



REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté de Technologie
Département des Mines et géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Option : Exploitation minière

Présenté par :

FARAH OMAR

DEMIA HAMZA

Thème

*Etude quantitative et qualitative des rejets du kaolin du
complexe SOALKA spa pour une meilleure gestion*

Soutenu le 01 /07/2015 à 13h devant le jury composé de:

Présidente:	M ^{me} Z.SOUICI	MCB	Université de béjaia
Examinatrice:	M ^{me} K.KICHER	MAB	Université de béjaia
Encadreur:	M ^r A.AKDIM	MAA	Université de béjaia

Année Universitaire: 2014-2015

REMERCIEMENTS

A l'issu de cette étude, Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidé tout au long de notre travail.

Notre reconnaissance va plus particulièrement à :

*Notre promoteur **M^{onsieur} Akdim Abdelghani** pour avoir accepté de nous encadrer, Nous lui exprimons par la présente toute notre gratitude pour la confiance qu'il nous a prodigué, pour ses encouragements continus, pour le suivi de près de notre travail et pour ses qualités humaines.*

Notre respect aux membres du jury qui nous feront l'honneur d'apprécier mon travail.

L'ensemble des enseignants qui nous ont suivi durant notre cycle d'étude.

*M^{onsieur} **F.Louadjhani** le directeur de la Société Algérienne du Kaolin d'EL-Milia pour ses directives et ses conseils.*

*M^{onsieur} **Hamlaoui** pour ses appréciations et ses remarques.*

A tous les employeurs de la société SOALKA Spa.

H. Demia & O.Farah

Dédicaces

À qui je dédie cet humble travail si ce n'est à mes très chers parents, dont le sacrifice, la tendresse, l'amour, la patience, le soutien l'aide et les encouragements sont l'essence de ma réussite, sans eux, je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

- *À mes frères et leurs femmes qui ont toujours été présent pour moi.*
- *À ma petite sœur Aicha qui m'a toujours soutenu.*
- *À mes petites neveux Marouane, Idris, Achraf, Anis et mes nièces Asma, Amani et Khaoula ces petits anges qui nous comble de joie.*
- *À toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*
- *À tous mes amis et mes collègues : Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.*

À la mémoire de mes grands-parents Que Dieu vous accorde sa miséricorde.

DEMIJA HAMZA

Dédicaces

A qui je dédie cet humble travail si ce n'est à mes très chers parents, dont le sacrifice, la tendresse, l'amour, la patience, le soutien l'aide et les encouragements sont l'essence de ma réussite, sans eux, je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

- *A mes frères Hicham, Imad, Ali, Aymen, Khaled, Seif-eddine et mon grand frère Habib et sa femme qui ont toujours été présent pour moi.*
- *A ma sœur Karima qui m'a toujours soutenu.*
- *A mes petites neveux Adam, Lotfi et Noah ces petits anges qui nous comble de joie.*
- *A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*
- *A tous mes amis (Hamza, Yasser, Oussama, Zino, Charaf.....) et mes collègues: Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.*

Sans Oublier ma grande mère que je lui souhaite bonne et longue vie.

FARAH OMAR

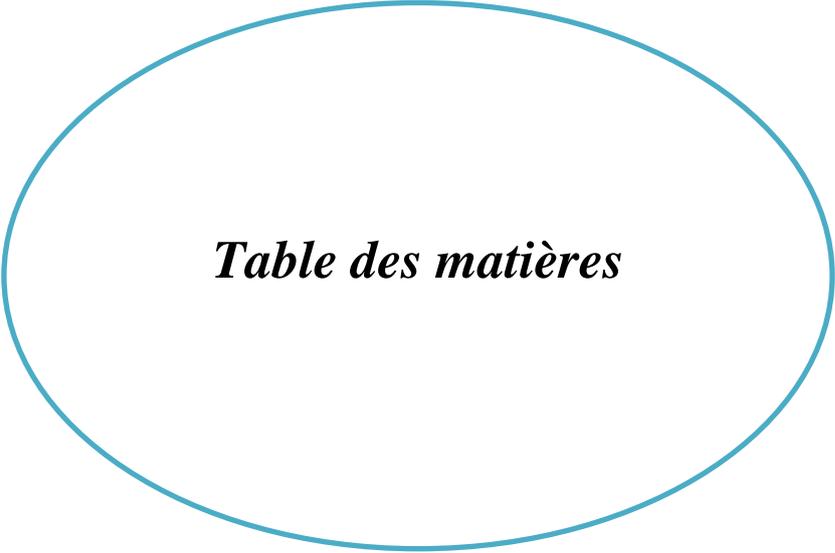


Table des matières

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Présentation du site et du minerai	
Introduction.....	3
Partie I : Présentation du site	3
I.1.Présentation de la société	3
I.2.Données géographiques	4
I.2.1.Situation géographique du complexe.....	4
I.2.2.Climat et végétation	5
I.2.3.Habitat.....	5
I.2.4.Réseau hydrographique.....	5
I.3.Hydrologie.....	5
I.3.1.Précipitation.....	5
I.3.2.Température.....	7
I.3.3.Vents.....	7
I.4.Géologie locale	8
I.5.Historique d'exploitation.....	9
I.6.Exigences légales.....	9
Partie II : Présentation du minerai	10
II.1.Généralités sur le kaolin.....	10
II.1.1.Définition du kaolin.....	10
II.1.2.Origines des kaolins.....	10
II.1.2.1.Kaolins primaires.....	10
II.1.2.2.Kaolins secondaires.....	12

II.1.3.Propriétés du kaolin.....	13
II.1.4.Composition chimique.....	13
II.1.5.Structure cristalline.....	14
II.1.6.Humidité du kaolin.....	15
II.1.6.1.Eau d'absorption	15
II.1.6.2.Eau de constitution.....	16
II.1.7.Kaolinite.....	16
II.1.8.Utilisation du kaolin.....	17
II.1.8.1.Kaolin utilisé en céramique.....	18
II.1.8.2.Kaolin utilisé pour la fabrication du caoutchouc.....	18
II.1.8.3.Kaolin utilisé pour la fabrication du plastique.....	18
II.1.8.4.Kaolin utilisé dans les cimenteries.....	18
II.1.8.5.Kaolin utilisé dans l'industrie du papier.....	19
II.2.Kaolin de Tamazert (KT).....	19
II.2.1.Origine du kaolin.....	19
II.2.2.Hétérogénéité.....	20
II.2.3. Localisation de la minéralisation.....	20
II.2.4.Méthode d'exploitation.....	20
II.2.4.1.Abattage et Moyens.....	21
II.2.5.Traitement du minerai.....	22
II.2.5.1.La voie humide.....	22
II.2.6.Composition chimique et minéralogique.....	25
II.2.7.Propriétés physico-chimiques des produits finis.....	26
II.2.8.Utilisation de KT2, KT3, KT3b.....	29
II.3.Etude d'impacts environnementaux.....	29
II.3.1.Impact sur les eaux.....	29
II.3.2.Impact sur l'air.....	30

II.3.3.Impact sur la faune et la flore.....	30
II.3.4.Impact sur le paysage.....	31
II.3.5.Impact du bruit	32
Conclusion.....	32

Chapitre II : Rejets miniers et techniques de la gestion

Introduction	33
Partie I : Généralités sur les rejets miniers.....	33
I.1.Définition d'un rejet minier.....	33
I.2.Classification des rejets miniers.....	34
I.2.1.Classification selon l'état.....	34
I.2.1.1.Rejets miniers solides.....	34
I.2.1.2.Rejets miniers liquides.....	36
I.2.1.3.Rejets miniers gazeux.....	38
I.2.2.Classification selon l'origine.....	39
I.2.2.1.Rejets du processus d'exploitation.....	39
I.2.2.2.Rejets de traitement du minerai.....	40
Partie II : Gestion des rejets miniers.....	41
II.1.Caractéristiques des résidus.....	41
II.1.1.Propriétés physiques.....	41
II.1.2.Propriétés chimiques et minéralogiques.....	41
II.2.Technique de gestion des rejets miniers.....	42
II.2.1.Digues de retenue.....	42
II.2.2.Les types des Dignes de retenue.....	42
II.2.2.1.Digue classique.....	42
II.2.2.2.Digue classique construite par étapes.....	43
II.2.2.3.Digue classique construite par étapes avec zone amont de faible perméabilité.....	44
II.2.2.4.Digue avec cœur de faible perméabilité constitué de résidus.....	45

