nuisances, et à toute action écologique conformément aux principes fondamentaux de préservation de l'environnement"*.

3.5. Code Forestier

Il s'agit de la loi n°003-2011/AN du 5 avril 2011, portant Code Forestier au Burkina Faso. Dans cette loi, chaque type de ressource naturelle bénéficie d'un régime particulier de protection. C'est ainsi que l'article 43 prévoit que « les forêts sont protégées contre toutes formes de dégradation et de destruction, qu'elles soient naturelles ou provoquées ». Mieux l'article 48 établit clairement que « toute réalisation de grands travaux entraînant un défrichement est soumise à une autorisation préalable du Ministre chargé des forêts sur la base d'une EIE.». Elle vise en outre à établir une articulation harmonieuse entre la nécessaire protection des ressources naturelles forestières, fauniques et halieutiques et la satisfaction des besoins économiques, culturels et sociaux de la population.

3.6. Code Minier

C'est la loi n°031-2003/AN du 08 mai 2003 portant Code Minier au Burkina Faso. Elle édicte les conditions dans lesquelles les substances minérales ou de carrières contenues dans le sol ou

le sous-sol burkinabè peuvent faire l'objet de prospection, de recherche ou d'exploitation. L'article 76 de la loi dispose que "*Les activités régies par le code minier doivent être conduites de manière à assurer la préservation et la gestion de l'environnement et la réhabilitation des sites exploités selon les normes, conditions et modalités établies par la réglementation en vigueur*". La même loi stipule à son article 78 que "*Tout titulaire d'un titre minier autre que le permis de recherche ou tout bénéficiaire d'une autorisation d'exploitation à l'exception de l'autorisation d'exploitation de carrières est tenu d'ouvrir et d'alimenter un compte fiduciaire à la Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest ou dans une banque commerciale du Burkina Faso, dans le but de servir à la constitution d'un fonds pour couvrir les coûts de la mise en œuvre du programme de préservation et de réhabilitation de l'environnement. Les sommes ainsi utilisées sont en franchise de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux. Les modalités d'opération et d'alimentation de ce fonds sont établies par la réglementation minière*". Le projet minier de Bissa Gold SA est aussi soumis à cette exigence réglementaire et son plan de fermeture de la mine prévoit un montant de 4,5 millions de dollars (2,025 milliards de FCFA) soit 2,2 % des capitaux investis pour la restauration du complexe industriel dans son ensemble.

Bien que plusieurs articles du code minier et de la convention minière réfèrent aux conditions prévues au programme de réhabilitation des sites exploités, la législation en vigueur ne donne aucune indication sur les objectifs en matière de fermeture du site et des orientations sur la vocation du site après fermeture. Il faut noter que cette loi est en relecture pour palier aux insuffisances sur le plan environnemental et minier.

3.7. Code de santé publique

La loi n° 23/94/ADP du 19 mai 1994 portant code de santé publique définit dans ses principes fondamentaux, "*les droits et les devoirs inhérents à la protection et à la promotion de la santé de la population*" de même que "*la promotion de la salubrité de l'environnement*". Par ailleurs, le code traite de plusieurs autres matières dans le domaine de l'environnement dont la pollution atmosphérique, les déchets toxiques, les bruits et nuisances diverses ainsi que les sanctions encourues pour le non respect des dispositions réglementaires en vigueur.

3.8. Loi d'orientation relative à la gestion de l'eau

La loi n° 002-2001/AN du 8 février 2001 d'orientation de la gestion de l'eau donne les nouvelles orientations de la politique nationale de l'eau visant une gestion intégrée des ressources. Son article 2 reconnaît le droit de chacun à disposer de l'eau correspondant à ses besoins et aux exigences élémentaires de sa vie et de sa dignité. L'article 39 prévoit, la réalisation d'une EIE

avant l'émission d'autorisation pour la réalisation des installations, ouvrages, travaux susceptibles de présenter des dangers pour la santé et la sécurité publique, de réduire la ressource en eau, de modifier substantiellement le niveau, le mode d'écoulement ou le régime des eaux.

