

**ANALYSE DE L'IMPACT DE L'EXPLOITATION MINIÈRE SUR LES  
RESSOURCES EN EAU ET SOLS : CAS DU PROJET AURIFERE  
KALSAKA MINING  
BURKINA FASO**

**MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
MASTER SPÉCIALISÉ**

**EN  
GESTION DURABLE DES MINES**

-----

Présenté et soutenu publiquement le 14/03/13 par

**Magloire Lawabien TOE**

**Travaux dirigés par : Michel YAO**  
Manager Environnement de Kalsaka Mining

*Jury d'évaluation du stage :*

Président : Corentin SOME

Membres et correcteurs : Hela KAROUI  
David MOYENGA

**Promotion 2011/2012**

## **DÉDICACE**

**Je dédie ce mémoire :**

**au Dieu tout puissant mon seigneur**

**à mes chers parents**

**à toute ma famille**

**à toutes ces personnes qui m'ont soutenu**

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je voudrais adresser mes sincères remerciements à l'endroit de:

- la société minière Kalsaka Mining par le biais de sa Représentante Régionale, Mme Djeneba NANA pour avoir accepté notre stage au sein de sa structure ;
- M. Cyrille KABRE, Représentant de la société minière Newmont Ventures qui n'a ménagé aucun effort malgré ses multiples préoccupations pour nous appuyer pour l'obtention de ce stage ;
- M. Michel YAO notre maître de stage pour ses conseils, ses directives, et sa disponibilité ;
- M. Marcelin KOUAKOU Enseignant à 2IE pour ses corrections, remarques et orientations qui ont permis d'améliorer ce travail ;
- M. Sylvestre ZOUNDI assistant environnement, pour son soutien et son appui dans la réalisation de ce travail ;
- M. Arouna TRAORE, stagiaire, notre compagnon de tous les jours pour son appui et sa franche collaboration ;
- tout le personnel de Kalsaka Mining pour leur accueil et leur franche collaboration,
- l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) par le biais de tous les enseignants qui n'ont ménagé aucun effort pour nous transmettre les connaissances et savoirs nécessaires dans le cadre de cette formation ;
- tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent travail.

## RÉSUMÉ

L'exploitation minière est une activité réputée pour ses impacts environnementaux et sociaux dommageables. Cette situation préoccupe de nos jours, tant les Etats, les sociétés minières que les populations locales. Le projet Kalsaka Mining dans la région du Nord du Burkina Faso à l'instar des autres projets miniers suscite des interrogations du fait de l'importance de ces sources d'impacts environnementaux et sociaux.

A travers cette étude, nous nous attelons à faire une évaluation des impacts des activités de Kalsaka Mining sur les ressources en eau et sol de la commune depuis son installation. Pour ce faire, les indicateurs de suivi environnemental mis en place par la société nous ont servi d'outils de mesure. Les principaux paramètres analysés (physico-chimiques) ont permis de déterminer la qualité des eaux et des sols par rapport aux normes OMS et moyennes internationales utilisées comme témoins. A la lumière de ces différentes analyses, il ressort que la qualité des eaux et des sols n'ont pas été altérées. Les quelques écarts rencontrés trouvent leurs justifications dans la géochimie du site. Mais, par contre au niveau du paysage, la qualité esthétique et visuelle a connu une dégradation.

En somme, nous en déduisons de façon globale et à la date de décembre 2012 que l'impact de l'exploitation minière sur les ressources en eau et sols de la commune de Kalsaka est faible. Mais, vu le dynamisme des phénomènes environnementaux en interaction permanente, des recommandations ont été formulées en vue d'une meilleure prise en compte des sources d'impacts environnementaux.

### Mots clés

---

**1- Impact**

**2- Sol**

**3- Eau**

**4- Environnement**

**5- Kalsaka Mining**

## **ABSTRACT**

Mining is reputed for its damaging environmental and social impacts. Nowadays, this concern as governments, mining companies as local population.

Kalsaka Mining project in the northern region of Burkina Faso, like other mining projects raises questions because of the importance of these sources of environmental and social impacts. For this study, we are working to make an assessment of the impacts of Kalsaka Mining activities on water resources and soil since his implementation.

To do this, environmental monitoring indicators established by the company were used as measurement tools. The main parameters analyzed (physico-chemical) were used to determine water quality and soil compared to World Health Organization (WHO) standards and international averages used as controls. To the different analyzes, it appears that the quality of water and soil have not been altered. The few differences find their justifications in the geochemistry of the site. But, the landscape visual quality and the aesthetic has deteriorated.

In sum, we conclude globally at the date of December 2012 that the impact of mining on water resources and soils of Kalsaka municipality is low. But due to the dynamism of environmental phenomena in constant interaction, recommendations have been formulated for a best management of sources of environmental impacts.

### **Key words**

---

**1- Impact**

**2- Soil**

**3- Water**

**4- Environment**

**5- Kalsaka Mining**

## SIGLES ET ABREVIATIONS

|                    |                                                                                            |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>BAD :</b>       | Banque Africaine de Développement                                                          |
| <b>BNDT :</b>      | Base Nationale de Données du Territoire                                                    |
| <b>BUNEE :</b>     | Bureau National des Evaluations Environnementales                                          |
| <b>CGCT :</b>      | Code Général des Collectivités Territoriales                                               |
| <b>DMA :</b>       | Drainage Minier Acide                                                                      |
| <b>EIE :</b>       | Etude d'Impact Environnemental                                                             |
| <b>EIES :</b>      | Etude d'Impact Environnemental et Social                                                   |
| <b>ETM :</b>       | Eléments en Trace et Métaux                                                                |
| <b>MEDD :</b>      | Ministère de l'Environnement et du Développement Durable                                   |
| <b>MES :</b>       | Matières En Suspension                                                                     |
| <b>ONG :</b>       | Organisation Non Gouvernementale                                                           |
| <b>PCD :</b>       | Plan Communal de Développement                                                             |
| <b>PEDD :</b>      | Plan d'Environnement pour le Développement Durable                                         |
| <b>PGES :</b>      | Plan de Gestion Environnementale et Sociale                                                |
| <b>RAF :</b>       | Réorganisation Agraire et Foncière                                                         |
| <b>SOCREGE :</b>   | Société de Conseil et de Réalisation pour la Gestion Environnementale                      |
| <b>SP/CONEDD :</b> | Secrétariat Permanent du Conseil National pour l'Environnement et le Développement Durable |
| <b>SNADDT :</b>    | Schéma National d'Aménagement et du Développement Durable du Territoire                    |
| <b>TDS :</b>       | Total Dissolved Salt                                                                       |
| <b>UICN :</b>      | Union Internationale pour la Conservation de la Nature                                     |

## SOMMAIRE

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| DÉDICACE.....                                                                                            | ii  |
| REMERCIEMENTS .....                                                                                      | iii |
| RÉSUMÉ.....                                                                                              | iv  |
| ABSTRACT .....                                                                                           | v   |
| SIGLES ET ABREVIATIONS .....                                                                             | vi  |
| SOMMAIRE .....                                                                                           | 1   |
| LISTE DES TABLEAUX.....                                                                                  | 2   |
| LISTE DES PHOTOS ET FIGURES .....                                                                        | 3   |
| INTRODUCTION.....                                                                                        | 4   |
| PROBLEMATIQUE .....                                                                                      | 5   |
| CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES IMPACTS DE L'EXPLOITATION MINIERE SUR<br>LES RESSOURCES NATURELLES..... | 7   |
| CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODE.....                                                                   | 13  |
| CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....                                                      | 18  |
| CHAPITRE IV : RESULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS.....                                                    | 31  |
| CONCLUSION .....                                                                                         | 43  |
| BIBLIOGRAPHIE .....                                                                                      | 45  |
| ANNEXE .....                                                                                             | 47  |
| TABLE DES MATIERES .....                                                                                 | 48  |

## LISTE DES TABLEAUX

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 1 :</b> Les points d'eau échantillonnés.....                              | 14 |
| <b>Tableau 2 :</b> Résultats des analyses des eaux de la période d'avant-projet..... | 24 |
| <b>Tableau 3 :</b> Résultats des analyses des eaux de 2008 à 2012.....               | 34 |
| <b>Tableau 4 :</b> Teneur des sols en ETM, 2011.....                                 | 38 |
| <b>Tableau 5 :</b> Teneur des sols en ETM, et cyanure, juin 2012.....                | 38 |

## **LISTE DES PHOTOS ET FIGURES**

### **Liste des photos**

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Photo 1 : effondrement des flancs d'une fosse.....                      | 32 |
| Photo 2 : effets de l'érosion sur les flancs de la halde à stérile..... | 33 |

### **Liste des figures**

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Figure n°1 : la zone d'étude .....                        | 13 |
| Figure n°2 : Localisation de la commune de Kalsaka.....   | 19 |
| Figure n°3 : Plan de masse des installations du site..... | 27 |

## INTRODUCTION

L'exploitation des ressources minérales a depuis des lustres, constituée la base de la richesse et/ou de la puissance de nombreux Etats. L'histoire de la plupart des grandes puissances économiques en dit long. Si le développement minier est promu par les uns comme un vecteur positif au plan de ses retombées économiques, il n'en est pas ainsi pour ses impacts environnementaux de plus en plus décriés. Cela, particulièrement dans les régions peu développées ou vivent des communautés autochtones dont une partie du mode de vie traditionnel dépend en grande partie de l'intégrité écologique du territoire. L'exploitation des ressources naturelles peut alors donner naissance à des conflits où l'environnement devient « un champs de bataille entre les intérêts divergents »<sup>1</sup> entre l'agriculture, l'orpaillage et l'exploitation minière industrielle. D'où les remous de plus en plus fréquents des populations locales à l'implantation des mines industrielles.

En effet, les ressources minérales localisées dans le sous-sol ne peuvent être accessibles sans le décapage, l'excavation de plusieurs couches de terre et, par conséquent, la destruction de la végétation.

Ainsi, face à la poussée du développement minier aurifère au Burkina Faso, on est en droit de se demander quelles sont les impacts environnementaux découlant de ces activités d'exploitation?

Le Burkina Faso est un pays sahélien confronté à de graves problèmes environnementaux qui se traduisent par une dégradation continue et irréversible des écosystèmes particulièrement fragiles.

Dans ce contexte, les aspects environnementaux de l'exploitation minière apparaissent comme des catalyseurs qui pèsent lourdement tant sur les ressources naturelles que sur l'économie et la société qui en dépend.

De nos jours, le Burkina Faso compte huit sites d'exploitation minière industrielle occupant des vastes superficies de terres. Alors, quelle est l'ampleur des impacts de cette activité sur les ressources naturelles dans un contexte de développement durable ? C'est dans cette optique que nous avons choisi de nous pencher sur le présent thème : « Analyse des impacts de l'exploitation minière sur les ressources en eau et sols de la commune de Kalsaka : cas du Projet aurifère Kalsaka Mining ».

Le présent mémoire se structure en quatre parties :

- le premier chapitre à partir des recherches bibliographiques traite des généralités ;

---

<sup>1</sup> M. Deshaies, Grands projets d'exploitation minière et stratégie des firmes pour se rendre environnementalement acceptables, 2001

- le deuxième chapitre dresse le cadre méthodologique pour la réalisation de cette étude ;
- le troisième chapitre présente la zone d'étude ;
- le quatrième chapitre présente les résultats, les analyses et discussions.

## PROBLEMATIQUE

Depuis le 19<sup>e</sup> siècle, les progrès de la science et de la technique contribuent de façon graduelle à améliorer notre confort et durée de vie. En contre partie, les besoins grandissants en ressources et en énergie conduisent à une exploitation souvent inconsidérée des sols et sous-sols. Ce qui a pour corollaire l'épuisement et la pollution des sols qui, parfois, deviennent stériles.

Par ailleurs, le boom minier actuel au Burkina-Faso pose d'énormes problèmes environnementaux par le biais de la dégradation continue des terres, de la végétation et de pollutions diverses. Les superficies occupées par l'exploitation minière sont de plus en plus importantes : Perkoa 31 Km<sup>2</sup>, Inata 1660 Km<sup>2</sup> ; Bissa 130 km<sup>2</sup> ; Kalsaka 360 Km<sup>2</sup>.

La terre étant le support de toutes les activités humaines, il arrive que les terres occupées par la mine soient préalablement des champs (paysans expropriés), des habitations (délocalisation) ou de la végétation. Les indemnisations ou les compensations reçues par les populations peuvent-elles se substituer de façon durable à l'agriculture, principale activité économique?

La politique nationale d'aménagement du territoire adoptée en juillet 2006 affirme comme principe de base que « les ressources naturelles de base, indispensables au développement économique, sont limitées, faiblement maîtrisées et se dégradent du fait de leur exploitation irrationnelle, ce qui renforce la tendance à l'appauvrissement de la population »<sup>2</sup>. Dans le contexte de développement durable, ces terres cultivables dégradées par l'activité minière peuvent-elles revenir à l'état initial un jour avec les risques de pollution et d'érosion accrus ?

Une autre question qui se pose est celle de la gestion de l'après mine. Avec la raréfaction des ressources naturelles et l'afflux massif de migrants, des risques de conflits d'intérêt sont à craindre d'autant plus que les revenus s'amenuiseront.

Au Burkina Faso, l'agriculture et l'élevage sont étroitement liés. Ainsi assiste-t-on à la disparition des zones de pâturage et des pistes de transhumance dans certaines zones minières. Ce qui peut avoir pour corollaire l'intensification des conflits agriculteurs-éleveurs dans les communes voisines.