II.2.2.5.Digue avec résidus au sein de la structure	46
II.2.2.6.Construction par la méthode ascendante avec plage ou paddock.....	51
II.3.Haldes à stériles.....	52
II.3.1.Caractérisations des haldes à stériles.....	52
II.3.2.Les différentes méthodes de mise en place d'une halde.	53
II.3.3.Comparaison entre les quatre différentes manières de mise en place d'une halde.....	55
II.3.4.Les avantages des haldes à stériles.....	56
II.3.5.Les inconvénients des haldes à stériles.....	56
II.4.Modes de défaillance des digues et des terrils.....	57
II.5.Barrières d'étanchéité.....	57
II.5.1.Définition d'une Barrière d'étanchéité.....	57
II.5.2.Types des barrières d'étanchéités.....	58
II.5.2.1.Barrière d'étanchéité active.....	58
II.5.2.2.Barrière d'étanchéité passive.....	58
II.5.3.Matériaux constitutifs des dispositifs d'étanchéité composite.	59
II.5.4.Utilisation des étanchéités.	59
II.6.Remblayage.	60
II.6.1.Les remblais miniers souterrains.	60
II.6.1.1.Les remblais miniers cimentés en pâte.....	61
II.6.1.2.Les remblais miniers hydrauliques.....	62
II.6.1.3.Les remblais miniers rocheux.....	62
II.6.2.Les dépôts en pâte de surface.	62
II.6.3. Les amendements alcalins cimentaires.....	63
II.6.4.Le remblayage des fosses.....	64
II.6.5.L'utilisation des rejets miniers comme matériaux de construction.....	64
II.7.Gestion subaquatique des résidus.....	65
Conclusion.....	65

Chapitre III : Etude quantitative et qualitative des rejets de Kaolin de Tamazert

Introduction.....	66
Partie I : Etude qualitative et quantitative des rejets du Kaolin KT.....	66
I.Rejets de tamazert.....	66
I.1.Présentation des rejets de tamazert.....	66
I.2.Calcul de la quantité annuelle des rejets (période 2005-2014)	68
I.3.Rejets de la phase extractive du kaolin KT.....	69
I.3.1.Les morts-terrains.....	69
I.3.2.Hématite.....	70
I.4.Rejets du processus de traitement KT.....	70
I.4.1.Le sable GO.....	70
I.4.1.1.Propriétés du sable GO	71
I.4.1.2.Evolution de la quantité du sable GO.....	72
I.4.1.3.Utilisation du sable GO.....	74
I.4.2.Le sable GOO	74
I.4.2.1.Propriétés du sable GOO.....	75
I.4.2.2.Evolution de la quantité du sable GOO.....	77
I.4.2.3.Utilisation de quartz GOO.....	78
I.4.3.Les argiles GW1 et GW2.....	78
I.4.3.1.Propriétés des argiles GW1 et GW2.....	79
I.4.3.2. Evolution de la quantité des argiles GW1 et GW2.....	80
I.4.3.3.Utilisation des argiles GW1 et GW2.....	82
I.5.L'eau de traitement.....	82
I.5.1.Décantation.....	82
I.5.2.Neutralisation de l'eau.....	83
I.5.3.Réutilisation de l'eau.....	83
I.6.Poussières.....	84

I.6.1.Origine des poussières.....	84
I.6.2.Composition des poussières.....	84
Partie II : Techniques de gestion des rejets du complexe de kaolin de Tamazert.....	85
II.1.Gestion des rejets de la carrière.....	86
II.1.1.Quantité des stériles prévisionnelle en 2015.....	86
II.1.2.Calcul du coefficient de recouvrement.....	87
II.1.3.Halde de stériles par eau gravitaire.....	87
II.1.4.Critique et évaluation de la technique.....	88
II.2.Gestion des rejets de l'unité de traitement.....	89
II.2.1.Storage des sables GO et GOO.....	89
II.2.2.Storage des argiles GW1 et GW2.....	89
II.2.3.Chargement et transport.....	90
II.2.4.Le milieu récepteur.....	90
II.2.5.Critique et évaluation de la technique.....	90
II.2.5.1.Plateforme de stockage.....	90
II.2.5.1.Evaluation des impacts.....	92
II.2.5.1.1.Effets sur le sol.....	92
II.2.5.1.2.Effets sur les eaux souterraines.....	92
II.2.5.1.3.Effets sur l'atmosphère.....	93
II.2.6.Proposition d'un plan de stockage des argiles GW1 et GW2.....	93
II.2.6.1.Objectif du plan de stockage.....	93
II.2.6.2.Choix du site.....	93
II.2.6.3.Les propriétés des résidus Miniers pris en considération dans un plan de stockage....	94
II.2.6.4.La composition minéralogique des argiles GW1 et GW2.....	94
II.2.6.5.Méthode proposée de stockage des argiles GW1 et GW2.....	95
Conclusion.....	95
Conclusion générale.....	96

Références bibliographiques	98
Annexes.....	102



Liste des figures

Liste des Figures

Figure I.1. Unité d'El-Milia W. de Jijel.....	3
Figure I.2. Localisation du gisement.....	4
Figure I.3. Histogramme des précipitations saisonnières de la région de Jijel.....	6
Figure I.4. Schéma de situation de la Kabylie de Collo dans le cadre géologique de la petite Kabylie.....	8
Figure I.5. Schéma d'échantillon de minerai du kaolin.....	10
Figure I.6. Coupe schématique d'un gisement de kaolin primaire.....	12
Figure I.7. Structure type 1:1, cas de la kaolinite.....	14
Figure I.8. Sites octaédriques selon la position des atomes d'oxygènes et hydroxyles dans une couche octaédrique idéale d'un minéral de type 1 :1(T.O).....	15
Figure I.9. Représentation schématique d'une couche tétraédrique.....	16
Figure I.10. Représentation schématique d'une couche octaédrique.....	17
Figure I.11. Représentation schématique d'une structure de kaolinite.....	17
Figure I.12. Le gisement de tamazert.....	21
Figure I.13. Schéma de l'hydrocyclone.....	23
Figure I.14. Schéma technologique de traitement du kaolin par voie humide.....	24
Figure I.15. Zone de déchargement des stériles de la carrière (CôtéSud Est).....	31
Figure II.1. Rejets miniers solides : stériles.....	35
Figure II.2. Rejets miniers solides: résidus.....	38
Figure II.3. Oxydation des sulfures et production du DMA.....	40
Figure II.4. Origines et types des rejets miniers.....	43
Figure II.5. Digue classique.....	44
Figure II.6. Digue classique construite par étapes.....	45
Figure II.7. Digue classique construite par étapes avec zone de faible perméabilité.....	46
Figure II.8. Digue avec zone centrale de faible perméabilité.....	47
Figure II.9. Rangée d'hydrocyclones sur le sommet d'une digue.....	48

Figure II.10. Types de digues élevées de façon séquentielle avec les résidus au sein de la structure.....	48
Figure II.12. Digues élevées par la méthode ascendante.....	49
Figure II.13. Construction d'une digue par la méthode descendante au moyen d'hydrocyclones.....	50
Figure II.14. Méthode longitudinale.....	51
Figure II.15. Halde à stériles.....	52
Figure II.16. Méthode de déversement à la benne (end-dumping).....	54
Figure II.17. Déversement avec épandage au butoir (push-dumping).....	54
Figure II.18. Déversement à la benne avec réglage (free-dumping).....	55
Figure II.19. Méthode avec pelle à benne trainante (dragline).....	55
Figure II.20. Barrière d'étanchéité.....	58
Figure II.21. Matériaux constitutifs des dispositifs d'étanchéité composite.....	59
Figure II.22. Schéma du processus de création des résidus en pâte.....	63
Figure III.1. Les proportions des produits finis et de rejets.....	67
Figure III.2. La courbe d'évolution de quantité des rejets par rapport ou production du kaolin de Tamazert (2005-2014).....	68
Figure III.3. Hydrocyclonage et débouillage de GO.....	70
Figure III.4. La composition chimique du sable GO.....	71
Figure III.5. Analyse granulométrique du sable GO.....	72
Figure III.6. La courbe d'évolution de la quantité du sable GO par rapport à la production de kaolin (2005-2014).....	73
Figure III.7. Hydrocyclonage et de débouillage GOO.....	75
Figure III.8. La composition chimique de sable GOO.....	76
Figure III.9. Analyse granulométrique de sable GOO.....	76
Figure III.10. La courbe d'évolution de la quantité du sable GOO par rapport à la production de kaolin (2005-2014).....	77
Figure III.11. La sousverse de GW1 et GW2.....	78