4. TEXTES INTERNATIONAUX

4.1. Conventions et accords internationaux

Le Burkina Faso a signé un certain nombre de conventions qui portent sur la protection des ressources naturelles. On peut évoquer certaines conventions qui peuvent avoir un lien avec la présente étude :

- la Convention africaine sur la conservation de la nature et des ressources naturelles (Alger, 1968) ratifiée le 29 août 1969 ;
- la Convention africaine sur la conservation de la nature et des ressources naturelles (Alger, 1968) ratifiée le 29 août 1969 ;
- la Convention sur la diversité biologique, conclue à Rio le 05 juin 1992 ratifiée le 23 septembre 1993.

4.2. Politiques et directives internationales

Les politiques et directives internationales, notamment celles du groupe de la banque Mondiale et du Canada mettent l'accent sur les principales exigences en matière de restauration des sites affectés par les activités minières et développement durable. En la matière, les critères de performance de la Société Financière Internationale (SFI), les principes du Conseil International des Mines et Métaux (ICMM) ainsi que les principes de l'équateur servent de références. Afin d'assurer une remise en l'état du site qui satisfasse à ces exigences, un certain nombre de principes généraux de réhabilitation doivent être observé à savoir :

- préparer un plan détaillé de réhabilitation et de fermeture du site dès la première année de la mise en exploitation des gisements ;
- éliminer les risques inacceptables pour la santé et assurer la sécurité des personnes ;
- remettre le site dans un état visuellement acceptable pour la collectivité ;
- procéder à une caractérisation des terrains affectés afin de déterminer et d'effectuer les travaux de restauration des sols contaminés par les activités minières ;
- suivre et gérer les zones réhabilitées jusqu'à ce que les arbres ou végétaux plantés amorcent leur croissance pour ne pas nécessiter d'intervention particulières.

5. CADRE INSTITUTIONNEL

La gestion de l'environnement est transversale et implique plusieurs institutions qui interviennent pour sa préservation à travers la prise de décision, l'application des textes et les actions de terrain. Les principales structures sont :

- l'Assemblée Nationale (AN)
- le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) ;
- le Ministère des Mines, des Carrières et de l'Energie (MCE) ;
- le Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique (MAH).

5.1. Assemblée Nationale

L'Assemblée Nationale définit le cadre général de politique et de législation et dispose d'un pouvoir de contrôle des actions de l'exécutif sur tous les plans y compris l'environnement. Elle a d'ailleurs en son sein une Commission chargée du Développement Economique et de l'Environnement (CODE). Cette structure qui est chargée entre autres des questions environnementales est à la base des propositions ou des révisions de loi dans le domaine de l'environnement.

5.2. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable

Le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable est le garant de la coordination des actions de protection et de la préservation de l'environnement. La nouvelle réorganisation est basée sur le décret n° 2011-1098/PRES/PM/MEDD du 30 décembre 2011, portant organisation du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable.

Pour la présente étude, les structures à considérer sont entre autres :

- ***La Direction Générale des Forêts et de la Faune (DGFF)***. Elle assure la conception, l'orientation, l'appui conseil et de suivi-évaluation des politiques et stratégies en matières de forêts et de faune. Elle conçoit et veille à la mise en œuvre des techniques et dispositions appropriées afin de protéger, aménager, exploiter et valoriser les ressources forestières et fauniques. Dans ce cas de figure, la DGFF est peut être interpellée pour la valorisation des ressources forestière et faunique du périmètre concerné.
- ***La Direction Générale de la Préservation de l'Environnement et du Développement Durable (DGPEDD)***. Cette direction a pour mission, la coordination de la mise en œuvre et du suivi de la politique nationale en matière d'assainissement, d'éducation pour le développement durable, de lutte contre les pollutions et nuisances diverses,

d'aménagements paysagers, et de la promotion du développement durable.

- **La Direction Nationale des Eaux et Forêts (DNEF).** Cette structure administrative veille à la protection du patrimoine forestier, faunique et halieutique de l'Etat et des Collectivités Territoriales. Elle organise les polices forestière, environnementale, faunique, et piscicole. Chargé du commandement du Corps des Eaux et Forêts, la DNEF participe aux activités des forces de défense et de sécurité.
- **La Direction Générale de la Pêche et de l'Aquaculture (DGPA).** Elle a pour missions, la conception, la coordination de la mise en œuvre et le suivi de la politique nationale en matière de développement des ressources halieutiques en relations avec les autres acteurs.
- **Le Bureau National des Evaluations Environnementales (BUNEE).** Cette structure a pour mission la coordination de la mise en œuvre du suivi de la politique nationale en matière d'évaluation environnementale et d'inspection. Elle a en charge l'analyse, la validation des rapports d'études, le contrôle, le suivi et la surveillance des Plans de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) des activités humaines susceptibles de causer un préjudice à l'environnement et au cadre de vie des populations.