---

<sup>2</sup> Schéma National d'Aménagement et du Développement Durable du Territoire, juillet 2011

De plus en plus, l'exploitation minière menace les sources d'eau dont nous dépendons tous. Ces sources d'eau, (en surface ou souterraine) peuvent être contaminées par divers produits chimiques utilisés dans l'industrie minière.

Par ailleurs, l'activité minière nécessite d'énormes quantités d'eau. Dans les zones arides ou les ressources en eau sont rares, cela peut susciter des inquiétudes d'autant plus que la pluviosité est en baisse.

Dans le même temps la qualité de l'air s'en trouve affectée du fait des gaz d'échappement, de la poussière soulevée par les engins lourds, les produits chimiques. Les conséquences sur la santé sont évidentes à moyens ou long terme. Toutes ces externalités négatives peuvent peser lourdement sur le développement économique local.

## **OBJECTIFS ET HYPOTHESES DE TRAVAIL**

### **Objectifs du travail**

Dans le cadre de cette étude, l'objectif global poursuivi est d'évaluer l'impact des activités de Kalsaka Mining sur les ressources en eau et sol la commune de Kalsaka.

Spécifiquement, il s'agira de :

- caractériser les différentes ressources en eau et sol de la commune de Kalsaka ;
- analyser les variations de la topographie du paysage et les paramètres physico-chimiques des eaux et sols de la zone d'influence du projet ;
- proposer des mesures de préservation et de gestion efficace des eaux et des sols pour un développement durable.

### **Hypothèses de travail**

- les ressources en eau et sol de la commune sont dans l'ensemble de qualité acceptable ;
- l'impact actuel de l'activité minière sur les ressources naturelles est faible ;
- la prise en compte de la spécificité du site dans le plan de gestion environnemental et social du projet permettra une meilleure gestion des impacts du projet.

# **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES IMPACTS DE L'EXPLOITATION MINIERE SUR LES RESSOURCES NATURELLES**

Les dégâts environnementaux inoubliables des décennies passées ont profondément marqué les consciences. En effet, dans certains Etats comme le Canada, les effluents acides (Drainage Minier Acide) des mines des années 30 continuent toujours d'affecter négativement l'environnement. La gestion environnementale des impacts de l'activité minières constitue une grande préoccupation tant pour les Etats que pour les sociétés minières.

Dans ce chapitre nous aborderons d'abord les principaux textes de lois qui régissent l'exploitation et la protection de ressources naturelles au Burkina Faso. Par la suite, nous allons nous appesantir sur les impacts potentiels de l'exploitation minière sur les ressources naturelles.

## **I CADRE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE DE LA PROTECTION DES RESSOURCES NATURELLES**

L'évolution du contexte international en matière d'environnement a été déterminante pour la constitutionnalisation du droit de l'environnement. En effet, suite aux longues périodes de sécheresse qui ont mis à rude épreuve la sécurité alimentaire, beaucoup de communautés ont compris que les ressources naturelles sont épuisables. Leur survie est compromise en l'absence de mesures de gestion et de protection. D'où l'élaboration d'outils juridiques et règlementaires comme fondement de la gestion de l'environnement.

### **1.1 Le cadre juridique : la Constitution**

La Constitution du Burkina Faso du 11 juin 1991 reconnaît à son article 14 les ressources naturelles comme un patrimoine national et elles sont utilisées pour l'amélioration des conditions de vie. A ce titre, elles bénéficient du droit à la protection. L'article 29 de la constitution stipule que : « le droit à un environnement sain est reconnu. La protection, la défense et la promotion de l'environnement sont un devoir pour tous ». Il met à la charge de l'Etat des obligations envers les citoyens, mais aussi vis-à-vis des générations futures envers qui nous avons le devoir et la responsabilité de léguer le patrimoine naturel dans un état acceptable (développement durable). Cette charge de l'Etat consiste à:

- prévenir et combattre les pollutions et leurs effets nocifs ;
- aménager le territoire national de façon à préserver ou constituer des zones biologiquement équilibrées;
- protéger les paysages et sites, créer et développer des parcs naturels ;

- promouvoir l'exploitation rationnelle et durable des ressources naturelles.

En outre, la Constitution à son article 101 détermine les principes fondamentaux de la protection et de la promotion de l'environnement. Tous ces articles témoignent de l'importance accordée à l'environnement dans la loi fondamentale. De plus, cela justifie la ratification des conventions internationales, l'élaboration de lois et décrets.

## **1.2 Le code minier**

La loi n°001-2003/ AN du 08 mai 2003 portant code minier fait la promotion des investissements dans le secteur minier au Burkina Faso. Cette loi traite de la préservation de l'environnement dans son chapitre V. Les articles 76 à 79 de ce chapitre concernent la préservation de l'environnement dans le cas des activités minières en raison des divers impacts négatifs sur l'environnement, la santé des populations et la sécurité des travailleurs. Cette loi, à son article 77, préconise spécifiquement l'usage de l'outil EIE. Ainsi, « tout demandeur d'un titre minier à l'exception du permis de recherche ou d'une autorisation d'exploitation de carrière, désireux d'entreprendre sur le terrain un travail susceptible de porter atteinte à l'environnement, doit conformément au code de l'environnement selon le cas, ou fournir une notice ou une étude d'impact sur l'environnement assortie d'une enquête publique et d'un plan d'atténuation des impacts négatifs et de renforcement des impacts positifs ».

L'article 71 du code recommande la mise en place d'un fonds de restauration des sites miniers. Ce fonds permettra de couvrir les coûts de la mise en œuvre du programme de préservation et de gestion de l'environnement.

## **1.3 Le code de l'environnement**

La loi n°005/97/ADP du 30 janvier 1997 est la source d'inspiration de tous textes en matière de préservation de l'environnement. Elle se donne pour objectif d'établir les principes fondamentaux destinés à préserver l'environnement et à améliorer le cadre de vie (article premier). Ce code à son article 2 édicte les principes fondamentaux suivants:

- la lutte contre la désertification ;
- l'assainissement et l'amélioration des conditions de vie des populations urbaines et rurales;
- la mise en œuvre des accords internationaux ratifiés par le Burkina Faso en matière de préservation de l'environnement.

Ainsi, le code dispose à son article 17 que les activités susceptibles d'avoir des répercussions sur

l'environnement sont soumises à l'avis préalable du ministre de l'environnement. L'avis est établi sur la base d'une Etude d'Impact Environnemental (EIE) ou d'une Notice d'Impact Environnemental (NIE).

Pour ce qui concerne les mesures sur la protection des eaux et des sols, l'article 49 stipule que sont réglementés, tous les rejets, dépôts ou déversements, toutes activités susceptibles de provoquer à court, moyen ou long terme, une dégradation de la qualité des sols et des eaux de surface ou souterraines.

Le ministère chargé de l'environnement et les départements ministériels concernés élaborent conjointement les normes de rejet ou de dépôt spécifique qui prennent en compte les exigences du milieu récepteur, la qualité de l'environnement et les considérations socio-économiques, culturelles et techniques. Ces normes qui sont révisées périodiquement servent de base à l'élaboration des autorisations spéciales de rejet ou de dépôt.

L'avis des autorités locales est idem selon les textes en vigueur. Les autorités locales édictent des mesures spécifiques de rejet ou de dépôt, prenant en compte les réalités biophysiques économiques, sociale et culturelles particulières à leur localité<sup>3</sup>.

#### **1.4 Le code forestier**

La loi portant code forestier fixe l'ensemble des principes fondamentaux relatifs à la conservation et à la gestion des ressources naturelles forestières, faunistiques et halieutique (article premier). Dans son article 2, ce code vise en particulier à établir une articulation harmonieuse entre la nécessaire protection de ces ressources et la satisfaction des besoins économiques, culturels et sociaux de la population. Pour tous grands travaux entraînant des défrichements, le code forestier dispose en son article 48 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 étude d'impact sur l'environnement.

#### **1.5 La loi d'orientation relative à la gestion de l'eau**

Cette loi dans son article 1<sup>er</sup> fait ressortir le problème de la préservation et de la restauration de la qualité des eaux, de la protection des écosystèmes aquatiques, des nécessités de santé et de salubrité publique. L'article 24 dispose que « sont soumis à autorisation ou à déclaration les aménagements hydrauliques et, d'une manière générale, les installations, ouvrages, travaux et

---

<sup>3</sup> Le Code de l'environnement du Burkina Faso, 1997

activités réalisés par toute personne physique ou morale publique ou privée, et entraînant, selon les cas des prélèvements d'eau superficielles ou souterraine, restituées ou non, une modification du niveau ou du mode d'écoulement des eaux, des déversements, écoulements, rejets ou dépôt direct ou indirect chronique ou épisodiques, même non polluants »

L'article 26 précise en son deuxième point que pour les installations, ouvrages, travaux et activités soumis à autorisation fixe en tant que de besoin, les prescriptions imposées au bénéficiaire en vue de supprimer, réduire ou compenser les dangers ou les incidences sur l'eau et les écosystèmes aquatiques.

## **II LES IMPACTS POTENTIELS DE L'EXPLOITATION MINIERE SUR LES RESSOURCES NATURELLES**

### **1.1 Les sols**

Le sol est le milieu naturel où naît et se développe la vie végétale et animale. C'est une ressource renouvelable très sensible aux activités humaines. Les forages et les tranchées effectués lors des travaux d'exploration minière entraînent une dégradation des sols. De même, les décapages lors du tracé des routes, les fosses d'exploitation du minerai occupent de vastes superficies de terres tout en les rendant stériles.

Les métaux précieux exploités dans le sous-sol sont en général en très faible teneur. A titre d'exemple, pour avoir 1 à 2g d'or, il faut extraire au minimum une tonne de matériel rocheux. Ce qui génère ainsi 99,99% de résidus, hormis le stérile franc de découverte. La question de la gestion de ces résidus miniers demeure toujours complexe du fait de la pluralité de la nature des roches. En effet, dans le cas des minerais sulfurés (courant dans le cas de l'or), les résidus au contact de l'air et des pluies avec le temps génèrent des effluents acides aux effets dévastateurs pour l'environnement.

Par ailleurs, les sols de par leurs propriétés physico-chimiques assurent plusieurs fonctions : la fonction alimentaire, la fonction filtre et la fonction biologique<sup>4</sup>. Les profonds bouleversements subis par les sols s'accompagnent d'un accroissement de l'érosion pendant les saisons pluvieuses. Il en résulte des ruissellements et des alluvionnements ou sédimentations dans les zones situées à l'aval.

En outre, les sols de l'environnement miniers sont souvent en proie à des pollutions diverses. En

---

<sup>4</sup> BRGM : Pollution des sols en contexte minier, septembre 2006

effet, les produits chimiques tels que le cyanure, les huiles usées et les effluents miniers peuvent contaminer les sols. Cela peut nuire aux fonctions biologique et alimentaire du sol et, partant, la vie de la faune et de la flore en place.

## **1.2 Les ressources en eaux**

L'eau joue un rôle capital dans l'activité minière. Elle est indispensable au traitement du minerai. Dans les milieux arides où les ressources en eau sont rares, les besoins en eau augmentent fortement. Pour des raisons économiques, le minerai ne pouvant être transporté de son lieu d'extraction, des systèmes de canalisation sont mis en place pour acheminer l'eau. Les ressources en eau très limitées sont mises à contribution. Cette forte demande d'eau peut persister sous certains cieux pendant longtemps après l'exploitation minière car, cette activité induit toujours une forte croissance de la population.

Du fait de l'interaction entre fonctionnement des sols et circulation des eaux continentales, les travaux d'excavation pour l'extraction du minerai influent sur le niveau et la qualité des eaux souterraines. En général, les minerais à extraire sont localisés en dessous du niveau hydrostatique. Cela nécessite le pompage régulier de l'eau de la nappe pour dénoyer les fosses : c'est l'exhaure.

Cette opération perturbe l'équilibre hydrogéologique du site. L'abaissement de la surface piézométrique de la nappe entraîne un déficit de l'alimentation en eau des exutoires naturels ou artificiels voisins. Un tel état de fait peut être à l'origine du tarissement des rivières, puits et la mort de végétaux.

Par ailleurs, l'utilisation d'explosifs pour la fragmentation des roches entraîne des fissurations au niveau du toit et du mur de la formation exploitée. Cela peut être à l'origine de nouvelles connexions hydrauliques. Il s'ensuit donc une modification du régime hydrodynamique général.

## **1.3 La faune et la flore**

De l'exploration à l'exploitation, les activités minières ont des impacts considérables sur la faune et la flore. Le décapage superficiel du sol effectué lors du tracé des voies et les excavations dans le but d'atteindre le minerai affectent directement la végétation en place qui est détruite. Aussi, les zones d'exploitation minière sont des lieux de fortes affluences humaines. Cela est à l'origine de fortes pressions sur les ressources ligneuses. D'énormes superficies de végétation sont ainsi détruites chaque année à travers le monde, amplifiant de façon graduelle le phénomène de la désertification.

Un autre aspect non négligeable de l'ouverture des fosses et de la déforestation est la perte de la biodiversité suite à la migration d'espèces fauniques. En effet, en raison de la destruction de la végétation et des sols qui constituent l'habitat de la faune et de l'avifaune, la faune sauvage peut migrer vers d'autres horizons où les conditions d'habitats sont favorables à leur adaptation. Par ailleurs, le rejet des effluents miniers contaminés dans les cours d'eau peut avoir des conséquences néfastes sur le développement de la faune aquatique.

De plus, l'utilisation de produits chimiques dangereux comme le cyanure pour le traitement du minerai peut être à l'origine de l'empoisonnement d'oiseaux et autres animaux qui viennent s'abreuver sur le site.