Figure III.12. La courbe d'évolution de la quantité des argiles GW1 et GW2 par rapport au kaolin traité (2005-2014).....	81
Figure III.13. Les bassins de décantation.....	83
Figure III.14. Différentes méthodes de stockage des résidus du kaolin.....	85
Figure III.15. Histogramme de la quantité des stériles.....	86
Figure III.16. Zone de déchargement des stériles de la carrière (côté Sud Est).....	88
Figure.III.17. Les plates-formes de stockage.....	89
Figure III.18. Déchargement et basculement.....	90
Figure III.19. Les inconvénients d'accumulation des résidus dans la plate-forme.....	91
Figure III.20. Accumulation des résidus dans les plates-formes.....	91
Figure III.21. Accumulation du GW dans la plate-forme N°3.....	91
Figure III.22. Accumulation des résidus au sein de l'unité.....	92
Figure III.23. Histogramme de la composition minéralogique de GW1 et GW2.....	94



Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1. Répartition des précipitations saisonnières (1999-2008).....	6
Tableau I.2. Répartition des températures et précipitations moyennes mensuelles (1999-2008).....	7
Tableau I.3. Propriétés générales du kaolin.....	13
Tableau I.4. Analyse chimique d'un échantillon du tout-venant.....	25
Tableau I.5. Composition minéralogique d'un échantillon du tout-venant.....	25
Tableau I.6. Propriétés physico-chimiques de produit fini KT2.....	26
Tableau I.7. Propriétés physico-chimique de produits fini KT3.....	27
Tableau I.8. Propriétés physico-chimiques de produit fini KT3B.....	28
Tableau I.9. L'utilisation du kaolin KT.....	29
Tableau II.1. Les différents types de contaminant des eaux de mines.....	36
Tableau II.2. Rejets de traitement du minerai.....	40
Tableau III.1. Les proportions des produits et des rejets.....	67
Tableau III.2. Evolution de la quantité des rejets du kaolin de Tamzert.....	68
Tableau III.3. La composition chimique de sable GO.....	71
Tableau III.4. Analyse granulométrique de sable GO.....	71
Tableau III.5. Evolution de la quantité du GO (2005-2014).....	73
Tableau III.6. La composition chimique de sable GOO.....	75
Tableau III.7. Analyse granulométrique de sable GOO.....	75
Tableau III.8. Evolution de la quantité du GO (2005-2014).....	77
Tableau III.9. La composition chimique des argiles GW1 et GW2.....	79
Tableau III.10. Analyse granulométrique des argiles GW1 et GW2.....	79
Tableau III.11. Evolution de la quantité des argiles GW1 et GW2.....	80
Tableau III.12. Quantité des stériles prévisionnelle en 2015.....	86
Tableau III.13. La composition minéralogique de GW1 et GW2.....	94



Liste des abréviations

Liste des abréviations

AEP: Alimentation en Eaux Potables.

Å: Angström ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$).

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

DA : Drainage Acide.

DIN 18130- 1 : Norme Allemagne désigne Sol - reconnaissance et essais; Détermination du coefficient de perméabilité à l'eau - Partie 1: Essais de laboratoire.

DMA: Drainage Minier Acide.

DNC : Drainage neutre contaminé.

DPS : Dépôt en Pâte de Surface.

EPA: Environmental Protection Agency.

GOO, GO: Rejets quartzeux riches en silice caractérisant respectivement les grains moyens et les gros grains.

GW1, GW2: Rejets siliceux de traitement du kaolin d'El-Milia riches en feldspaths.

ICOLD: The International Commission on Large Dams.

IGR: Installation de Gestion des Résidus.

KHD : Humboldt Wedag est une société allemande d'ingénierie qui fournit des machines, des pièces et des services, y compris l'ingénierie des processus et de gestion de projet pour l'industrie mondiale du ciment.

K: Coefficient de recouvrement

KT1, KT2, KT3, KT3b: Kaolin de Tamazert.

KT3B: Kaolin Tamazert blanchi.

KT_T: Kaolin tamazert traité.

KT_P : Kaolin tamazert Produit.

m/s: mètre/second.

NE : North-East (Nord-Est).

NO_x : Les oxydes d'azote (NO_x).

ONM : Office national de la météorologie.

PGA: Potentiel de Génération Acide.

PH: Potentiel Hydrogène.

PVC: PolyVinyChloride.

Re: Rejets.

RMCP : Les Remblais Miniers Cimentés en Pâte.

SONAREM : Société Nationale Algérienne de la Recherche et d'Exploitation Minière.

SW: South -West (Sud-Ouest).

SOALKA : Société Algérienne du Kaolin.

SO₂ : Le dioxyde de soufre.

T.V: Tout-Venant.

T.V.AB: Tout-Venant Abattu.

.

Introduction générale

Introduction générale

Le but de l'exploitation minière est de satisfaire la demande de ressources en métaux et en minéraux afin de développer, entre autres, les infrastructures et d'améliorer la qualité de vie de la population, étant donné que les substances extraites constituent bien souvent les matières premières destinées à la fabrication de nombreux biens et matériaux. Dans toute activité minière, les étapes types du processus comprennent l'extraction, puis le traitement du minerai et enfin l'expédition des produits et la gestion des résidus [1].

La gestion des rejets provenant d'activités minières et des résidus et stériles dont traite en particulier ce travail, représente habituellement une charge financière indésirable pour les exploitants. Généralement, la mine et l'usine de traitement du minerai sont destinées à extraire autant de produits commercialisables que possible, et la gestion des résidus et de l'environnement dans sa globalité est alors conçue comme une conséquence des étapes du procédé[1].

Le kaolin est une argile blanche, douce et plastique composée principalement de fines particules sous forme de plaquettes. Il fait partie de notre environnement, ses utilisations sont multiples :

Sa blancheur et sa plasticité le rendent particulièrement approprié pour un usage extensif comme charge, agent d'allongement, matière première pour la céramique et comme pigment. C'est également une matière première importante pour les réfractaires [2].

Cette étude concerne la gestion des rejets des kaolins locaux de Tamazert (KT) qui proviennent de la phase d'extraction du minerai ainsi que les différents rejets résultants du processus de traitement (rejets de laverie) et qui ne cessent pas de s'accumuler en envahissant des grandes aires vertes et des terrains agricoles.

Ce travail s'articule autour de trois chapitres :

Le chapitre I comprend la présentation de la société SOALKA, l'aspect géologique de la région incluant les données géographiques, les travaux historiques des études géologiques et d'exploitation. Il représente une description du kaolin de Tamazert, la méthode d'exploitation et son mode de traitement ainsi que sa composition chimique, son utilisation et les impacts sur l'environnement.

Le chapitre II présente des notions générales relatives aux rejets miniers, leurs types et caractéristiques, le drainage minier acide (DMA) ainsi que les différentes techniques de la gestion des résidus miniers.

Dans ce chapitre III on se concentre sur les rejets du kaolin de Tamazert, leur qualité et quantité ainsi que leurs modes de stockage et la mise au point de gestion approprié.

Chapitre I

Présentation du site et du minerai

Introduction

Le kaolin est une argile blanche de plasticité variable. Il est généralement friable et réfractaire. Il entre dans la composition des pâtes céramique et de la porcelaine dure et il est très abondant dans l'écorce terrestre.

Ce chapitre a pour objectif de mettre en évidence la présence de cette roche argileuse dans la région d'El-Milia (Est d'Algérie) qui est extraite et traitée par la société SOALKA. Nous allons aussi connaître l'aspect géologique de la région, incluant les données géographiques, les travaux historiques des travaux géologiques et d'exploitation, une description du kaolin de Tamazert, la méthode d'exploitation et son mode de traitement ainsi que sa composition chimique, son utilisation et les impacts sur l'environnement.

Partie I : Présentation du site

I.1. Présentation de la société

SOALKA (Société des kaolins d'Algérie) est une société spécialisée dans la production, la commercialisation et le développement du kaolin.

- Le complexe des Kaolins d'El-Milia (Jijel).
- La mine Djebel Debbagh (Guelma).



Source: Google Earth

Figure I.1. Unité d'El-Milia W. de Jijel.

SOALKA spa est composée :

- D'un complexe de traitement de minerai de kaolin d'une capacité de 50 000 tonnes/An
- D'un gisement de kaolin de plus 15 Millions de tonnes de réserves. [3]

I.2. Données géographiques

I.2.1. Situation géographique du complexe

Le complexe de kaolin d'El-Milia (gisement et usine de traitement) objet de cette étude est situé à 4 Kilomètres au Nord-Est de la ville d'El-Milia, dans une localité appelée Affalaz.