5.3. Ministère des Mines, des Carrières et de l'Energie (MCE)

Il est chargé d'élaborer et de mettre en œuvre la politique définie par le Gouvernement en matière de développement des mines, des carrières et de l'énergie. Dans le secteur des mines et carrières, il est chargé entre autres de :

- l'élaboration des stratégies de développement des carrières et de la valorisation de la recherche minière ;
- la promotion de la coordination, du contrôle et du suivi des activités relatives à la recherche, à la mise en valeur et à l'utilisation des ressources minérales ;
- la négociation en collaboration avec les ministères compétents, des conventions d'investissements miniers entre l'Etat et les entreprises minières ;
- la réglementation et du contrôle des activités de recherche et d'exploitation minière et géologique ;
- la prise en compte des EIE et NIE sur l'environnement, dans les projets et programmes de développement.

Les autres structures d'appui à l'administration centrale des mines sont :

- la Commission Nationale des Mines ;
- le Fonds de Développement Minier ;

- le Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina ;
- le Comptoir Burkinabé des Métaux Précieux.

5.4. Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique (MAH)

Il assure la mise en œuvre et le suivi de la politique gouvernementale en matière d'agriculture et d'hydraulique. En matière d'hydraulique, il est chargé de :

- l'élaboration et du contrôle de la législation en matière d'eau et d'assainissement ;
- la conception, de la réalisation et de la gestion des aménagements hydrauliques ;
- la gestion des aménagements hydro-agricoles ;
- l'assistance à la réalisation des ouvrages hydrauliques par des tiers ;
- la conception, de la réalisation et de la gestion des points d'eau (forages, puits, barrages, etc.) ;
- la fourniture d'eau potable aux populations.

ANNEXE III : POLITIQUE ENVIRONNEMENTALE DE BISSA GOLD SA

Bissa Gold SA, une société minière, s'engage à protéger l'environnement à chacune des étapes du cycle minier, y compris l'exploration, l'exploitation et la fermeture.

Afin de respecter efficacement cet engagement, Bissa Gold s'engage aux actions suivantes :

- se conformer à toutes les lois et à tous les règlements qui s'appliquent dans les territoires où elle travaille et, si possible, s'efforce de surpasser ces exigences ;
- mettre en œuvre des systèmes officiels de gestion environnementale conformes aux normes internationales qui s'appliquent ;
- identifier, évaluer, surveiller, contrôler et gérer les risques environnementaux importants associés à ses activités ;
- identifier les urgences environnementales potentielles, mettre en œuvre, maintenir et tester régulièrement les plans d'intervention en cas d'urgence ;
- établir des objectifs et des buts environnementaux clairs et valables visant à améliorer continuellement le rendement environnemental ;
- maintenir un dialogue constructif sur les questions environnementales et sociales avec les communautés locales et les autres intervenants ;
- mettre en œuvre des programmes de prévention de la pollution, y compris des mesures efficaces de réduction et de gestion des déchets ;
- fermer et récupérer les sites d'exploitation de façon systématique et opportune ;
- fournir aux employés et aux entrepreneurs une formation sur les questions environnementales afin qu'ils puissent mieux comprendre leur rôles dans l'atteinte des engagements de la présente politique au sein de leurs secteurs de responsabilités respectifs,
- procéder à des contrôles réguliers des systèmes et des programmes de gestion environnementale ;
- communiquer la présente politique et les progrès accomplis dans l'amélioration du rendement environnemental aux employés, aux entrepreneurs, au public, aux gouvernements et aux autres communautés d'intérêts.

Ces principes guident les actions de Bissa Gold, de ses employés et entrepreneurs, dans la protection de l'environnement et dans la collaboration constructive avec les communautés affectées par sa présence.