#### **1.4 L'air**

L'exploitation minière peut contribuer à la détérioration de la qualité de l'air à travers les émissions de gaz à effet de serre, et l'émission de poussières et de particules. En effet, toutes les phases de l'exploitation minière génèrent d'énormes quantités de particules de poussière provenant de la terre. Cela à travers des activités aussi diverses telles que le tracé des routes, le dynamitage des roches, le concassage et le broyage du minerai. Les particules de poussière émises dépendent de la nature du sol ou des roches à l'origine. Plus elles sont fines, plus elles persistent longtemps dans l'atmosphère. De telles poussières inhalées peuvent entraîner des maladies respiratoires. Le cas de la silicose due à la poussière de quartz en est un exemple patent. Dans les régions arides, ces émissions sont amplifiées du fait des vents secs, de la très faible densité de la végétation et de la rareté des pluies. Des particules poussiéreuses peuvent ainsi être transportées sur de longues distances. Elles peuvent s'avérer nuisibles à long terme sur les cultures et la santé de la population riveraine, d'autant plus qu'elles peuvent contenir des éléments en trace et métaux (ETM).

Eu égard à tous ces impacts, l'exploitation minière apparaît comme une activité fort dommageable pour l'environnement. D'où le bien fondé de la mise en place d'un cadre législatif et des outils réglementaires pour une meilleure gestion de ses impacts environnementaux.

Cependant, les impacts de l'exploitation minière diffèrent d'un milieu à un autre et d'une composante de l'environnement à une autre. Dans le but d'évaluer ces impacts sur les composantes eau et sols, nous utiliserons le matériel et la démarche spécifique à ces deux composantes.

## CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODE

### I LE MATERIEL

#### 1.1 Limitation de la zone d'étude

La zone concernée par la présente étude se structure autour des 140 ha de superficie occupée par les différentes installations. Il s'agit du site du projet et de sa zone d'influence entourée par les 5 villages. Nous avons exclusivement dans le cadre de cette étude limité la zone d'influence à l'espace situé dans un rayon de 6 km du cœur des activités minières.

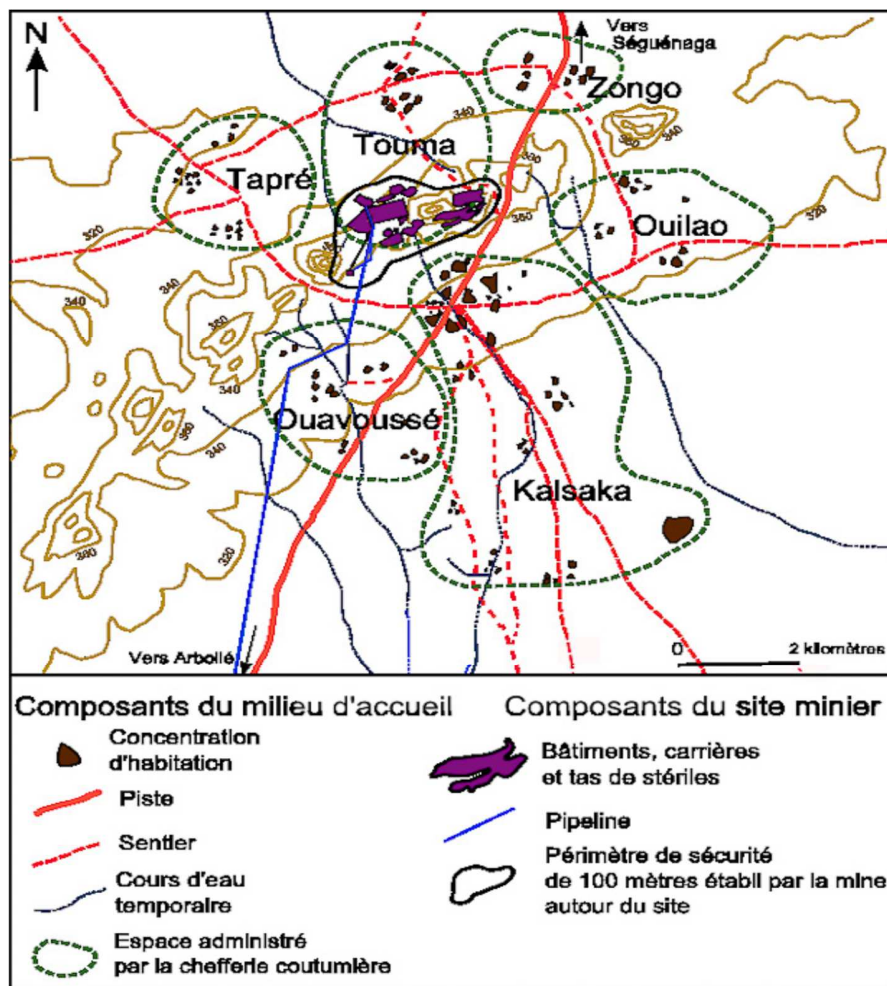


Figure n°3 : La zone d'étude

Source : Matthieu Thune, 2011

## 1.2 L'échantillonnage

### ➤ Les eaux

Une liste exhaustive des points d'eau des villages impactés par le projet a été élaborée par la société minière. Ces différents points d'eau font l'objet de suivi régulier durant toutes les phases du projet. La fréquence des campagnes d'analyse de ces eaux communautaires est trimestrielle en général mais mensuelle durant certaines périodes de l'année.

A partir de la carte des points d'eau disponible seulement en format A0 sur le site du projet, nous avons identifiés les sept points d'eau souterraine les plus proches de la zone d'influence immédiate du projet dans le cadre de cette étude. A ces sept points d'eau souterraine, s'y ajoutent les trois points d'eau de surface de la commune. Ils se composent comme suit :

- deux piézomètres : PZOK (pour le suivi du niveau de la nappe) et PZOA (point de contrôle des infiltrations) ;
- cinq points d'eau souterraine : constitués de deux puits et trois forages
- trois points d'eau de surface.

Tableau n°1 : Liste des points d'eau échantillonnés

| Numéro | Code | Nom, localisation         | Latitude     | longitude | Type                               |
|--------|------|---------------------------|--------------|-----------|------------------------------------|
| 1      | SW1  | Kalsaka Pouto             | 611329       | 1457205   | retenue d'eau                      |
|        | SW2  | Barrage kanazoé           | 602006       | 1441898   | barrage                            |
| 3      | SW3  | Barrage kalsaka mine      |              |           | retenue d'eau                      |
| 4      | PZOK | piézomètre Sighnonghin    | 14°57'33,3"N |           | Piéromètre                         |
| 5      | PZOA | piezo ADR                 | 14°55'12,8"N |           | Piéromètre                         |
| 6      | GW2  | Kalsaka : 1 CEG           | 609781       | 1455546   | Forage équipé d'une pompe manuelle |
| 7      | GW3  | Kalsaka 3: bobdil         | 610288       | 1456618   | Puits à grand diamètre             |
| 8      | GW24 | Kalsaka 5: camp cluff     | 606705       | 1459190   | Puits à grand diamètre             |
| 9      | GW26 | Tapre mossi 1: Kelguelgin | 606808       | 1460161   | Forage équipé d'une pompe à pédale |
| 10     | GW36 | Touma 1: Kombsa           | 608603       | 1460593   | Forage équipé d'une pompe à pédale |

Source : Kalsaka Mining SA

### ➤ Les sols

Au niveau des sols, sept types ont été échantillonnés dans la zone d'étude en 2011 et cinq autres en 2012 :

**TR** : terre rurale prise au niveau des champs avant aménagement pour observation culturale. Une observation visuelle montre un sol gravillonnaire (couche de 0 à 10cm) ;

**TS** : terre végétale correspondant au sol décapé de la carrière (colline) sur une profondeur de 20 cm. Ce sol est du type ferralitique gravillonnaire de couleur brune (couche de 0 à 10cm) ;

**CO** : sol d'implantation de la pépinière. Sol compacté par ajout de terre latéritique devant recevoir les installations des pépinières. L'observation visuelle indique un sol de type ferralitique gravillonnaire (couche de 0 à 15cm) ;

**TC** : terre mélangée avec la terra cotem, sorte de conditionnant du sol qui absorbe l'eau pour la restituer lentement à la plante. Ce sol non gravillonnaire a subi une modification apparente (couche de 0 à 15cm) ;

**WD** : sol des stériles devant être réhabilités provenant de la carrière d'extraction du minerai (mélange de plusieurs lithologies avec une couche de 0 à 10cm).

## **II. METHODE DE TRAVAIL**

### **1.1 La documentation**

Pour la réalisation de cette étude, nous avons effectué une exploration de connaissances théoriques, universitaires et pratiques relatives aux concepts clefs du thème de recherche. A cet effet, deux grandes catégories de documentations ont été consultées : une catégorie de documentation théorique, une catégorie de documentation pratique ou de terrain, à savoir les rapports d'EIES et de PGES.

### **1.2 La collecte et analyse des données**

Cette phase a consisté en la collecte et en l'analyse de toutes les données et informations relatives à notre thème d'étude. Les données collectées sont issues de la société minière et de nos observations et inspections du site.

La notion d'impact environnemental prend en compte les changements de paramètres environnementaux du fait de l'activité minière. Plusieurs composantes de l'environnement sont susceptibles d'être affectées. Mais trois sont concernées par cette étude :

- les eaux (la composition chimique);

- les sols (la composition chimique);
- les qualités esthétiques visuelles du paysage.

Dans le but de pouvoir apprécier ou évaluer le degré de l'impact, nous avons jugé nécessaire d'exprimer certaines composantes en paramètres quantifiable (pH, turbidité, teneur en ETM) : ce sont les indicateurs de suivi. Le type d'indicateur approprié dans notre contexte est « l'indicateur de stress », constitués par les agents ou les produits chimiques qui affectent l'état des différentes composantes de l'environnement.

Ainsi, les valeurs mesurées seront comparées à la gamme des «valeurs naturelles» du paramètre pour l'environnement initial du site minier, c'est-à-dire ceux de la période d'avant-projet ou des normes internationales des eaux et des sols. Pour ce faire, un état des connaissances sur l'environnement naturel du site est nécessaire. Cela est particulièrement important dans la mesure où les impacts à évaluer sont dus aux éventuels contaminants issus des résidus miniers ou produits chimiques. La prise en compte du fond géochimique s'avère alors nécessaire dans la mesure où le site se trouve dans un contexte d'anomalie naturelle caractérisée par une concentration en certains éléments au delà des normes. Par ailleurs, au niveau de la composante qualité esthétique visuelle, il n'existe pas de paramètres quantifiables. En effet, le paysage et les ressources visuelles sont définis comme la combinaison des composantes suivantes qui font partie du paysage et confèrent une qualité visuelle, esthétique ou pittoresque à l'environnement: la topographie, la végétation, et les cours d'eau. Les impacts visuels et paysagers surviennent quand de nouveaux éléments sont introduits dans le paysage, ou quand des éléments existants sont modifiés ou retirés. Dans chaque cas l'impact peut être perçu comme positif ou négatif par rapport à l'état initial du site selon l'ampleur de la modification. L'appréciation est donc qualitative dans ce cas.

## **1.2 Les principaux paramètres analysés**

Le choix de ces paramètres indicateurs de stress repose sur un certains nombre de principes : les paramètres sont susceptibles d'influencer négativement les composantes de l'environnement à une certaine concentration ou intensité. Certains sont d'origine naturelle et d'autres d'origine industrielle. Parmi les paramètres quantifiables, on peut citer entre autres :

- les chlorures : une forte teneur en chlorure (200 mg/l) peut indiquer une d'une part une pollution soit par des eaux usées domestiques, soit par des eaux d'origine industrielle. D'autre part, les chlorures peuvent être d'origine naturelle, car elles se trouvent dans l'environnement sous forme de sel de chlorure de sodium et/ou de potassium.

- le cyanure : composé très toxique, en général d'origine industrielle, il peut se retrouver dans l'environnement sous deux formes : les cyanures libres et les cyanures totaux. Les cyanures libres constituent la forme toxique. La concentration maximale dans l'eau est fixée à 0,07 mg/l.
- les Eléments en Trace et Métaux (ETM) : le suivi de la concentration en ETM (densité >5g/cm<sup>3</sup>) est très important, vu leur toxicité et leur bioaccumulation dans la chaîne alimentaire. De plus, ils ne peuvent être dégradés biologiquement ou chimiquement. La présence des ETM à une certaine concentration caractérise certains types de pollution. Les métaux lourds se dissolvent dans les eaux acides et précipitent dans les eaux neutres et basiques et s'accumulent dans les sols.
- le pH : il indique l'équilibre entre les acides et les bases d'un plan d'eau. Il influence également la toxicité de certains éléments en régissant un grand nombre de réactions chimiques. En dehors de la nature du sol et du sous-sol, le pH de l'eau peut être influencé par les rejets industriels.
- la turbidité : il mesure le caractère trouble de l'eau qui dépend des matières en suspension des planctons et autres micro-organismes.
- le TSS ou matières en suspension (MES): il s'agit des solides en suspension dans l'eau qui proviennent de sources naturelles (érosion), du ruissellement des terres agricoles, des haldes à stérile. Les matières fines peuvent convoier des contaminants et générer des problèmes de sédimentation dans les eaux.

## **CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

L'activité minière est très souvent source de conflits avec d'autres activités humaines du fait que le lieu du gisement ne se choisi pas. Ainsi, ce lieu peut présenter des conditions géographiques favorables ou défavorables. Alors, les conditions du site dicteront les méthodes d'exploitation de traitement et de gestion des impacts environnementaux.