Le gisement de Tamazert se situe au Nord-Est de l'Algérie, plus précisément en petite Kabylie. Il est limité à l'ouest par la ville de Jijel (à 45km à vol d'oiseau), Au Nord par la mer méditerranéenne (10 km à vol d'oiseau) et à l'Est par la ville de Collo (35km) (Fig. I.2).

Administrativement, le secteur minéralisé fait partie de la wilaya de Jijel. Le gisement de Tamazert est situé à 17 km au Nord d'EL- Milia. Il est entouré au Nord-Ouest par le djebel Adjar. A l'Ouest par le douar Ouled Boufaa, au Sud par le douar Chefra et à l'Est par les collines d'Azarar. Le gisement est compris entre la longitude $6^{\circ} 5'$ et la latitude boréale $36^{\circ} 5'$. Le douar M'Chatt, où se trouve le gisement du kaolin de Tamazert fait partie d'un massif montagneux au cœur du massif de la Kabylie de Collo. Le point culminant de la région se trouve à 700m (Ain Sra). Les reliefs sont relativement abrupts. [4]

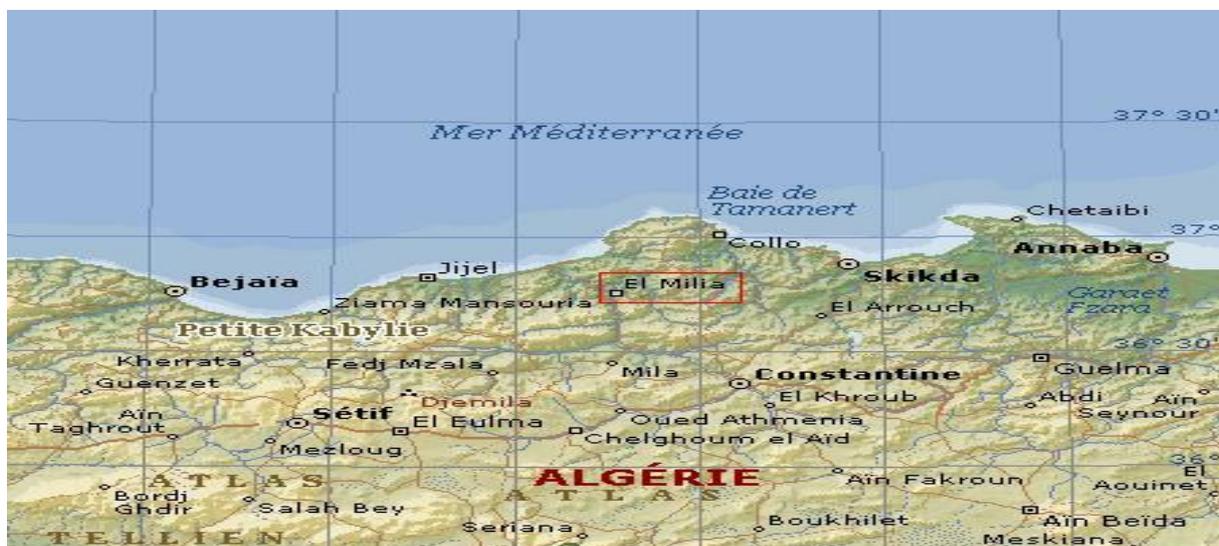


Figure I.2. Localisation du gisement [4].

I.2.2. Climat et Végétation

L'influence méditerranéenne détermine un climat tempéré caractérisé par un été chaud et sec, et un hiver doux et pluvieux. La température dépasse 38° en été et peut descendre en dessous de zéro en hiver. La pluviométrie est intense, surtout en hiver. Elle peut atteindre 1200 mm par an, ce qui est à l'origine d'une végétation très dense. Cette dernière est constituée essentiellement d'oliviers, de chênes liège, de chênes zéine et de maquis (lentisques...) [4].

I.2.3. Réseau hydrographique

La région est caractérisée par un chevelu hydrographique assez dense, les oueds les plus importants sont l'Oued Zhou, Oued el kebir et oued M'Chatt. Tous ces oueds prennent leur source dans les reliefs importants avoisinants le gisement et sont quasi permanents avec cependant, un débit faible en été [4].

I.2.4. Habitat

Les habitants de douar M'Chatt sont groupés en mechtas ou (hameaux) disséminés sur les pentes ou poussent les oliviers. Leur mode de vie est basé sur l'agriculture vivrière qui s'effectue sur les pentes après défrichage des forêts et sur l'élevage des bovins, des ovins et des caprins [4].

I.3. Hydrologie

I.3.1. Précipitation

L'implantation du site de la filiale SOALKA est caractérisée par un climat tempéré de type méditerranéen humide et très pluvieux, on retrouve pratiquement les quatre saisons durant l'année, de Novembre à Février hiver doux à froid et très pluvieux avec des périodes de neige qui quelques jours de Février à Mai printemps très doux parfois pluvieux avec température modérée, Juin à Septembre saison d'été chaud et sec avec parfois des pics élevés en température, de Septembre à Octobre automne doux rarement pluvieux et température modérée, le site est situé à environ 20 Km de la cote littorale.[5].

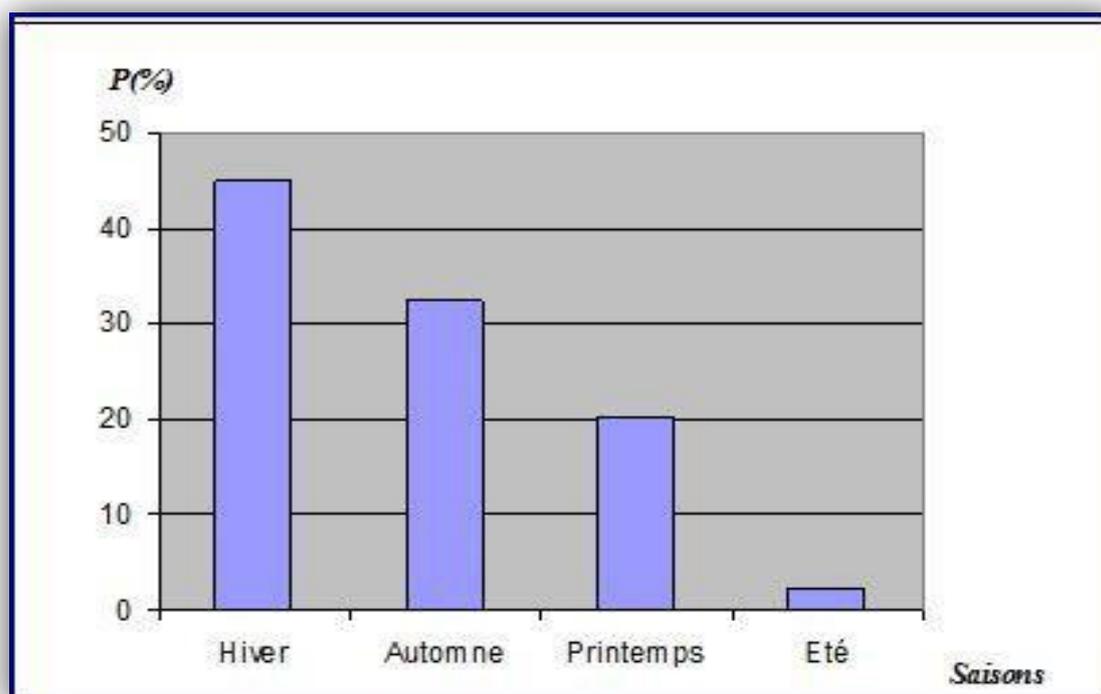
Nous remarquons que la période la plus pluvieuse se situe le plus souvent entre Novembre et Mars.

Le maximum des précipitations tombe en décembre avec une moyenne mensuelle de l'ordre de 200.55 mm et un minimum au mois de Juillet avec une valeur de 3.21mm. Par ailleurs la répartition des précipitations, par saison est représentée dans le tableau I.1.

D'après les résultats mentionnés dans le tableau I.1, on constate que la saison la plus pluvieuse est l'hiver avec une précipitation de l'ordre de 454,89 mm. Soit 47,87 %. Alors que la saison la plus sèche est l'été avec des précipitations de l'ordre de 30.84 mm soit 3.25% des précipitations totales [5].

Tableau I.1. Répartition des précipitations saisonnières de la wilaya de jijel (Sources O.N.M .Aéroport TAHER 1999-2008).