LE DIRECTEUR GENERAL DE BISSA GOLD SA

ANNEXE IV : REHABILITATION PHYSIQUE DES HALDES A STERILES



Photo 6 : Opération de nivèlement, mine d'or de Morila (S. ILBOUDO, 2011)



Photo 7 : Recouvrement des stériles, mine d'or de Morila (S. ILBOUDO, 2011)



Photo 8 : Nivèlement pour la plantation, mine d'or de Morila (S. ILBOUDO, 2011)

ANNEXE V : POLITIQUE DE SANTE ET SECURITE DE BISSA GOLD SA

A Bissa Gold, nous sommes engagés à assurer la protection de la santé et à garantir la sécurité de nos employés, entrepreneurs, vendeurs et du public à toutes les étapes de nos activités y compris l'exploration, le fonctionnement, et le déclassement. Nous croyons fermement au principe Production Sans Risque par lequel aucun emploi n'est si important qu'on ne puisse pas prendre le temps de la faire en toute sécurité. Nous nous efforcerons de prévenir les blessures et les maladies :

- en nous conformant aux lois et règlement en vigueur dans les juridictions où nous travaillons ;
- en offrant aux employés, aux entrepreneurs et aux vendeurs un environnement de travail débarrassé des risques incontrôlés ;
- en identifiant et en contrôlant ou en éliminant efficacement les risques majeurs de santé et de sécurité dans chacune de nos opérations ;
- en mesurant et en contrôlant le comportement en matière de sécurité des individus et des groupes de travail par rapport aux objectifs et aux cibles prévus, en appuyant les opérations dans la mise en œuvre de cette politique et leurs programmes de santé et de sécurité ;
- en mettant en place des systèmes de contrôle pour s'assurer que tous les aspects du système sont appropriés, stimulant et conforme, et ;
- en tirant la leçon de notre propre bonne pratique et de nos erreurs ainsi que de celles des autres.

En appui à ce qui est dit ci-dessus, Bissa Gold :

- mettra en œuvre et soutiendra des systèmes formels de gestion de santé et de la sécurité ;
- établira des programmes et des objectifs de performance en santé et en sécurité pour atteindre des buts ;
- identifiera les situations d'urgence potentielles, soutiendra et vérifiera régulièrement les plans de réponse d'urgence ;
- entreprendra des audits réguliers pour évaluer la conformité de cette politique et mettre en œuvre des plans d'action correctifs visant à améliorer les normes et les pratiques en matière de santé et sécurité ;
- organisera des communications fréquentes et structurées sur les problèmes et les initiatives en matière de santé et de sécurité avec tous les employés et fournisseurs ;

- offrira aux employés à tous les niveaux et aux entrepreneurs une formation appropriée afin qu'ils assument activement leurs devoirs et responsabilités en matière de santé et de sécurité ;
- offrira a chaque employé un équipement de protection péronnelle nécessaire, et les instructions appropriées pour son utilisation correcte et comment en prendre soin ;
- imposera un processus d'application rigoureuse de discipline pour les infractions en matière de sécurité conformément aux politiques de la société, et ;
- exigera des entrepreneurs et des sous-traitants qu'ils travaillent dans le respect des exigences sécuritaires et de santé de Bissa Gold.

Il est du devoir de chaque employé de se conformer à cette politique et de coopérer avec la direction pour garantir un lieu de travail saint et sauf.

LE DIRECTEUR GENERAL DE BISSA GOLD SA

ANNEXE VI : LISTE DES ESPECES PRODUITES DANS LA PEPINIERE DE BISSA GOLD SA

Tableau 5: Liste des espèces produites dans la pépinière de Bissa Gold

N°	Nom scientifique	Nom en Anglais	Nom en Français	Nom en Moore
1	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Neem tree	Neem, Margousier	Nim
2	<i>Adansonia digitata</i> L.	Baobab	Baobab	Toega
3	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Cashew nut tree	Anacardier	Pomme cajou
4	<i>Bougainvillea spectabilis</i> . Willd.	Great <i>Bougainvillea</i>	Bougainvillier	Bougainvillier
5	<i>Carica papaya</i> L.	Papaya tree	Papayer	Bogfre
6	<i>Citrus limon</i> (L.) Burn.f	Lemon	Citronnier	Lebourou
7	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh	Eucalyptus tree	Eucalyptus	Calbatis
8	<i>Moringa oleifera</i> Lam	Moringa tree	Moringa	Arzan tiiga
9	<i>Lannea microcarpa</i> Engl.& Krause	African grape	Raisinier	Sabga
10	<i>Psidium guajava</i> L.	Guava tree	Goyavier	Goyaka
11	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Mesquite	Prosopis	Prosopis
12	<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw	Peacok flower	Orgueil de Chine	