Ce faisant, une présentation du milieu et de ses caractéristiques s'avère nécessaire.

### **I. LA COMMUNE DE KALSAKA**

#### **1.1 Situation géographique**

Kalsaka est une commune rurale de la région du Nord précisément de la province du Yatenga. Elle s'étend sur une superficie d'environ 646,4 km<sup>2</sup>. Elle est distante de 85 km de Ouahigouya, chef-lieu de la province et de la région. La commune de Kalsaka est limitée au nord par la commune de Séguénéga et Koussouka, au Sud par les communes de Kirsi et Gomposom de la province du Passoré, à l'ouest par la commune de Tougo (province du Zondoma) et à l'est par la commune de Rambo.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> PCD Kalsaka, 2009

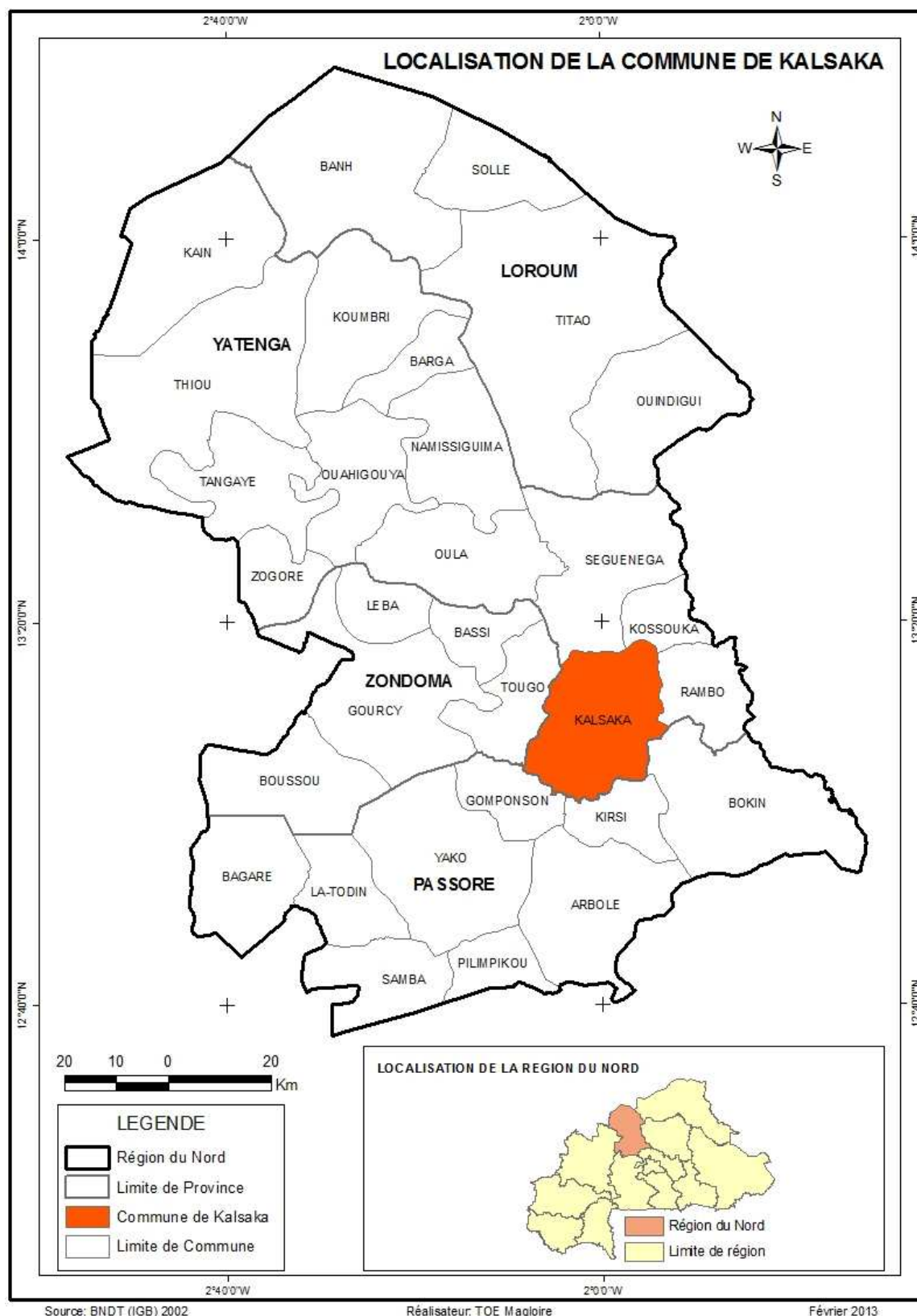


Figure n°2 : Carte de localisation de la commune de Kalsaka

## 1.2 Le milieu physique

### 1.2.1 Le climat

Localisée dans la région du Nord, à 120 Km de Ouagadougou, la commune de Kalsaka a un climat de type soudano-sahélien caractérisé par deux saisons bien contrastées : une saison sèche d'octobre à mai et une saison pluvieuse de juin à septembre. Ces saisons sont déterminées par deux types de masses d'air qui diffèrent par leur humidité et leur stabilité relative :

- les masses d'air du sud-ouest communément appelés mousson proviennent de l'anticyclone de Sainte Hélène. Elles apportent de l'air relativement frais avec d'abondantes précipitations notamment durant les mois de juillet à septembre ;
- les masses d'air du nord issus de l'anticyclone subtropical des Acores. Elles sont la source des vents chauds et secs avec de grands écarts de température. Au niveau local, elles se manifestent pendant les mois de novembre à mars par des vents chargés de poussière appelés harmattan<sup>6</sup>.

La pluviométrie moyenne annuelle est approximativement égale à 600 mm avec des évaporations très élevées avoisinant 3200 mm.

Le rapport entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration possible (indice d'aridité) se situe dans la fourchette allant de 0,05 à 0,65. Sur cette base, nous en déduisons que la commune de Kalsaka est dans une zone aride avec des moyennes maxima pouvant dépasser 40°C.

### 1.2.2 La végétation et la faune

La commune de Kalsaka appartient au domaine phytogéographique sahélien. Les principales formations caractéristiques de ce domaine sont les steppes arbustives dominées par des épineux et soumises à de fortes pressions anthropiques. L'effet conjugué de cette dernière avec les sécheresses récurrentes ainsi que la baisse des nappes phréatiques sont les causes de la dégradation de la végétation avec une forte mortalité des ligneux.

De façon générale, cette végétation est caractérisée par un fort taux d'occupation. Ce qui a engendré une surexploitation des ressources naturelles du fait des déboisements et des pâturages extensifs. Ainsi, la superficie des zones nues s'est accrue au détriment de la densité des ligneux qui s'est réduite (150 à 200 pieds par hectare). On peut distinguer :

---

<sup>6</sup> <sup>6</sup> EIE du projet aurifère Kalsaka Mining, 2004

- la strate graminéenne qui sert de pâturage d'appoint<sup>7</sup> ;
- la steppe arbustive localisée dans les petits reliefs résiduels intercalées par de nombreuses buttes cuirassées dont les versants se prolongent par de vastes glacis érodés pour terminer sur les vallées où drainent les eaux de ruissellement ;
- la strate arborée constituée de quelques individus sur les terrains rocheux.

Ces espèces végétales sont en grande partie intensivement exploitées à des fins diverses. Elles servent de bois de chauffe aux populations, à la confection d'outils utilitaires (chaises, mortiers). Cela constitue une menace pour ces espèces dont plusieurs sont en voie de disparition.

Au niveau de la faune, les mammifères se caractérisent par leur rareté. Mais, on y rencontre quelques singes rouges, des chats sauvages, des chauves souris, des chacals communs, le lièvre à oreille de lapin. Quant à l'avifaune, souvent utilisée comme indicateur de la richesse (biodiversité) d'un site, sa diversité est relativement pauvre. Dans les collines, les rapaces sont les plus fréquents, alors que les granivores sont attirés par la présence des cultures. Cette faune présente les principales caractéristiques des zones de steppes arbustives à arborées fortement anthropisées avec des ressources en eau rares durant la majeure partie de l'année<sup>8</sup>.

### *1.2.3 Le relief et les sols*

Suivant la topographie séquence du milieu, la commune de Kalsaka peut être subdivisée en deux unités paysagères. On distingue les pentes fortes et les pentes faibles.

#### Les pentes faibles

Elles sont constituées par les pieds de pente, les glacis et les vallées. Les pentes y sont faibles en général et les interfluves laissent apparaître des buttes ou affleurement latéritique. Le réseau hydrographique est composé de quelques cours d'eau temporaires et des voies de drainage le long des rigoles.

#### Les pentes fortes

C'est l'ensemble formé par les collines, les crêtes et les versants. Elles forment une chaîne discontinue dans la partie ouest de la commune. Constituées en général de roches cassantes ou tendres, elles subissent des dégradations du fait de l'érosion de leurs sols nus.

L'étude pédologique a mis en évidence huit types de sols répartis sur l'ensemble de la zone. Selon la taxonomie française, ils appartiennent à quatre classes :

---

<sup>7</sup> EIE du projet aurifère Kalsaka Mining, 2004

<sup>8</sup> PCD Commune de Kalsaka, 2009

- la classe des sols minéraux bruts constitués de matériaux sur cuirasse ferrugineux ;
- la classe des sols peu évolués constituée de matériaux gravillonnaire. Ils sont peu profonds (0-50cm). Ils ont dans leur ensemble une faible capacité de rétention en eau liée à leur texture. La fertilité chimique est basse ;
- la classe des sols à sesquioxydes de fer et/ou de manganèse ;
- la classe des sols hydromorphes aux bonnes réserves hydriques et à la fertilité chimique moyenne<sup>9</sup>.

#### *1.2.4 L'hydrologie*

La commune de Kalsaka est située dans le bassin hydrographique du Nakambé. La géomorphologie perturbée par endroit par des élévations collinaires dont l'altitude moyenne est comprise entre 300 et 400 m favorise les écoulements et les ruissellements<sup>10</sup>. Deux sous-bassins séparés par une colline se distinguent à l'échelle de la commune. Ils sont séparés par la colline de Kalsaka. Ces-sous bassins drainés par des marigots à écoulement temporaire convergent tous vers des affluents du Nakambé.

D'une superficie de 50.000 Km<sup>2</sup>, le bassin versant du Nakambé draine une grande partie du Burkina Faso. Mais, il n'y a pas d'encaissement du fait de la faiblesse des pentes. Ce qui explique l'irrégularité des écoulements. On distingue néanmoins quelques ressources en eau de surface : le barrage Oumarou Kanazoé, le barrage Kalsaka mine, la retenue d'eau Kalsaka Pouto.

Au niveau souterrain, les ressources en eau sont essentiellement exploitées à travers les puits et les forages. La profondeur des puits varie entre 10 et 35m. Ils sont localisés en général dans les zones où le niveau statique de l'eau est élevé (bas-fond, cours d'eau). Avec de faibles débits, un nombre important de ces puits tarissent pendant la saison sèche. Quant aux forages, ils peuvent atteindre des profondeurs de 50 à 100m. Mais les débits demeurent tout de même faibles.

---

<sup>9</sup> Profil des régions du Burkina Faso, 2010

<sup>10</sup> EIE du projet aurifère Kalsaka Mining, 2004

### **1.3 L'hydrogéologie et les caractéristiques générales des eaux de la localité**

La qualité des eaux est fortement liée à la nature et aux caractéristiques des roches encaissantes. Ce qui nécessite une caractérisation du fond géochimique de la zone. Le fond géochimique est la concentration naturelle d'un élément majeur ou trace dans un matériel géologique résultant uniquement de son histoire géologique (sédimentation, diagenèse pétrogenèse).

Selon la géologie, le socle cristallin sur lequel repose la localité comporte trois réservoirs d'aquifères superposés. Ce sont : les aquifères de la zone altérée, les aquifères du milieu fissuré et les aquifères des latérites.

Les aquifères captées par les forages correspondent aux zones de fractures ou de fissures dans la roche altérée. Il s'agit des nappes de fracture. Les altérations sont en général à séricite ou au kaolin (constitué d'aluminium, silice et potassium). Les associations minérales se composent de cuivre (chalcopyrite, bornite), l'arsenic et le zinc. Ainsi, les eaux contenues dans ces roches présentent dans certains cas des concentrations élevées en ces éléments. Au niveau des zones fissurées, les encaissants sont des roches sédimentaires dominées par les pyrites et l'arsénopyrite. Cela peut être à l'origine d'une concentration élevée en fer, arsenic et en magnésium des eaux souterraines. De plus, ces eaux sont caractérisées par une forte dureté, une alcalinité plus moyenne à élevée, une minéralisation plus marquée et un pH supérieur à 6.

Dans les aquifères latéritiques (nappes libres) qui correspondent en général aux puits, le pH de l'eau est généralement proche de 5 et la dureté plus faible. Ces eaux ont dans certains cas de fortes teneurs en fer et en aluminium. Mais de façon générale, elles sont faiblement minéralisées avec une faible alcalinité.