Saison Paramètre	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Précipitation saisonnière (mm), (%)	267.32 mm	454.89 mm	197.15 mm	30.84 mm
	28.13 %	47.87 %	20.75 %	3.25 %



Source : O.N.M.Aéroport Taher 1999-2008.

Figure I.3. Histogramme des précipitations saisonnières de la région de Jijel.

I.3.2. Température

La température est un facteur influant sur le bilan hydrologique, permettant l'estimation de l'évaporation.

Le tableau ci-dessous montre la répartition mensuelle et saisonnière des températures pour une période de 10 ans (1999-2008), selon les données de l'O.N.M de l'aéroport de TAHER.

D'après les résultats obtenus dans ce tableau, le maximum de températures est observé au mois d'Aout et le minimum au mois de Février avec une moyenne de l'ordre de.

Pour la température saisonnière, en remarque que la saison la plus froide correspond à l'Hiver avec une valeur moyenne de (11.98 °C) et la saison la plus chaude correspond à l'été avec une valeur moyenne de (25.01°C) [5].

Tableau I.2. Répartition des températures et précipitations moyennes mensuelles.

(Source : O.N.M. Aéroport TAHER 1999-2008).

Mois Paramètre	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D
Précipitation (mm)	154.85	99.49	81.78	63.82	51.55	11.57	3.12	16.06	60.44	46.86	160.02	200.55
Température (C°)	11.9	11.6	13.49	15.96	19.14	23	25.62	26.42	23.69	21.09	15.55	12.46

I.3.3. Les vents

Les vents dominants soufflent généralement de la mer vers le continent, ils ont donc :

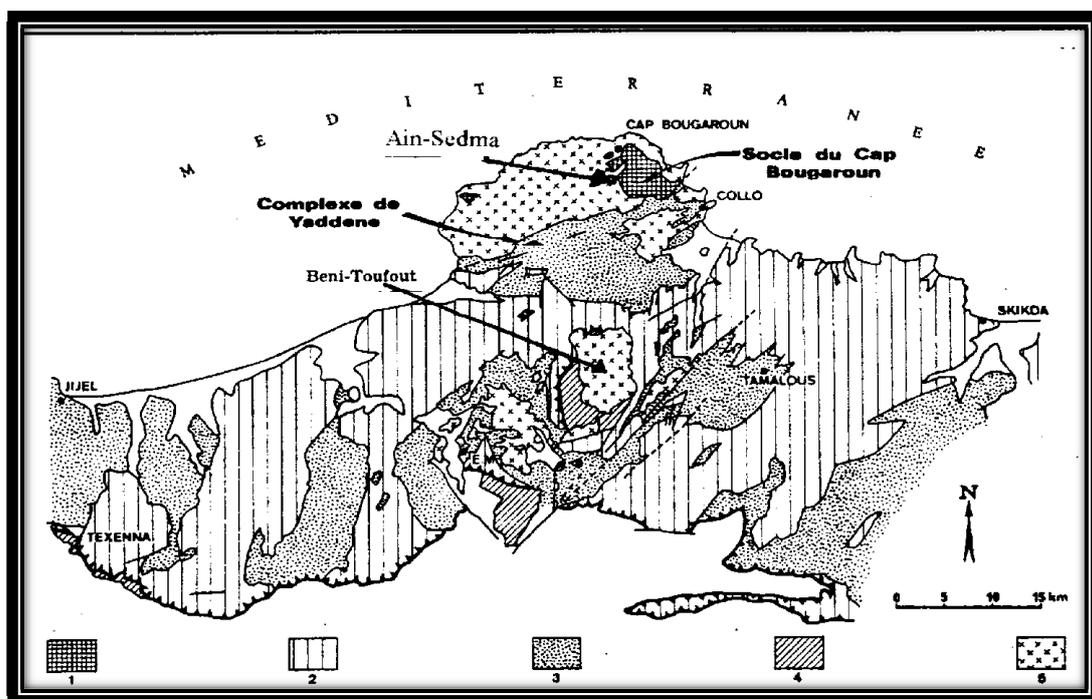
- Une direction de Nord-Ouest / Sud Est.
- Une force de 2,5 à 4,2 sur l'échelle Beaufort [5].

I.4. Géologie locale

La région d'étude est une partie intégrante de la petite Kabylie plus précisément elle appartient à l'édifice des Béni Feurguene, elle montre un dispositif en apparence simple mais présente des caractères structuraux et métamorphiques complexes [4].

Les corps du kaolin sont groupés dans une aire carrée de 2000 m de cote. Ils sont situés dans une puissante formation gneissique, d'orientation générale NE-SW à pendage moyen dirige vers le SW. Cette formation est flanquée sur son versant Sud par une série de micaschistes à deux micas et à grenats.

Tout le gisement résulterait de l'altération « in situ » d'un faciès gneissique qui se localise dans la partie supérieure de reliefs. Les gneiss kaolinisés ainsi engendrés peuvent également contenir des intercalations de quartzites, ces dernières constituent généralement l'ossature des collines. Dans le secteur situé à l'Est du Sidi Kader, contrairement à ce que l'on observe à l'Ouest, les gneiss plongent vers le Sud [4].



Source : J.P. Bouillin et Kornprobst, 1974.

Figure I.4. situation de la Kabylie de Collo dans le cadre géologique de la Petite Kabylie.

I.5. Historique des recherches

Le kaolin de Tamazert a été connu depuis 1925 et a fait l'objet d'une exploitation par une société française en 1932 puis abandonne 03 mois plus tard après, en raison de la teneur élevée en hydroxydes de fer et en sericite qui ne pouvaient être éliminée par les procédés à cette époque.

Le gisement a fait l'objet de diverses compagnes de prospections et d'essais, à savoir : mission chinoise, B.R.G.M.(Bureau de Recherches Géologiques et Minières), SONAREM, K.H.D. ainsi que des échantillons prélevés pour des essais techniques et analytiques par le laboratoire de Zurich BOUZ ALLEN, laboratoire romain VENOT PIC, le laboratoire américain DRAVO CORPORATION et KHD.[5]

I.6. Exigences légales

Un audit environnemental s'inscrit dans le cadre de la mise en conformité de l'établissement SOALKA /SPA El-Milia selon la réglementation en vigueur :

- Décret exécutif N°07-144 du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
- Décret exécutif N°06-198 du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
- Loi N° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- Décret exécutif N°07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- Décret exécutif N°06-141 du 19 mai 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.
- Décret exécutif N°90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement.
- Décret exécutif N°93-161 161 du 10 juillet 1993 réglementant le déversement d'huiles et lubrifiants dans le milieu naturel par rejet direct ou indirect ou ruissellement sur le sol ou infiltration des huiles ou de lubrifiants neufs ou usagés, dans le milieu naturel [6].

Partie II : Présentation du minerai

II.1. Généralités sur le kaolin

II.1.1. Définition du kaolin

Argile blanche de plasticité variable. Le kaolin est généralement friable et réfractaire. Il entre dans la composition des pâtes céramique et de la porcelaine dure. Son principal composant est la kaolinite. Le kaolin est une roche composée de silicates d'aluminium hydraté $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Il conserve sa couleur à la cuisson, et tient son nom d'une colline en Chine du nom de Kao-Ling qui veut dire « colline élevée ». Il est présent sur tous les continents en abondance. Cependant il reste plus rare que l'argile rouge. La classification des kaolins est soumise à de nombreuses discussions. En fonction de leur genèse, on distingue deux origines du kaolin : primaire et secondaire [7].



Source : Webographie (Google).

Figure I.5. Echantillon de minerai du kaolin.

II.1.2. Origine du Kaolin

II.1.2.1. Kaolins primaires

La kaolinite provient généralement de l'hydrolyse de n'importe quel minéral ou verre silicoalumineux. Par exemple la formation de kaolinite à partir de feldspath potassique peut s'écrire :



Le processus ci-dessus conduit à de kaolins dit primaire, en contact direct avec la roche silicoalumineuse qui leur a donné naissance.

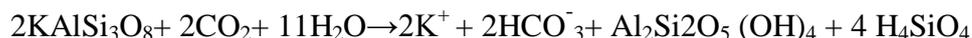
La kaolinisation des minéraux silico - alumineux suppose un lessivage total des éléments alcalins et alcalino-terreux (K, Na, Ca), du fer et le départ d'une partie de la silice ; on estime à environ 30 % la diminution de volume lié à ces lessivages Deux fluides peuvent être à l'origine des phénomènes de kaolinisation [8] :

- Les eaux de surface (ou météoriques), en milieu tropical (< 40 °C)
- Les fluides hydrothermaux de température inférieure à 300°C (au-delà la kaolinite n'est pas stable) qui donnent lieu à un lessivage supergène ou hypogène.