Source : Service Environnement de Bissa Gold

ANNEXE VII : METHODE D'EVALUATION DES BESOINS EN ENGRAIS MINERAL

1. Evaluation de la quantité d'engrais nécessaire :

Pour favoriser une bonne croissance des plants, l'on doit savoir évaluer les quantités d'engrais à distribuer à chacun d'eux, en tenant compte de leurs besoins en nutriments. Selon la littérature, un plant qui pèse plus de 500 mg en poids sec devrait contenir: 1,5 % d'azote (N), 0,18% de phosphore (P) et 0,40 % de potassium (K). D'après Nicolas (2007), 10g/plant d'engrais devraient combler ses besoins.

Pour déterminer les besoins pour une dose de 6 semaines, prenons le poids moyen à l'état sec de cinq plants utilisés lors du reboisement. Le Tableau 6 donne les résultats suivants.

Tableau 6: Quantité de chaque élément chimique nécessaire à la fertilisation.

Pourcentage désiré	Poids sec moyen des plants	Durée de l'apport de fertilisant	Quantité de chaque élément
1,5% de N	X X 10,3 g	X X 6 semaines	= 1g de N
0,18% de P	X X 10,3g	X X 6 semaines	= 0,11g de P
0,40% de K	X X 10,3g	X X 6 semaines	= 0,25 g de K

Adapté de NICOLAS, 2007

Les besoins du plant étant connus, la quantité d'engrais nécessaire peut être calculée afin de les combler. Pour un engrais minéral commercial (coton) de formule 14 18 18, cela signifie qu'il contient 14% de N, 18% de P₂O₅ et aussi 18% de K₂O. Puisqu'il y a 44% de P dans le P₂O₅ et 83% de K dans le K₂O, cela nous donne 14% de P et 7% de K. A partir d'une règle de trois la quantité exacte d'engrais nécessaire est ainsi calculée.

100g engrais → 14 g N x g engrais → 1 g N x = 7,14g	100g engrais → 18 g P x g engrais → 0,11 g P x = 0,61 g	100g engrais → 18 g K x g engrais → 0,25 g K x = 1,39 g
---	---	---

Le résumé des besoins est présenté dans le Tableau 7 ci-après.

Tableau 7 : Résumé de la quantité d’engrais nécessaire par plant

Elément chimique	Besoins par plant pour 6 semaines (g)	Quantité d’engrais 14-18-18 à donner (g)
N	1	7,14
P	0,11	0,61
K	025	1,39

L'azote représente donc le facteur limitant à considérer dans nos calculs. Comme ces quantités d'engrais représentant le strict minimum à distribuer par plant, il est possible de les augmenter un peu afin de compenser les pertes par lessivage et de s'assurer qu'il n'y ait pas de carence. Dans ce cas-ci, la quantité d’engrais attribuée a été de 10g / plant.

2. Méthode d’administration :

La fertilisation « par pied d’arbre » consiste à insérer de l’engrais dans une fente faite dans le sol à l’aide d’une pelle à proximité du plant (10 cm dans le cas présent) et d’y déposer l’engrais. L’engrais ne doit pas entrer directement en contact avec les racines du plant car cela pourrait les brûler. La fente ne doit pas non plus être trop éloignée car le plant pourrait ne pas bénéficier des nutriments déposés dans le sol. Les photos 9, 10, 11, 12 suivantes présentent le mode d’administration de l’engrais minéral.



Photo 9: Insérer la pelle dans le sol à 10 cm du plant **Photo 10** : Créer une fente

NICOLAS (2007)



Photo 11 : Insérer l'engrais



Photo 12: Refermer la fente

NICOLAS (2007),

Notons cependant, qu'à défaut de pouvoir assurer l'arrosage de plants fertilisés, cet apport d'engrais soit être fait en saison pluvieuse pour assurer une bonne fonte de l'engrais profitable aux plants.