Tableau n°2 : Résultats des analyses de la période avant-projet

| Analyse des paramètres physico-chimiques avant projet |         |       |           |       |       |        |          |        |       |       |        |        |      |      |
|-------------------------------------------------------|---------|-------|-----------|-------|-------|--------|----------|--------|-------|-------|--------|--------|------|------|
| Nom                                                   | date    | pH    | Turbidité | MES   | TDS   | Dureté | Nitrates | Fer    | Cu    | Pb    | Hg     | As     | CN   | Al   |
| Barrage OK                                            | 06/2001 | 7,7   | 18        | 18,8  | 107   | 56,8   | <0,01    | 1,06   | <0,01 | <0,01 | <0,01  | <0,001 | 0    | 0,1  |
|                                                       | 02/2002 | 8,3   | 1,6       | 27    | 160   | 104    | 0,01     | 1,46   | <0,01 | <0,01 | <0,01  | <0,001 | 0    | 2,5  |
| Kalsaka CEG                                           | 02/2001 | 6,6   | <0,1      | 0,2   | 202,5 | 86,4   | <0,01    | 0,13   | <0,01 | <0,01 | <0,01  | <0,001 | 0    | 0,1  |
|                                                       | 06/2002 | 6,6   | 1,55      | 0,2   | 237,5 | 112,2  | 0,02     | 0,09   | <0,01 | <0,01 | <0,001 | <0,001 | 0    | 0,1  |
| Kalsaka Pouto                                         | 06/2001 | 6,5   | 19,4      | 102,6 | 27    | 13,9   |          |        |       |       |        |        |      |      |
|                                                       | 02/2002 | 6     | 3,6       | 783   | 20    | 44,3   | 0,1      | 54,3   | 0,07  | <0,01 | <0,001 | 0,012  | 0    | 42,3 |
| Puits                                                 | 06/2001 | 6,2   | 4,8       | 2,3   | 90    | 23,9   | 1,88     | 0,07   | <0,01 | <0,01 | <0,001 | <0,001 | 0    | 0,1  |
| « Sister »                                            | 02/2002 | 5     | 19        | 0,4   | 81    | 26,7   | 1,91     | 0,63   | <0,01 | <0,01 | <0,001 | 0,001  | 0    | 0,7  |
| Normes OMS                                            | 2006    | 7-8,5 | 5 NTU     | 20    | 1000  | 1000   | 10       | 0,5-50 | 0,05  | 0,01  | 0,01   | 0,01   | 0,07 | 0,2  |

Source : Kalsaka Mining SA

A la lecture du Tableau n°2, on constate que les valeurs des différents paramètres analysés durant cette période d'avant-projet (2001 et 2002) sont en général en dessous des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) des eaux de consommation ou de surface. Ce qui témoigne la bonne qualité de ces eaux. Mais les eaux de la retenue d'eau Kalsaka Pouto ont une turbidité et des teneurs en fer et en aluminium au delà des normes.

La pédologie du milieu a déjà révélé la forte présence des sols ferrugineux caractéristiques de milieux tropicaux. Cela explique la forte teneur de l'eau de la retenue en fer. De même les concentrations élevées en aluminium sont dues à la présence de la kaolinite (argile) constituée essentiellement d'aluminium, de silice et d'oxygène.

De façon générale, les eaux de surface de la zone du projet sont déminéralisées, avec des pH légèrement basiques à légèrement acides (8,3 à 6). Ces eaux peuvent être très colorées et contiennent des matières en suspensions généralement supérieures aux normes de protection de la qualité des eaux piscicoles au Burkina Faso (maximum 50mg/l). Les turbidités sont toujours très élevées. Aussi, on note la présence de traces d'arsenic dans presque tous les échantillons en provenance du sous-bassin de Kalsaka.

#### **1.4 Le milieu humain**

Au dernier RGPH de 2006, l'effectif de la population du département de Kalsaka s'élevait à 51.408 habitants répartis dans 51 villages avec une répartition par sexe de 23.992 hommes contre 27.416 femmes. A partir du taux d'accroissement de 2,15%, l'effectif de cette population est estimée à 54.796 habitants en 2009, avec une densité moyenne de 79,53 habitants/km².

La zone concernée par le projet Kalsaka Mining regroupe essentiellement les villages de Kalsaka, Ouavoussé, Tapré, Touma, Zoungwa et Ouilao.<sup>11</sup> Deux principales ethnies composent cette population : les Mossé et les Peuhls.

Les principales activités dans la commune sont l'agriculture, l'élevage et l'orpaillage. Un lien de cause à effet s'est établi entre l'agriculture et l'orpaillage du fait de l'aridité et des dynamiques démographiques de la région. En effet, il est reconnu que les mauvaises saisons pluvieuses synonymes de mauvaises récoltes sont à l'origine de l'augmentation et de l'intensification des activités d'orpaillage. Cette activité vient ainsi en appoint à l'agriculture comme source de revenus complémentaires.

L'agriculture dans la région connaît un dynamisme au niveau des techniques de production avec

---

<sup>11</sup> EIE du projet aurifère Kalsaka Mining, 2004

une forte tendance aux solutions extensives. Cela se traduit dans l'espace par de vastes superficies de champs où l'on cultive des variétés de céréales de plus en plus rapides, mais avec de faible rendement à l'hectare. Les principales spéculations sont : le mil, le sorgho, le maïs le riz, l'arachide, le sésame et le niébé<sup>12</sup>. La culture maraichère a pris de l'ampleur dans la commune à la faveur de la réalisation d'ouvrages hydrauliques dans la région du Nord. Elle se pratique en général autour du barrage Oumarou Kanazoé, dans les bas-fonds et aux abords des retenues d'eau.

L'élevage est la deuxième activité économique de la commune de Kalsaka. Le cheptel est assez diversifié, avec un effectif total de 121.168 têtes. Les principales espèces élevées sont par ordre d'importance numérique la volaille, les caprins, les ovins, les bovins, les asins, les porcins et les équins.

Par ailleurs, l'orpaillage constitue une véritable source de revenu pour la population. Cette activité est pratiquée tant par les hommes que les femmes, mais aussi par les enfants. D'autres activités non moins importantes comme le commerce, la pêche, l'artisanat, la chasse et la cueillette méritent d'être cités. Elles contribuent au dynamisme de l'économie locale.

## **II PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL : KALSAKA MINING**

### **1.1 La localisation du site**

Le permis d'exploitation du projet Kalsaka Mining couvre une superficie de 360Km<sup>2</sup>. Mais la surface occupée par le site d'exploitation ne couvre qu'une faible partie (0,39%). Le site actuel est localisé au nord de Kalsaka et entre les 6 villages de la zone du projet ci-dessus-cités. Elle est caractérisée par de fortes pentes dont les hauteurs varient entre 300 et 400m d'altitude.

---

<sup>12</sup> PCD Kalsaka, 2009

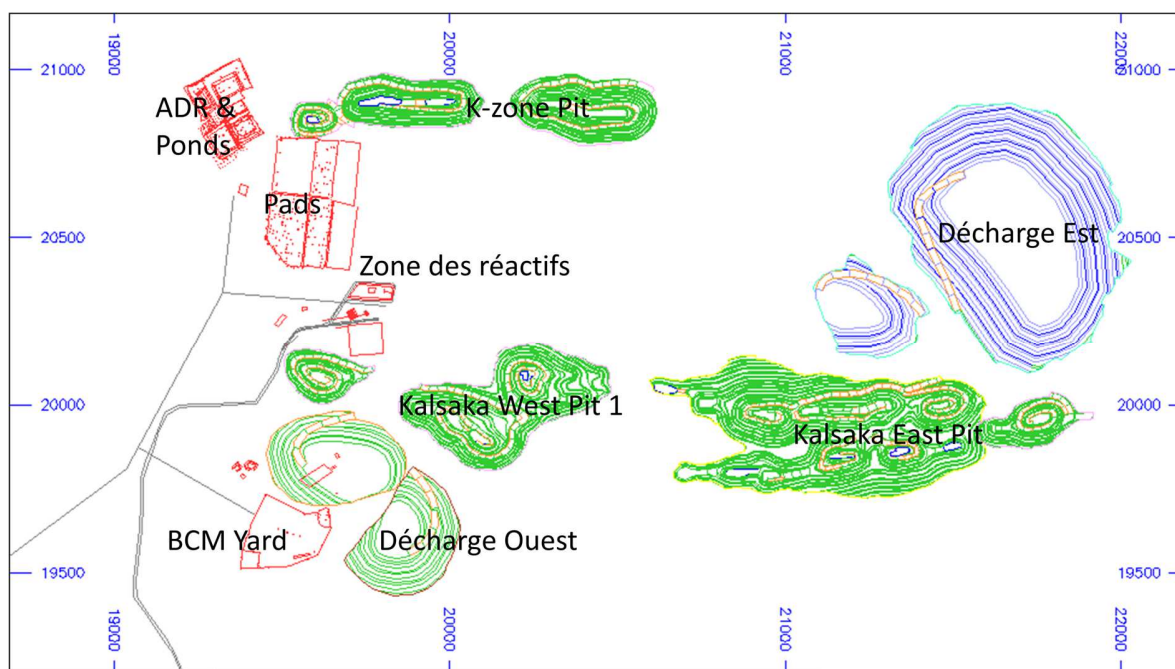


Figure n°3 : Plan de masse des installations du site

## 1.2 Les opérations d'extraction et de traitement

La méthode d'extraction dictée par le mode du gisement est à ciel ouvert. Le minerai est extrait dans des fosses emboîtées dont la profondeur varie entre 80 et 120m selon les fosses. La hauteur des gradins est de 12 m alors que les banquettes ont des largeurs de 15m. L'excavation est faite par des pelleteuses lorsque les roches sont tendres. Dans le cas des roches dures, la fragmentation se fait par dynamitage. La cadence de l'exploitation est estimée à 4400 tonne par jour soit 1 million de tonne par an. Par la suite le minerai est acheminé vers les concasseurs-broyeurs par les tombereaux de type CAT 777. Les voies de transport à l'intérieur des fosses sont des rampes de 15m de largeur, avec des pentes de 10%.

Des fosses au site de broyage, le minerai tout est réduit en fragments de moins de 150mm. Il est ensuite transporté par les convoyeurs à bande dans le silo d'agglomération. A l'intérieur du silo (cylindre rotatif de 2,7m de diamètre et de 9m de long), le minerai est mélangé au ciment pour permettre la stabilité et la porosité des tas de lixiviation. Ce minerai aggloméré est acheminé par convoyeur sur la plateforme de lixiviation<sup>13</sup>.

Le tas de minerai est arrosé par une solution cyanurée sur une surface synthétique imperméable, (géomembrane). La solution enrichie en or est récupérée au bas du tas par un système de tuyaux.

<sup>13</sup> EIE du projet aurifère Kalsaka Mining, 2004

Pour l'ensemble des procédés de traitement et de récupération du minerai, un certain nombre de produits chimiques sont utilisés : il s'agit du cyanure de sodium, de la soude caustique, de l'acide chlorhydrique, du charbon activé et du ciment. Notons aussi la présence de l'hypochlorite de sodium utilisé pour la neutralisation du cyanure en cas de besoin.

En particulier, le cyanure le plus toxique est utilisé et recyclé dans un système qui fonctionne en circuit fermé. Cependant, il se retrouve dans le tas de lixiviation sur le site. Au contact de l'atmosphère, le cyanure se dégrade facilement par action photochimique, mais il peut être au préalable entraîné hors du tas de minerai traité par les eaux de ruissellement.

### **1.3 L'approvisionnement en eau**

Les conditions hydrogéologiques du site ne sont pas favorables à l'exploitation intensive des eaux souterraines. Bien plus, les conditions topographiques et climatiques ne sont pas propices à l'accumulation permanente de l'eau dans une retenue. La seule option pour un approvisionnement conséquent en eau est celle du barrage Oumarou Kanazoé. Il s'agit du plus important barrage aménagé sur le bassin du Nakambé. Avec une superficie de 8.000km<sup>2</sup>, il peut accumuler un volume d'eau de 100.000m<sup>3</sup>.

A partir d'une station de pompage flottante installée sur le barrage à 20 km du site du projet, l'eau est acheminée à travers des pipelines de 150mm de diamètre. Le débit maximal de pompage est de 48m<sup>3</sup>/h. Ce barrage hydroagricole est géré par l'Agence de l'Eau du Nakambé (AEN). Au cours des premier et deuxième trimestre de l'année 2012, les volumes d'eau prélevés s'élevaient respectivement à 166.813 m<sup>3</sup> et 181.132 m<sup>3</sup>.

### **1.4 La nature du minerai**

La zone de Kalsaka appartient à la plateforme ouest-africaine constituée de roches cristallophylliennes. Elle est traversée par la ceinture de roches vertes du Burkina Faso bordée et par un socle de granitoïde. La séquence volcanique a été régionalement verticalisée, plissée isoclinalement à un niveau local et métamorphosée dans un faciès de schistes verts. Ce qui explique la géomorphologie ou le relief accidenté de la zone. Plusieurs zones de cisaillement accompagnées de fortes déformations ductiles ont été reconnues.

Deux types de minéralisation ont été observés dans la zone du permis :

- les minéralisations liées aux zones de cisaillement à veine de quartz associé en altération séricite, kaolin. Les associations minérales se composent de cuivre (chalcopyrite, bornite), l'arsenic et de zinc.

- en dehors des zones de cisaillement, nous avons les stockwerks qui réagissent à la déformation en cassant. Dans cet encaissant sédimentaire, la pyrite et l'arsénopyrite sont abondantes. Ce qui est synonyme de la présence de fer, arsenic et de magnésium (EIE 2004).

### **III LES ACTIONS DE GESTION ENVIRONNEMENTALE**

#### **1.1 Le suivi de la qualité des eaux**

Le suivi de la qualité de l'eau est nécessaire en ce sens qu'il permet de connaître la variation de la qualité de l'eau dans le périmètre d'exploitation de la mine. C'est une composante essentielle de la gestion environnementale du projet. Il permet d'évaluer la qualité de l'eau et le niveau de performance du confinement des produits chimiques pour une bonne fonctionnalité du projet.