Certaines substances, une fois dissoutes dans l'eau, augmentent le caractère acide de celle-ci, accélérant ainsi la décomposition des minéraux primaires.

D'après Helgeson et Mackenzie [9], la dissolution du gaz carbonique atmosphérique peut, lors de l'hydrolyse, tripler les vitesses de décomposition des feldspaths potassiques et de formation de la kaolinite.

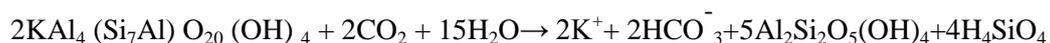
Ce processus géochimique naturel conduit directement à la formation de la kaolinite suivant la réaction :



En revanche, si le drainage est faible, le transfert de potassium est incomplet et il se forme de l'illite selon la réaction :



Lors d'un drainage ultérieur, cette illite peut poursuivre son hydrolyse, en expulsant le potassium, pour conduire alors à la kaolinite:



Des réactions analogues permettent de décrire l'hydrolyse de l'albite (feldspath sodique) directement en kaolinite ou en un composé intermédiaire (montmorillonite sodique). D'après Helgeson et Mackenzie [9] toujours, dans les mêmes conditions d'hydrolyse, la formation de la kaolinite est dix fois plus rapide à partir de l'albite que des feldspaths potassiques.

La figure I.6 représente la coupe schématique d'un gisement de kaolin primaire.

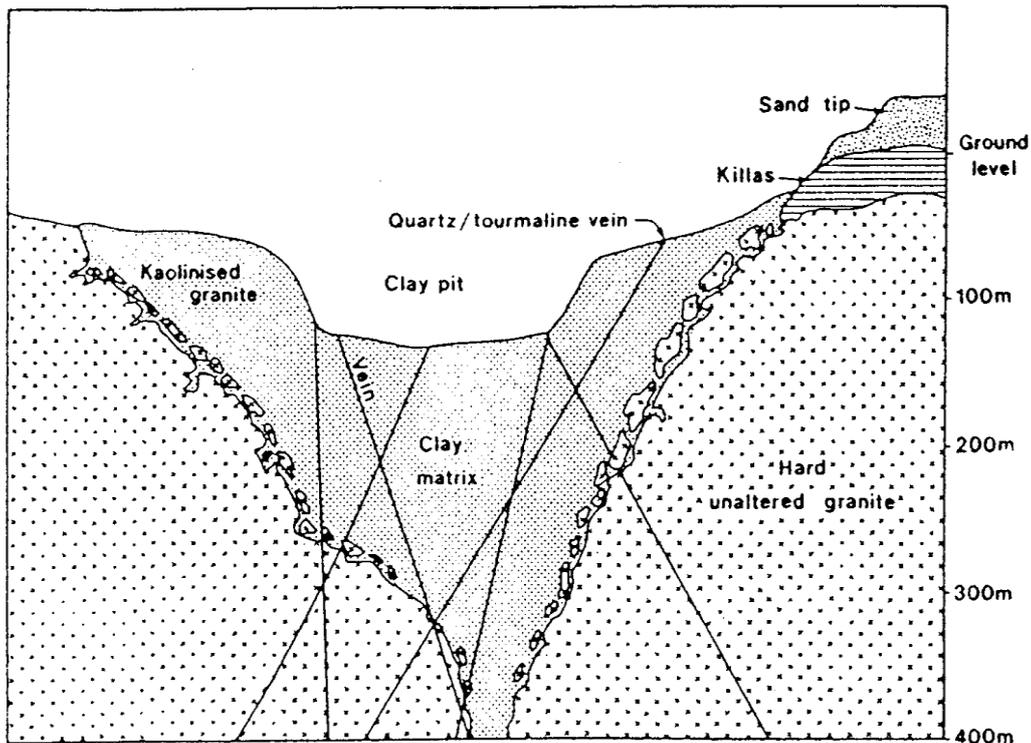


Figure I.6. Coupe schématique d'un gisement de kaolin primaire [10].

II.1.2.2. Kaolin secondaire

Les kaolins dits secondaires ont pour origine des kaolins primaires entraînés par les eaux de ruissellement puis déposés. Les gisements de kaolin sédimentaire se rencontrent dans les dépôts continentaux à épicontinentaux, mis en place en général au cours de cycles transgression - régression. Ils peuvent être rencontrés à différentes époques géologiques durant lesquelles prévalait un climat de type tropical favorisant une intense altération [11,12].

La formation de ces dépôts est possible dans deux zones :

- En eau de mer.
- En eau douce.

a. En eau de mer

Au contact de l'eau de mer, riche en cations, près de 90% des argiles chargées négativement flocculent. Ces dépôts, qui forment alors des bouchons constitués de kaolinite impure sont communément appelés argiles kaolinitiques (mélange avec d'autres éléments tels que les micas, quartz) [11,12].

b. En eau douce

Si les argiles généralement chargées négativement dans l'eau "pure" ne rencontrent pas de cations susceptibles de favoriser leur floculation, elles restent longtemps en suspension.

Il s'ensuit un tri sélectif des éléments indésirables en fonction de leur aptitude à sédimenter. Les particules les plus lourdes qui se déposent en premier sont ainsi recouvertes par un kaolin riche en kaolinite. Les micas formés de feuillets qui flottent également longtemps sur l'eau, se retrouvent alors généralement mélangés à la kaolinite [11,12].

II.1.3. Propriétés du kaolin

Résumons les propriétés du kaolin dans le tableau I.3 :

Tableau I.3. Propriétés générales du kaolin [13, 14,15].

Propriété	Valeur
Masse volumique (g/cm ³)	2.60 - 2.63
Dureté (mohs)	2 - 2.5
Coefficient de dilatation linéaire (20-700°)	5 - 7.10 ⁻³
Conductivité thermique (cal/cm.s.°C)	4 - 5.10 ⁻³
Température d'utilisation (°C)	1400
Résistance de flexion (kg/cm ²)	50 - 210

II.1.4. Composition chimique

La formule chimique du kaolin est (Al₂O₃ 2SiO₂.2H₂O) ce qui correspond aux teneurs massiques suivantes : 36.53% d'Al₂O₃, 46.50% de SiO₂ et 13.95% de H₂O, sa masse molaire est de 258 g [16].

Ces rapports changent selon le degré de pureté du kaolin. On considère le meilleur type du kaolin celui qui contient 45.5% en pourcentage massique d'alumine, et qui est rare dans la nature [16].

II.1.5. Structure cristalline

La kaolinite présente une structure de type 1:1, avec une équidistance d'environ 7Å et elle est de type dioctaédrique (un site octaédrique sur trois restes vacants).

Les trois sites de la couche octaédrique sont donc remplis par deux cations d'aluminium et le troisième site est lacunaire. C'est la position des sites vacants qui permet de différencier les minéraux de type 1:1 : kaolinite dickite et nacrite (figure I.7). Les faces basales sont de deux types, constituées, soit d'ions oxygène organisés en réseau hexagonal, soit d'OH en assemblage compact [17].

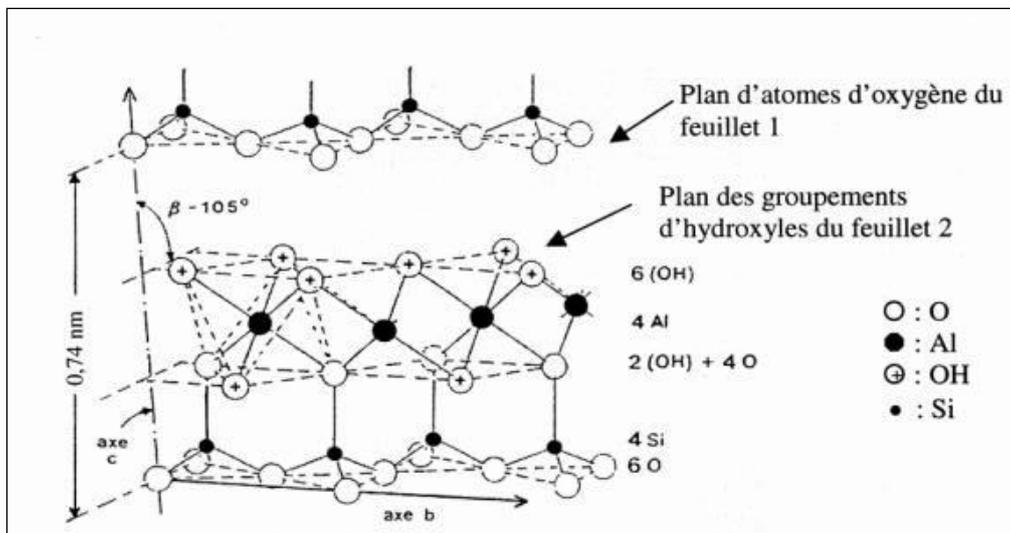


Figure I.7. Structure type 1:1, cas de la kaolinite [17].