Ainsi, au niveau des eaux souterraines et de surface, des campagnes d'analyse sont effectuées chaque trimestre par le Laboratoire de Chimie Organique Structure et Réactivité (LCOSR) de l'université de Ouagadougou. Les sources d'eau échantillonnées sont les forages, les puits et les barrages. Les différents paramètres physico-chimiques et biologiques sont contrôlés. De plus, deux piézomètres ont été réalisés sur le site du projet : l'un sert de point de contrôle des infiltrations et l'autre permet le suivi du niveau de la nappe.

#### **1.2 Le suivi de la qualité des sols**

Les différentes sources d'impacts pouvant affecter les sols ont été identifiés depuis la phase d'étude d'impact du projet. Conformément au plan de gestion environnementale, des actions de monitoring de la qualité des sols ont été mises en place en plus des mesures de conservation des sols intégrées dans la conception du projet. Elles visent à échantillonner de façon périodique les sols des zones à risque de contamination élevé pour des analyses.

Par ailleurs, des observations visuelles ou des inspections de routine effectuées comme mesures préventives permettent la détection précoce d'éventuels impacts négatifs et l'instauration rapide de mesures correctives.

#### **1.3 Le contrôle de la qualité de l'air**

Dans le but de mesurer le taux de poussière émise dans l'atmosphère, un programme de dust monitoring a été mis en place. Il consiste, d'une part à placer un appareil de mesure de poussière (micro dust) au niveau des différents postes de travail, en vue de mesurer la concentration de la

poussière dans l'air. D'autre part, des dust buckets (seau de collecte de poussière) contenant de l'eau distillée mélangée au sulfate de cuivre sont placés le long des voies et dans les villages. De façon périodique, les contenus de ces «seaux» sont collectés pour être analysés. Ce programme de suivi continu de la qualité de l'air permettra de détecter en temps réel tous les cas de non-conformité et d'y apporter les mesures correctives nécessaires.

#### **1.4 La collecte et la gestion des déchets**

La gestion des déchets se fait conformément à la législation en vigueur au Burkina Faso (code de l'environnement). Les grands principes sont :

- un registre de gestion régulièrement mis à jour (comptabilité des quantités) et type de déchets ;
- minimiser la production de déchets à tous les niveaux ;
- trier et recycler les déchets en vue de les revaloriser.

Ainsi, les solides ménagers comme les boîtes et bouteilles sont revalorisées. Pour les autres déchets (matières plastiques, déchets fermentescibles), ils sont déchargés dans des fosses ouvertes au niveau des haldes à stérile. Ces matériaux sont brûlés ou compactés afin d'éviter une dispersion par les vents. Les huiles usagées sont toutes récupérées et évacuées par le sous-traitant fournisseur de produit pétroliers, vers une filière de recyclage.

Pour ce qui concerne les déchets industriels spéciaux ou dangereux, certains seront recyclés et d'autres éliminés par le feu ou mélangés à du ciment et conditionnés dans des fûts avant d'être enfouis dans les décharges.

En somme, la commune de Kalsaka est située dans une zone aride où les ressources naturelles sont en proie à une forte dégradation du fait de la baisse de la pluviométrie et de la forte croissance démographique. Les ressources en eau dans l'ensemble sont de qualité acceptable, malgré la détérioration de la qualité de certains points d'eau.

Le site du projet Kalsaka Mining est entouré par six villages de la commune qui pourraient être impactés négativement par les activités de la mine. D'où la mise en œuvre d'un système de management environnemental pour atténuer ces impacts. Les résultats de ces actions de gestion environnementale nous permettront de mesurer l'impact de l'exploitation minière sur les eaux et les sols et, en même temps l'efficacité de ces actions.

## **CHAPITRE IV : RESULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS**

Dans le but de pouvoir de déterminer les éventuels impacts de Kalsaka Mining sur les ressources en eau et sols de la commune de Kalsaka depuis 2008 (début des activités), il était nécessaire de prendre en compte tous les résultats des analyses sur une longue période. Cela trouve sa justification dans le fait que l'évolution des phénomènes environnementaux est dans certains cas très lente. Le cas de la migration des ETM dans le sol est exemple patent. Cette migration dépend du type de climat, de la nature du sol et de ses caractéristiques physico-chimiques.

Dans cette partie, sont présentés les résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des eaux et des sols effectués depuis 2008 par la société minière. Ces résultats ont été analysés et interprétés en vue d'atteindre les objectifs de la présente étude.

### **I. RESULTATS**

#### **1.1 Les qualités esthétiques et visuelles**

L'emprise au sol de l'ensemble des infrastructures dans la zone du projet est de 140 ha. Mais, l'impact du projet sur les terres agricoles a touché environ 136 exploitants originaires de Kalsaka, Tapré, Zongo et Ouavoussé, soit une superficie totale de 292 ha. Les usages des sols aux impacts les plus dévastateurs sont les carrières (fosses), le stockage de stériles et les routes.

Le minerai est exploité à ciel ouvert dans six fosses avec des banquettes et des gradins (voire photo n°3 en annexe). Cela laisse des ouvertures béantes dans le paysage. Les flancs des collines entaillées sont de fortes empreintes indélébiles qui défigurent le paysage. La géomorphologie du site s'en trouve profondément perturbée. Une vue du paysage laisse désormais apparaître une topographie qui alterne forme concave, convexe avec des buttes et des terres de décapage.

En outre, on observe au niveau de certaines fosses des effondrements au niveau des parois.



Photo 1 : Effondrement des flancs d'une fosse.

Photo TOE<sup>14</sup>, 2013

De ces fosses, est issue une importante quantité de roches stériles dont la gestion exige d'importantes superficies de terres. Le tas constitué par cet agrégat de matériaux rocheux très hétérogènes constitue la halde à stérile. Le site de Kalsaka Mining compte plus de cinq haldes à stérile dont les superficies et les hauteurs augmentent sans cesse. La halde est soumise à une très forte érosion (Photo n°2). En effet, les eaux de ruissellement entraînent les éléments fins. Il en résulte des ravinements et des sédimentations à l'aval. Ce phénomène est accentué par la topographie de la zone caractérisée par de fortes pentes.

---

<sup>14</sup> Photo prise le 13/02/13 durant le stage.



Photo n° 2 : Effets de l'érosion sur le flanc de la halde à stérile.

Photo TOE, 2013

## **1.2 Les résultats des analyses des eaux**

Pour une meilleure appréciation de la qualité des eaux et des sols, les mesures des paramètres physico-chimiques (indicateurs) des quatre années (2008-2012) ont été prises en compte. L'ensemble de ces données permettront d'évaluer l'impact de l'activité minière sur les ressources en eau.

Tableau n°3 : Résultats des analyses d'eau de 2008 à 2012

| Codes                                    | Dates      | PH        | Turbidité | Cond  | Duret | Solides dissous | MES   | Mg    |
|------------------------------------------|------------|-----------|-----------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| SW1                                      | 01/11/2008 | 6,1       | 2000      | 113,6 | 29,5  | 88              | 260,8 | 2,7   |
|                                          | 08/10/2009 | 6,91      | 194       | 40    | 20    | 108             | 3,72  | 2,4   |
|                                          | 16/12/2010 | 8,4       | 310       | 4,8   | 15    | 28              | 245   | 1,6   |
|                                          | 18/11/2012 | 7,27      | 1000      | 120   | 52    | 114             | 0,09  | 5,83  |
| SW2                                      | 01/11/2008 | 6,5       | 40        | 6,4   | 18,8  | 38              | 19,9  | 1,7   |
|                                          | 08/10/2009 | 7,4       | 99,6      | 70    | 25    | 160             | 0     | 2,4   |
|                                          | 04/04/2010 | 7,95      | 3,38      | 106   | 35    | 253             | 0,001 | 6,1   |
|                                          | 19/05/2011 | 8,05      | 0         | 94    | 66    | 106             | 0,01  | 11,18 |
|                                          | 26/12/2012 | 7,71      | 0         | 101   | 36    | 96              | 0     | 4,37  |
| SW3                                      | 01/11/2008 | 6         | 440       | 48    | 15,3  | 38              | 414,5 | 1,4   |
|                                          | 08/10/2009 | 5,57      | 463       | 30    | 20    | 128             | 2,3   | 4,8   |
|                                          | 16/12/2010 | 7         | 435       | 3,3   | 14    | 21              | 64    | 1,4   |
|                                          | 28/07/2012 | 6,79      |           | 30    | 30    | 41              | 0,04  | 3,89  |
| GW2                                      | 01/11/2008 | 6,5       | 0,3       | 29    | 97,7  | 220             | <1    | 10,1  |
|                                          | 08/10/2009 | 6,83      | 2,46      | 330   | 125   | 296             | 0     | 18    |
|                                          | 16/12/2010 | 7,3       | 1,5       | 7,3   | 112   | 208             | 3     | 12,2  |
|                                          | 19/05/2011 | 6,73      | 0         | 330   | 132   | 269             | 0,003 | 16,53 |
|                                          | 18/11/2012 | 6,93      | 0,37      | 335   | 110   | 240             | 0,2   | 13,12 |
| PZOA                                     | 13/12/2011 | 6,99      | 0         | 161   | 63    | 129             | 0     | 4,98  |
|                                          | 28/07/2012 | 7,6       | -         |       | 82    | 142             | 0,06  | 10,2  |
| PZOK                                     | 13/12/2011 | 7,20      | 0         | 441   | 131   | 316             | 0     | 10,57 |
|                                          | 28/07/2012 | 7,5       |           |       | 184   | 279             | 0     | 21,9  |
| Normes OMS pour les eaux de consommation |            | 6,5 - 8,5 | <5        | 1000  | 200   | <1000           | 25    | 50    |

Source : Kalsaka Mining SA

Tableau n°3 : Suite

| Codes             | DATES      | PH      | Turbidité | Cond.   | Dureté | TDS   | MES   | Mg    |
|-------------------|------------|---------|-----------|---------|--------|-------|-------|-------|
| <b>Normes OMS</b> |            | 6,5-8,5 | 5         | 50-1500 | 200    | <1000 | 25    | 50    |
| GW3               | 01/11/2008 | 5,9     | 4         | 14,4    | 48,6   | 101   | 6,6   | 2,5   |
|                   | 08/10/2009 | 7,5     | 1,56      | 620     | 170    | 285   | 0     | 6     |
|                   | 16/12/2010 | 7,2     | 3,5       | 47,3    | 110    | 296   | 4     | 4,3   |
|                   | 19/05/2011 | 5,78    | 0,21      | 142     | 66     | 131   | 0     | 8,26  |
|                   | 28/07/2012 | 6,7     | NA        | 180     | 62     | 138   | 0,12  | 7,3   |
| GW24              | 01/11/2008 | 6,3     | 2,8       | NA      | 43     | NA    | NA    | NA    |
| GW26              | 01/11/2008 | 5,9     | 4,4       | 132,4   | 29,3   | 101   | 3,3   | 2,8   |
|                   | 08/10/2009 | 6,21    | 6,4       | 210     | 57,5   | 110   | 0     | 4,2   |
|                   | 16/12/2010 | 6,4     | 10        | 24,8    | 58     | 154   | 15    | 4,2   |
|                   | 26/03/2012 | 6,5     | 0         | 143     | 26     | 134   | 0     | 4     |
|                   | 18/11/2012 | 6,16    | 0,97      | 175     | 38     | 135   | 0     | 4,37  |
| GW36              | 01/11/2008 | 6,9     | 0,7       | 77,3    | 72     | 480   | 4,4   | 10,6  |
|                   | 08/10/2009 | 6,8     | 0,13      | 210     | 60     | 162   | 3,94  | 4,8   |
|                   | 04/04/2010 | 6,74    | 0,34      | 245     | 65     | 191   | 0     | 8,5   |
|                   | 19/05/2011 | 6,58    | 0         | 180     | 80     | 160   | 0,007 | 11,18 |
|                   | 18/11/2012 | 6,94    | 0         | 195     | 60     | 150   | 0,02  | 8,26  |

Source : Kalsaka Mining SA

**Tableau n°3 : Suite**

| Codes             | Dates      | Sulphates  | Cl-        | Fe            | Mn         | Cu<br>(total) | Arsenic<br>(total) | Hg            | total<br>cyanure |
|-------------------|------------|------------|------------|---------------|------------|---------------|--------------------|---------------|------------------|
| <b>Normes OMS</b> |            | <b>500</b> | <b>200</b> | <b>0,5-50</b> | <b>0,4</b> | <b>2</b>      | <b>0,01</b>        | <b>0,0006</b> | <b>0,07</b>      |
| <b>GW2</b>        | 01/11/2008 | 19,3       | 0,5        | <0,05         | <0,05      | <0,02         | <0,002             | <0,002        | <0,01            |
|                   | 08/10/2009 | 19         | 6,5        | 0,43          | 0          | <0,02         | 0                  | NA            | 0,004            |
|                   | 16/12/2010 | 23         | <0,1       | <0,1          | <0,02      | <0,02         | 0,002              | <0,001        | <0,01            |
|                   | 19/05/2011 | 5          | 0,04       | 0,17          | 0,2        | 0,001         | 0                  | 0             | 0,001            |
|                   | 18/11/2012 | 11         | <0,02      | 0,34          | <0,12      | <0,0008       | 4,75               | <0,0001       | <0,008           |
| <b>GW3</b>        | 01/11/2008 | <1         | 6,9        | 0,5           | 0,06       | <0,02         | 0,002              | <0,002        | <0,01            |
|                   | 08/10/2009 | 14         | 73         | 0,08          | 0          | <             | 0                  | NA            | 0,006            |
|                   | 16/12/2010 | 11         | <0,1       | 0,2           | <0,02      | <0,02         | 0,006              | <0,001        | <0,01            |
|                   | 19/05/2011 | 175        | 0,19       | 0,09          | 0          | 0,002         | 0                  | 0             | 0,005            |
|                   | 18/11/2012 | 96         | <0,02      | 0,61          | 0,15       | <0,0008       | 6,79               | <0,0001       | <0,008           |
| GW24              | 01/11/2008 | 23,1       | 0,4        | <0,05         | <0,05      | 0,02          | 0,004              | <0,002        | <0,01            |
| <b>GW26</b>       | 01/11/2008 | 1          | 6,2        | 0,34          | <0,05      | <0,02         | <0,002             | <0,002        | <0,01            |
|                   | 08/10/2009 | 2          | 21         | 0,39          | 0          |               | 0                  | NA            | 0,004            |
|                   | 16/12/2010 | <1         | <0,1       | <0,1          | <0,02      | <0,02         | 0,002              | <0,001        | <0,01            |
|                   | 19/05/2011 | 2          | 0,07       | 0,38          | 0,1        | 0,004         | 0                  | 0             | 0,001            |
|                   | 18/11/2012 | 2          | <0,02      | <0,01         | 0,04       | <0,0008       | <0,001             | <0,0001       | <0,008           |

Source : Kalsaka Mining SA

**Tableau n°3 : Suite**

| Codes                                    | Dates      | Sulphates  | Cl-        | Fe            | Mn         | Cu<br>(total) | Arsenic<br>(total) | Hg            | Cyanure<br>(total) |
|------------------------------------------|------------|------------|------------|---------------|------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| GW36                                     | 01/11/2008 | <1         | 57,7       | 0,33          | 0,07       | <0,02         | <0,002             | <0,002        | <0,01              |
|                                          | 08/10/2009 | 0          | 10         | 0,03          | 0          | <0,02         | 0                  | NA            | 0,008              |
|                                          | 16/12/2010 | <1         | <0,1       | <0,1          | <0,02      | <0,02         | 0,002              | <0,001        | <0,01              |
|                                          | 18/11/2012 | 0          | <0,02      | <0,01         | <0,12      | <0,0008       | <0,001             | <0,0001       | <0,008             |
| SW1                                      | 01/11/2008 | 28,5       | 14,7       | 238           | 3,41       | 0,26          | 0,069              | 0,004         | <0,01              |
|                                          | 08/10/2009 | 2          | 60         | 0,72          | 3          | <0,002        | 0                  | NA            | 0,009              |
|                                          | 16/12/2010 | 9          | <0,1       | 8,4           | 0,11       | <0,02         | 0,022              | <0,001        | <0,01              |
|                                          | 18/11/2012 | 7          | <0,02      | 4,89          | 0,66       | <0,0008       | 4,19               | <0,0001       | <0,008             |
| SW2                                      | 01/11/2008 | 2,4        | 1,5        | 2,42          | 0,12       | <0,02         | <0,002             | <0,002        | <0,01              |
|                                          | 08/10/2009 | 5          | 70         | 3,9           | 3,6        | <0,02         | 0,01               | NA            | 0,009              |
|                                          | 16/12/2010 | 6          | <0,1       | 3,1           | 0,02       | <0,02         | 0,004              | <0,001        | <0,01              |
|                                          | 19/05/2011 | 6          | 0,11       | 0,21          | 0,2        | 0,002         |                    |               |                    |
|                                          | 18/11/2012 | 1          | 0,03       | nd            | nd         | nd            | nd                 | nd            | nd                 |
| SW3                                      | 01/11/2008 | 6          | 2,6        | 30,2          | 0,33       | 0,05          | <0,002             | <0,002        | <0,01              |
|                                          | 08/10/2009 | 4          | 80         | 0,92          | 10,5       | <0,02         | 0,01               |               | 0,002              |
|                                          | 16/12/2010 | <1         | <0,1       | 13            | 0,14       | <0,02         | 0,006              | <0,001        | <0,01              |
|                                          | 18/11/2012 | 6          | <0,02      | 2,47          | 0,73       | <0,0008       | <0,001             | <0,0001       | <0,008             |
| PZOA                                     | 13/12/2011 | 0          |            | <0,03         | 0,3        | 0,04          | <0,001             | <0,0001       | <0,008             |
|                                          | 28/07/2012 | 0          |            | <0,01         | 0,21       | 0,01          | <0,001             | <0,0001       | 0,04               |
| PZOK                                     | 13/12/2011 |            |            | <0,03         | 0,3        | 0,02          | <0,001             | <0,0001       | <0,008             |
|                                          | 28/07/2012 | 1          |            | 0,46          | <0,01      | <0,0008       | 0,019              | <0,0001       | <0,008             |
| <b>Normes OMS / eaux de consommation</b> |            | <b>500</b> | <b>200</b> | <b>0,5-50</b> | <b>0,4</b> | <b>2</b>      | <b>0,01</b>        | <b>0,0006</b> | <b>0,07</b>        |

Source : Kalsaka Mining SA

### 1.3 Les résultats des analyses des sols

En 2011, huit (8) échantillons de sols ont été analysés dans le cadre du programme de réhabilitation et revégétalisation au vétiver. L'année suivante (2012), cinq autres échantillons ont été analysés. Les différents résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau n° 4: Teneur des sols en ETM, 2011

| N° échantillon | N° | As      | Cd   | Cu     | Fe        | Ni    | Pb   | Zn     |
|----------------|----|---------|------|--------|-----------|-------|------|--------|
| To             | 1  | 958,94  | 0,05 | 138,08 | 190465,82 | 54,97 | 0    | 91,71  |
| T1             | 2  | 559,24  | 0,11 | 131,08 | 225241,76 | 56,35 | 0    | 85,7   |
| T2             | 3  | 1684,57 | 0,08 | 138,55 | 208407,55 | 52,20 | 0    | 131,78 |
| T3             | 4  | 332,8   | 0,1  | 124,88 | 177397,15 | 42,42 | 0    | 78,73  |
| T4             | 5  | 1030,99 | 0,08 | 128,79 | 175846,63 | 58,98 | 0    | 108,74 |
| T6             | 7  | 332,80  | 0,08 | 152,81 | 355706,92 | 67,39 | 2,19 | 76,85  |
| T7             | 8  | 226,44  | 0,11 | 202,17 | 348397,32 | 44,5  | 5,20 | 24,57  |
| Valeur normale |    | 6       | 0,35 | 30     |           | 50    | 35   | 90     |

Barro, mémoire, GDM 2011

Tableau n°5 : Teneur en ETM, et cyanure, juin 2012

| Code           | As     | Cu     | Fe        | Zn     | CN libre | CN total | Ph eau |
|----------------|--------|--------|-----------|--------|----------|----------|--------|
| TS             | 32,86  | 238,89 | 282246,94 | 144,76 | 0        | 0        | 5,22   |
| TR             | 11,51  | 63,26  | 253891,5  | 66,97  | 0        | 0,04     | 5,84   |
| CO             | 108,86 | 184,37 | 374023,68 | 89,75  | 0        | 0,04     | 5,57   |
| TC             | 145,15 | 156,96 | 259106,83 | 67,37  | 0        | 0        | 6,64   |
| WD             | 80,55  | 123,9  | 203336,39 | 68,35  | 0        | 0,19     | 4,98   |
| Valeur normale | 6      | 30     |           | 90     |          |          | 6-8    |

Source : Kalsaka Mining SA

## **II DISCUSSIONS ET ANALYSES**

### **1.1 L'analyse des qualités esthétiques et visuelles**

Les carrières ont des répercussions importantes sur le paysage. Elles s'intègrent mal dans le paysage en créant une dissonance géomorphologique inhabituelle. Pour la population qui avait un profond attachement à son territoire, cela est négativement apprécié, d'autant plus que certaines collines du site étaient des lieux sacrés relevant du patrimoine culturel de la commune. Les conséquences sont évidentes sur le plan culturel.

Le stockage des stériles et autres déchets à la surface du sol est à la fois source d'instabilité physique et chimique. Ces perturbations engendrées au niveau du sol peuvent être durables. En effet, les roches sont de nature tendre au niveau de certaines zones et, sur les environs immédiats, reposent des tas de stérile ou tas de lixiviation. La pression exercée sur le sol par ses matériaux rocheux aux abords des fosses se traduit dans les fosses par des effondrements de la roche qui résiste à la pression par des déformations.

Au plan esthétique, l'impact visuel est désagréable. Nous pensons que les sites choisis pour certaines des haldes à stérile sont inappropriés. Ils ne répondent pas aux critères de choix des sites de stockage de stériles cités plus bas. De plus, l'exploitation de telles fosses est dangereuse du fait de l'instabilité des banquettes et des gradins.

### **1.2 L'analyse des eaux**

Six ans après les premières analyses, pendant la phase d'exploitation, les résultats des analyses effectuées (Tableau n°3) sont dans l'ensemble conformes aux normes OMS requises. Néanmoins, au niveau des paramètres physiques, les eaux de surface présentent des turbidités et des taux en MES assez élevés. Ces deux paramètres sont interdépendants. Les eaux de surface étant l'aboutissement des eaux de ruissellement, les terres et les matières organiques drainées par les eaux de pluie expliquent cet état de fait.

En outre on note des pH en deçà des normes au niveau des eaux souterraines GW3 et GW26. Ces eaux sont donc acides. Ce même constat a été fait depuis la phase avant-projet au niveau du puits Sister avec un pH de cinq caractéristiques des nappes libres de la zone.

En outre, après les analyses de 2002, la situation de ces points d'eau et les caractéristiques physico-chimiques ont pu évoluer. En effet, en 2007, le Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques a enregistré des plaintes faisant état de la présence

d'arsenic dans des points d'eau de la région du Nord. Cependant, ce taux était en deçà des normes au moment du forage de ces points d'eau. Cela pourrait s'expliquer par la baisse du niveau général des nappes constatée dans la région du fait de la diminution de la pluviométrie.

A l'examen de ces différents résultats, nous constatons que de la période d'avant-projet à nos jours, il n'y a pas eu de modification notable de la qualité physico-chimique des eaux, imputable à la société minière. L'activité minière n'a donc pas eut d'impact notable sur la qualité des eaux la zone d'étude jusqu'en 2012. Ce qui traduit une efficacité des mesures de gestion environnementales mises en place.

Cependant, nous relevons que les campagnes d'échantillonnage des eaux sont effectuées par un seul laboratoire. Nous n'avons pas eu connaissance du protocole des analyses, mais les résultats obtenus nécessiteraient d'être confirmés par d'autres laboratoires.

### **1.3 L'analyse des sols**

En 2011, selon les résultats contenus dans le Tableau n°4, tous les sols échantillonnés ont des concentrations élevées en ETM (arsenic, cuivre, zinc, nickel). La présence de ces métaux dans les sols analysés est attendue du fait de la nature des roches encaissantes et des types de minéralisation cités plus haut. En effet, les encaissants sont essentiellement des roches vertes ferromagnésiennes riches en fer, magnésium et autres métaux lourds comme le cuivre, zinc, arsenic. Ce qui est conforme aux caractéristiques des roches résiduelles en climat tropical riches en fer et en aluminium.

En 2012, les sols analysés ont pour la plupart des pH acides ( $\text{pH} < 6$ ). Le cyanure libre (forme toxique) est absent dans tous les sols, alors que les sols TS, CO et WD contiennent une faible teneur en cyanures totaux. Mais ces ions cyanures seront immobiles et stables tant que les pH resteront faibles. Cependant, l'acidité des sols peut être un facteur de dissolution des ETM contenus dans le sol. Ceux-ci deviennent alors plus mobiles pendant les périodes pluvieuses. Par conséquent, ils peuvent contaminer les ressources en eau.

Eu égard à la géochimie des sols de la zone du projet et des résultats des analyses de la période d'avant-projet, nous pouvons dire qu'il n'y a pas de non-conformité aux causes imputables à la société. Ainsi de façon globale, la qualité des sols de la zone du projet à la date des dernières analyses (2012) n'a pas été affectée par les activités de la mine. Cela témoigne d'une bonne gestion environnementale du projet.

### **III RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES**

#### **1.1 Atténuation des impacts visuelles et esthétiques**

Au niveau des fosses, la hauteur des gradins et les pentes du talus doivent être fonction des caractéristiques des roches en présence pour une plus grande stabilité des flancs. Cela est d'autant plus important que les fosses sont appelées à s'insérer dans leur environnement naturel en vue des usages futurs du site. Dans le but de limiter la dégradation de la physionomie du paysage, une géométrie d'exploitation et de remise en état du site pourrait être définie en fonction de la topographie environnante. Elle devrait permettre une transition harmonieuse entre les élévations naturelles, les haldes à stérile et les fosses.

Pour une plus grande stabilité des haldes à stérile, le choix du site d'entreposage doit répondre aux critères suivants :

- la présence de matériaux alcalins dans le sol, dans le but d'atténuer les risques de DMA ;
- l'altération esthétique (visible) doit être moins marquée ;
- une topographie qui permet de minimiser la hauteur des haldes ;
- le site ne doit pas être trop éloigné, ni trop exposé à l'érosion (pentes faibles) ;
- le site ne doit pas être à proximité d'une fosse ou d'une zone potentiellement instable ;
- le sous-sol ne doit pas être minéralisé, ce qui suppose qu'il a été préalablement exploré.