Les feuillets successifs sont empilés de sorte que les atomes d'oxygènes d'un feuillet sont situés faces à des hydroxyles d'un feuillet voisin. Ainsi des liaisons hydrogènes stabilisent l'empilement [18,19].

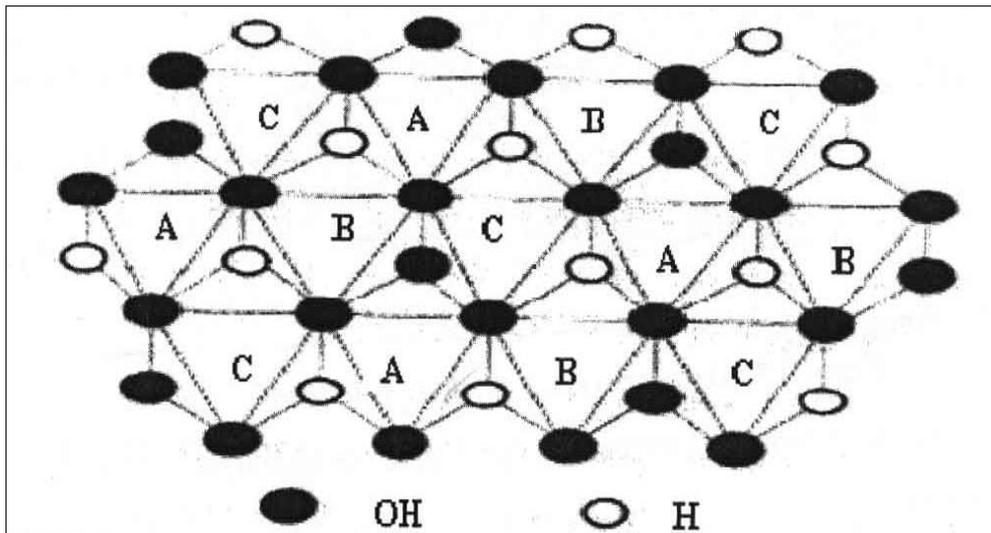


Figure I.8. Sites octaédriques selon la position des atomes d'oxygènes et hydroxyles dans une couche octaédrique idéale d'un minéral de type 1 :1 [17].

La formule structurale de la kaolinite est $\text{Si}_4\text{O}_{10}[\text{Al}(\text{OH})_2]_4$ ou $2[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$. Elle appartient au système triclinique et au groupe spatial C1 avec une couche par maille. Ses paramètres sont les suivants.

$$\begin{aligned}
 A &= 5,155 \text{ \AA} & b &= 8,945 \text{ \AA} & \text{et} & c &= 7,405 \text{ \AA} \\
 \alpha &= 91,70^\circ & \beta &= 104,86^\circ & \text{et} & \gamma &= 89,82^\circ
 \end{aligned}$$

L'halloysite, de même formule que la kaolinite est constituée par des couches identiques à celles de la kaolinite mais elles sont séparées par des molécules d'eau si bien que l'équidistance 001 est de $10,1 \text{ \AA}$, pour le reste les caractéristiques de la maille sont identiques [19].

II.1.6. Humidité du kaolin

Dans le kaolin, l'eau existe sous deux formes différentes :

II.1.6.1. Eau d'absorption

C'est l'eau qui est retenue physiquement par adhérence aux particules argileuses. Elle ne rentre pas dans la formule du kaolin. Durant le chauffage, elle s'évapore sans aucune modification de sa forme cristalline. L'argile desséchée reprendra de l'eau très facilement. Cette teneur en eau est appelée « humidité de l'argile » [20].

II.1.6.2. Eau de constitution

C'est l'eau indiquée dans la formule du kaolin. Quand on chauffe l'argile au-dessus de 400° C, le réseau cristallin sera modifié et l'argile deviendra amorphe [20].

II.1.7. Kaolinite

Provenant de la « kaolinisation » des roches à feldspaths et des granits. Ces roches se sont lentement chargées et saturées d'eau à l'échelle moléculaire sous l'effet de l'humidité avant de subir l'érosion. La kaolinite se trouve dans les roches argileuses comme le kaolin ou dans les roches magmatiques. C'est une argile de type 1/1, qui signifie qu'un feuillet de kaolinite est formé de deux couches :

- Une couche octaédrique : $\text{Al}(\text{OH})_5\text{O}$ (sept atomes pour six sommets plus l'aluminium au centre). Les OH et l'Oxygène étant partagés entre les différents octaèdres qui composent la couche [21].
- Une couche tétraédrique : SiO_4 (cinq atomes pour quatre sommets plus la silice au milieu). Les oxygènes étant partagés entre les différents tétraèdres qui composent la couche [21].

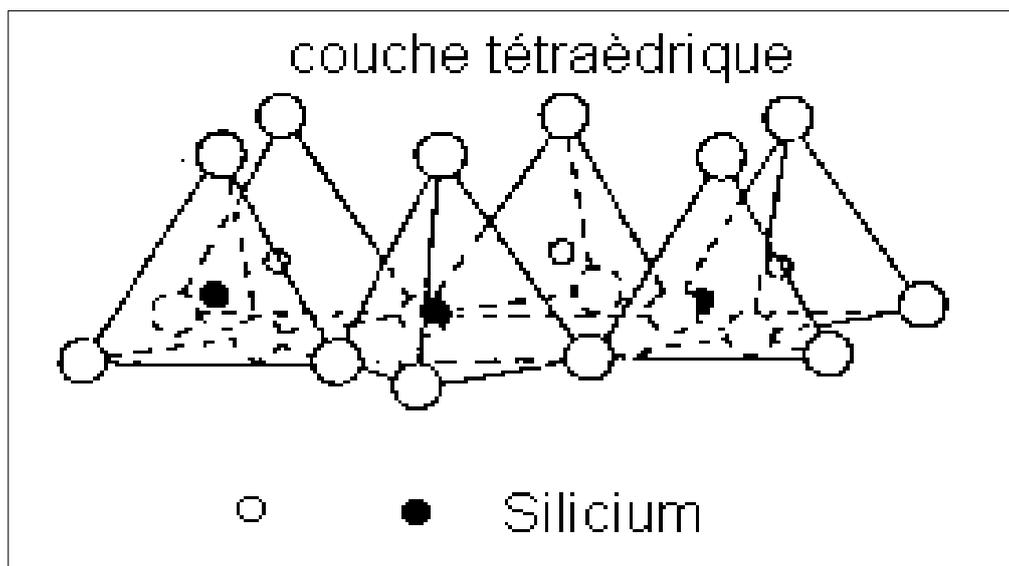


Figure I.9. Représentation schématique d'une couche tétraédrique [21].

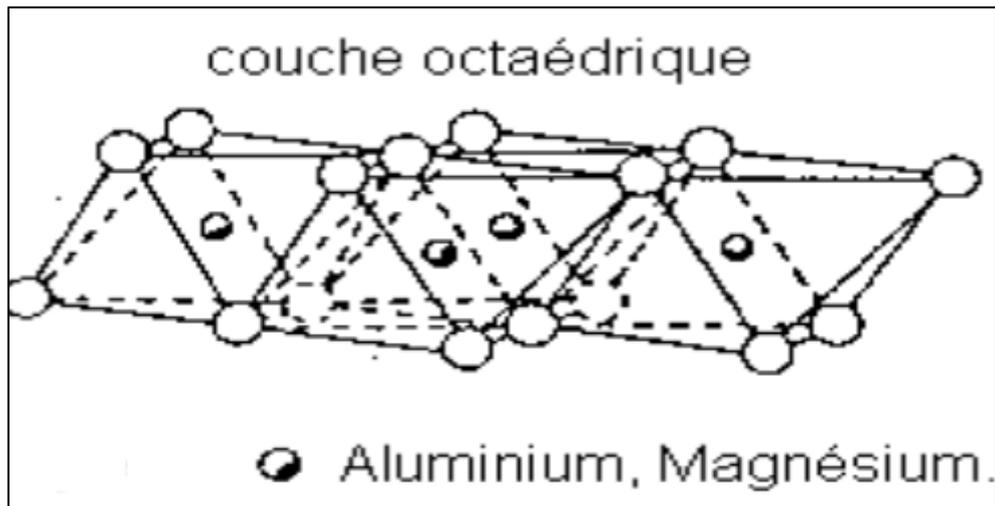


Figure I.10. Représentation schématique d'une couche octaédrique [21].