Pour ce qui concerne le profilage des haldes, les longues pentes ininterrompues sont beaucoup exposées au phénomène de l'érosion. Ainsi nous préconisons des pentes inférieures ou égales à 20 degrés suivies d'une contre-pente de 15 à 20 m comme à Essakane. Cela permettra le maintien de l'eau et son infiltration partant de l'accélération du processus de pédogenèse (genèse des sols), d'où la réhabilitation.

#### **1.2 La protection des eaux**

Le site de Kalsaka Mining, comme nous l'avons déjà souligné, est situé dans le bassin hydrographique du Nakambé. La géomorphologie du site favorise les ruissellements. Avec la présence du tas de lixiviation dont la superficie augmente sans cesse, les risques de contamination des eaux de ruissellement peuvent s'avérer important. En effet, l'étude d'impact environnemental a révélé que le bilan hydraulique du procédé, bien que déficitaire, aura un excédent pendant les

mois les plus humides (juillet, août, septembre)<sup>15</sup>. Pour cela, la réalisation des fossés de dérivation des eaux de pluie comme prévu depuis l'EIES est nécessaire. Aussi, des canaux d'écoulement doivent être aménagés autour du tas de lixiviation en vue de collecter les excédents d'eau de ruissellement du tas contaminée par le cyanure. Ces eaux pourront ainsi être canalisées dans un bassin afin d'être décontaminé. Des mesures similaires pourraient être appliquées au niveau des haldes à stérile dans le but de pouvoir contrôler et suivre les risques de DMA.

Par ailleurs, les analyses des eaux pourraient se faire dans plusieurs laboratoires pour s'assurer de la fiabilité des résultats.

### **1.3 La protection des sols**

Pour ce qui concerne l'analyse des sols, l'irrégularité des campagnes d'analyse et l'insuffisance de données sur la composition chimique sont des lacunes dans la surveillance environnementale. Cela ne permet pas d'identifier les tendances à long terme. De plus, l'épaisseur des sols échantillonnés est trop faible (15 cm), ce qui ne permet pas de prendre en compte tous les horizons du sol dans l'analyse. Les résultats des analyses pourraient ainsi être tronqués. Aussi, nous préconisons des fréquences d'échantillonnages plus élevées afin de pouvoir pallier toute non conformité dans les meilleurs délais.

En vue de compenser la perte de la végétation sur le site, nous recommandons une poursuite des actions de reboisement. Elle participe à la protection des sols contre l'érosion en facilitant l'infiltration de l'eau.

---

<sup>15</sup> EIES du Projet aurifère Kalsaka Mining, 2004

## CONCLUSION

L'objectif visé par cette étude était d'évaluer l'impact des activités de Kalsaka Mining sur les ressources en eau et sols de sa zone d'influence. Pour y arriver, une étude du site nous a permis de caractériser ces différentes ressources naturelles. Ce site est localisé dans une zone de fortes pentes au milieu de six villages de la commune de Kalsaka. Le climat est de type tropical sahélien caractérisé par une aridité. La faune et la végétation y sont faiblement développées. De plus, elles sont victimes de la forte pression anthropique. Les sols sont en général très pauvres et à dominantes minéraux bruts constitués de matériaux sur cuirasses ferrugineux. Mais ils sont exempts de toute contamination de source externe.

Les caractéristiques des sols influencent fortement la qualité des eaux du fait de l'interaction entre ces deux composantes de l'environnement. Ce qui explique la forte teneur des eaux de surface en fer, aluminium et manganèse.

Au niveau des ressources en eau, les études géologiques de la zone du projet ont révélé des minéralisations associées aux ETM tels que le zinc, le cuivre et l'arsenic. Il s'agit du cas de certaines nappes où ces éléments sont en concentration au delà des normes OMS des eaux de consommation. De même, les eaux de surface connaissent des turbidités élevées et d'importantes matières en suspension, conséquence du ruissellement et du drainage des terres arides.

Somme toute, la qualité des points d'eaux analysés dans le cadre de cette étude sont de qualité acceptable. Ce qui corrobore notre première hypothèse.

Dans le cadre de la gestion environnementale du projet Kalsaka Mining, des indicateurs de suivi de la qualité des eaux et des sols ont été mis en place. Il s'agit des paramètres physico-chimiques analysés de façon périodique. Les résultats analysés prouvent qu'il n'y a pas de contamination notable au niveau de ces ressources. Les quelques écarts observés trouvent leur justification dans la géochimie de la zone.

Pour ce qui est des impacts visuels sur le paysage, les activités du projet ont relativement altéré la qualité esthétique. De profondes perturbations ont porté atteinte à la géomorphologie du site. Les deux composantes (eau et sols) les plus importantes n'ont pas été affectées par les activités minières au vu des indicateurs. Mais la troisième composante (impact esthétique et visuelle) peut être appréciée négativement d'autant plus que la gestion du stérile en quantité grandissante est de plus en plus problématique.

Ainsi, de façon globale, l'ensemble de ces composantes peuvent être considérées comme

faiblement impactées. Nous pouvons donc dire que l'impact actuel des activités de Kalsaka Mining sur les ressources en eau et sol est faible conformément à notre deuxième hypothèse.

L'aridité du milieu et le relief accidenté du site sont des conditions à la fois favorables et défavorables au projet. Ainsi, l'impact environnemental d'un projet minier sera moindre dans un milieu aride du fait de la pauvreté de la biodiversité et de la faiblesse des effluents miniers. Par contre, la rareté des ressources en eau dans le milieu aride peut jouer sur la rentabilité du projet.

Dans la réalisation de l'étude d'impact, ces spécificités avaient été prises en compte. Mais, certaines mesures de gestion recommandées n'ont pas été mises en œuvre. Tout de même les impacts des activités minières sur les ressources naturelles sont jusque-là faibles. Mais dans un contexte de changement climatique, les risques de contamination du site au cyanure peuvent être élevés.

## BIBLIOGRAPHIE

### Ouvrages et articles :

- Cluff Mining Burkina Faso SARL (2004), Projet aurifère de Kalsaka, *Rapport d'étude d'impact sur l'environnement*,
- Deshaies M. (2001), Grand projets d'exploitation minière et stratégie des firmes pour se rendre environnementalement acceptables, *Revue de géopolitique*, 25p.
- Diallo M. (2010), Pratiques des industries extractives en Afrique de l'Ouest, UICN, 34p.
- Environnement Canada, (2009), Code de pratique écologique pour mines et métaux, 114p.
- International Finance Corporation (IFC), 2012; Performance standards on environmental and social sustainability, January 1.
- Gratzfeld J. (2004), Gestion des mines dans les zones arides et semi-arides, UICN, 122p.
- Bouchart M. A. (2004), Evaluation environnementale stratégique de la composante mine, *Projet d'appui aux sources de croissance*, Mali, 167p.
- Ministère de l'Administration territoriale et de la Décentralisation, Commune de Kalsaka, (2009), Plan de Communal de Développement (PCD) de Kalsaka, 120p.
- Ministère de l'Economie et des Finances, Direction Générale de l'Aménagement du Territoire et du Développement Local et Régional (2011), Schéma National d'Aménagement et du Développement Durable du Territoire (SNADDT), 371p.
- Ministère de l'Economie et des Finances ; Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (2011), Projet Initiative Pauvreté et Environnement au Burkina Faso, Analyse économique du secteur des mines, mai, rapport final, 96p.
- Ministère de l'Economie et des Finances, Direction Générale de l'Aménagement du Territoire et du Développement Local et Régional (2010), Profil des Régions du Burkina Faso, 455p.
- Société Financière Internationale (SFI); Rapport sur la Politique de durabilité environnementale et sociale, Janvier 2012, 17p.
- Thune M. (2011), Industrialisation de l'exploitation de l'or à Kalsaka, *Revue EchoGeo* n°17, 2011, 17p.
- Vasseur L. et al. (2011), Evaluation environnementale des projets et programme de développement, Manuel de cours, Burkina Faso Canada, BROCK University, 240p.

## **Sites web**

International Finance Corporation, Directives environnementales sanitaire et sécuritaire : <http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>. Site consulté le 20/09/12.

Généralités sur l'exploitation minière et ses impacts : <http://www.elaw.org/files/mining-eia-guidebook>  
Site consulté le 30/08/12.

Pollution des sols en contexte minier : [www.brgm.fr/Rapport](http://www.brgm.fr/Rapport) Site consulté le 10/12/12

<http://dpsm.brgm.fr/Pages/Default.aspx> Site consulté le 07/11/2012

## ANNEXE



Photo n°3 : Impact visuel des fosses dans le paysage

Photo TOE, 2013



Photo n°4 : Perturbation de la géomorphologie du site

Photo TOE, 2013

## TABLE DES MATIERES

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| DÉDICACE.....                                                                                            | ii  |
| REMERCIEMENTS .....                                                                                      | iii |
| RÉSUMÉ.....                                                                                              | iv  |
| ABSTRACT .....                                                                                           | v   |
| SIGLES ET ABREVIATIONS .....                                                                             | vi  |
| SOMMAIRE .....                                                                                           | 1   |
| LISTE DES TABLEAUX.....                                                                                  | 2   |
| LISTE DES PHOTOS ET FIGURES .....                                                                        | 3   |
| INTRODUCTION.....                                                                                        | 4   |
| PROBLEMATIQUE .....                                                                                      | 5   |
| objectifs et hypotheses de travail .....                                                                 | 6   |
| Objectifs du travail .....                                                                               | 6   |
| Hypothèses de travail .....                                                                              | 6   |
| CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES IMPACTS DE L'EXPLOITATION MINIERE SUR<br>LES RESSOURCES NATURELLES..... | 7   |
| I CADRE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE DE LA PROTECTION DES<br>RESSOURCES NATURELLES .....                  | 7   |
| 1.1 Le cadre juridique : la Constitution.....                                                            | 7   |
| 1.2 Le code minier .....                                                                                 | 8   |
| 1.3 Le code de l'environnement .....                                                                     | 8   |
| 1.4 Le code forestier.....                                                                               | 9   |
| 1.5 La loi d'orientation relative à la gestion de l'eau.....                                             | 9   |
| II LES IMPACTS POTENTIELS DE L'EXPLOITATION MINIERE SUR LES<br>RESSOURCES NATURELLES .....               | 10  |
| 1.1 Les sols.....                                                                                        | 10  |
| 1.2 Les ressources en eaux.....                                                                          | 11  |
| 1.3 La faune et la flore .....                                                                           | 11  |
| 1.4 L'air.....                                                                                           | 12  |
| CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODE.....                                                                   | 13  |
| I LE MATERIEL .....                                                                                      | 13  |

|                                                        |                                                                                 |    |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1                                                    | Limitation de la zone d'étude .....                                             | 13 |
| 1.2                                                    | L'échantillonnage .....                                                         | 14 |
| II.                                                    | METHODE DE TRAVAIL .....                                                        | 15 |
| 1.1                                                    | La documentation .....                                                          | 15 |
| 1.2                                                    | La collecte et analyse des données .....                                        | 15 |
| 1.2                                                    | Les principaux paramètres analysés .....                                        | 16 |
| CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....   |                                                                                 | 18 |
| I.                                                     | LA COMMUNE DE KALSAKA .....                                                     | 18 |
| 1.1                                                    | Situation géographique .....                                                    | 18 |
| 1.2                                                    | Le milieu physique .....                                                        | 20 |
| 1.3                                                    | L'hydrogéologie et les caractéristiques générales des eaux de la localité ..... | 23 |
| 1.4                                                    | Le milieu humain .....                                                          | 25 |
| II                                                     | PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL : KALSAKA MINING .....                   | 26 |
| 1.1                                                    | La localisation du site .....                                                   | 26 |
| 1.2                                                    | Les opérations d'extraction et de traitement .....                              | 27 |
| 1.3                                                    | L'approvisionnement en eau .....                                                | 28 |
| 1.4                                                    | La nature du minerai .....                                                      | 28 |
| III                                                    | LES ACTIONS DE GESTION ENVIRONNEMENTALE .....                                   | 29 |
| 1.1                                                    | Le suivi de la qualité des eaux .....                                           | 29 |
| 1.2                                                    | Le suivi de la qualité des sols .....                                           | 29 |
| 1.3                                                    | Le contrôle de la qualité de l'air .....                                        | 29 |
| 1.4                                                    | La collecte et la gestion des déchets .....                                     | 30 |
| CHAPITRE IV : RESULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS ..... |                                                                                 | 31 |
| I.                                                     | RESULTATS .....                                                                 | 31 |
| 1.1                                                    | Les qualités esthétiques et visuelles .....                                     | 31 |
| 1.2                                                    | Les résultats des analyses des eaux .....                                       | 33 |
| 1.3                                                    | Les résultats des analyses des sols .....                                       | 38 |
| II                                                     | DISCUSSIONS ET ANALYSES .....                                                   | 39 |
| 1.1                                                    | L'analyse des qualités esthétiques et visuelles .....                           | 39 |
| 1.2                                                    | L'analyse des eaux .....                                                        | 39 |
| 1.3                                                    | L'analyse des sols .....                                                        | 40 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| III RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES .....                  | 41 |
| 1.1 Atténuation des impacts visuelles et esthétiques ..... | 41 |
| 1.2 La protection des eaux .....                           | 41 |
| 1.3 La protection des sols.....                            | 42 |
| CONCLUSION .....                                           | 43 |
| BIBLIOGRAPHIE .....                                        | 45 |
| ANNEXE .....                                               | 47 |
| TABLE DES MATIERES .....                                   | 48 |