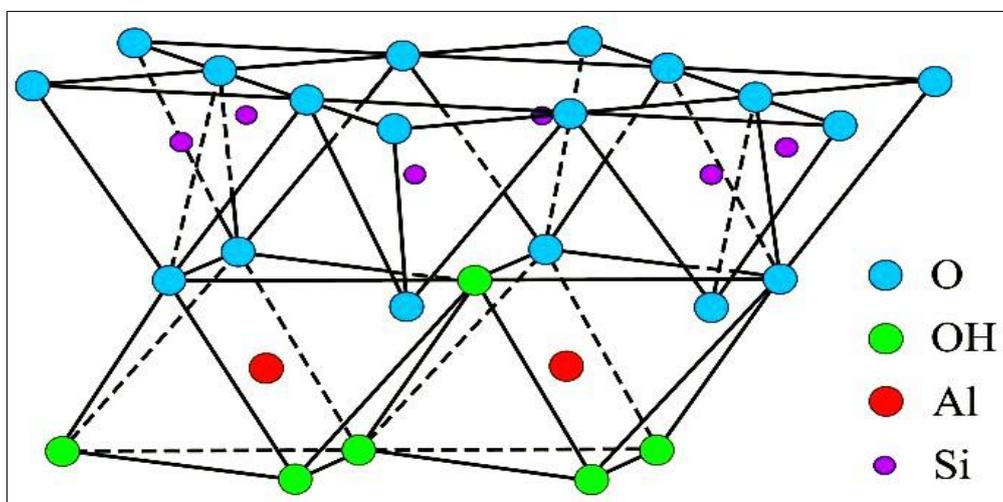


Figure I.11. Représentation schématique d'une structure de kaolinite [21].

II.1.8. Utilisation du kaolin dans le monde

Le kaolin trouve son utilisation dans divers domaines, de plus en plus on avance en technologie, plus celui-ci occupe une place privilégiée, il est placé parmi les argiles les plus demandées.

Le kaolin est l'un des constituants essentiels qui entrent dans la fabrication des matériaux céramiques. Il est principalement composé des kaolinites (50 - 80%) qui est un silicate d'alumine hydratée. Il est souvent utilisé pour donner de la blancheur et de l'éclat dans les céramiques, les peintures, et les papiers de haute qualité [22].

II.1.8.1. En céramique

Le kaolin qui est l'une des matières premières de la céramique (35 – 40 %) dont la composition minéralogique est très riche en silice et alumine, jouant le rôle de dégraissant qui permettent de corriger le comportement des argiles colloïdales aux niveaux de façonnage, du séchage et de la cuisson, ils constituent le squelette du produit.

La céramique fait appel au produit de kaolin de première qualité dont les teneurs en impuretés d'oxyde de fer et de titanes doivent être les plus faibles possibles soient : 0,5 à 0,8 maximum en Fe_2O_3 et de 0,1 à 0,5 maximum en TiO_2 , et les produits de céramiques concernés sont les céramiques sanitaires, les carreaux de revêtement, les produits réfractaires (fonderie, verrerie), la vaisselle et la poterie [23].

II.1.8.2. La fabrication du caoutchouc

Le Kaolin est utilisé pour améliorer la résistance mécanique, la résistance à l'abrasion et la rigidité des produits. Dans cette industrie, on parle de kaolin dur (75 % à 80 % < 2 μm) qui tend à augmenter la résistance à la traction, au déchirement et le kaolin mou (20 à 45 % < 2 μm) qui diminue l'élasticité mais accroît sa stabilité dimensionnelle et améliore l'état de surface des extrudés [24].

II.1.8.3. La fabrication du plastique

Le kaolin est utilisé dans les plastiques pour sa couleur, il permet d'obtenir des surfaces plus lisses, une meilleure stabilité dimensionnelle et une meilleure résistance aux acides.

Les fabricants de PVC utilisent le kaolin comme agent de renforcement car il augmente la durabilité du plastique.

Le kaolin permis de résoudre les problèmes de coulabilité posés par la fabrication de pièces complexes en polyester renforcé. [24]

II.1.8.4. Les cimenteries

Les kaolins sont utilisés pour ajuster le titre de l'aluminate des clinkers en général, la présence d'alcalis est pénalisante, mais il faut raisonner au cas par cas et privilégier ici les cimentiers dont les procédés éliminent les alcalis par les phases gazeuse du four [25].

II.1.8.5. L'industrie du papier

Le kaolin papetier doit répondre à des spécifications sévères concernant essentiellement la couleur caractérisée par un indice de blancheur de 85 % s'il est utilisé comme kaolin de couchage et 79 % s'il est utilisé comme kaolin de charge, la viscosité des pulpes concentrées qui doit varier entre 68 -72% pour le kaolin de couchage et le kaolin de charge [24].

II.2. Le gisement du kaolin de Tamazert

Situé dans la région d'El-Milia (Est d'Algérie), le gisement de kaolin de Tamazert est découvert en 1925, et exploité depuis 1932. La taille de ce gisement est considérable, mais la roche brute est si pauvre en kaolinite que certains n'hésitent pas à l'appeler sable de Tamazert, précisément à cause de la concentration très élevés en quartz. La roche primaire du feldspath orthose s'est décomposée en donnant différents minéraux principalement de la silice libre, du mica, de la kaolinite et des impuretés d'oxydes métalliques, avec une proportion appréciable d'oxyde de fer, ce qui contrarie son utilisation par l'industrie locale, la qualité de ce kaolin à l'état brut, est donc très médiocre [26].

II.2.1. Origine du kaolin de Tamazert

Le kaolin de Tamazert est d'origine hydrothermale, provenant de l'altération de roches feldspathiques potassique.

La kaolinite qui est l'un des principaux constituants minéralogique, et produite sans doute par l'intermédiaire d'un processus hydrothermale de roches ignées neutres et acides de profondeur et superficielle, donnant naissance a deux faciès : le kaolin sableux formant une couche superficielle et une seconde couche de gneiss kaolinisé située en profondeur . Elle se forme généralement avec le quartz d'où son abondance constatée dans le gisement.

Le développement de la kaolinisation se distingue parmi les terrains hydrothermaux transformés en minéraux du groupe kaolinique tels que la kaolinite, la dickite, et la nacrite.

Le plus souvent, ces minéraux produisent des roches de feldspaths, de muscovite et de chlorite. Les masses kaoliniques se forment généralement par un processus supergène dans la zone d'oxydation des minerais sulfurés [26].

II.2.2. Hétérogénéité

Les trois secteurs des différents corps (corps central, corps nord, Sidi Kader, corps oriental) se distinguent par leur composition chimique et leur importance en volume et en réserve de minerai. La perte au feu, la teneur en silice, en alumine et en oxyde de fer, varient énormément dans le gisement [22].

II.2.3. Localisation de la minéralisation

Dans le gisement de Tamazert la minéralisation s'étend en couvertures sur les crêtes des reliefs. Avec une profondeur qui peut atteindre les 80 m dans le cas du corps central.

La texture du minerai est relativement simple. Celui-ci possède une texture sableuse à grains grossiers de quartz visibles à l'œil nu.

Les structures gneissiques sont plus répandues et s'observent surtout dans la périphérie des gneiss. L'aspect gneissique est dû à l'agencement entre kaolinite, halloysite, quartz et mica.

La structure rubanée correspond à des argiles qui se rencontrent dans la partie sommitale du gisement et qui sont caractérisées par des passages clairs et des passages sombres et ferrugineux dus probablement à l'altération par les eaux météoriques alors que la structure massive correspond à des argiles à teinte plus claire et contiennent des cristaux de quartz de 0.5 mm à 3 mm enrobés, dans une pâte lisse [26].

II.2.4. Méthode d'exploitation

Le mode d'exploitation est à ciel ouvert du fait de l'affleurement de gisement de Tamazert. La méthode est jugée rentable du moment qu'elle permet la succession de réalisation des travaux : de découverte, de creusement et d'extraction de minerai dans un ordre bien déterminé. Elle caractérise aussi le développement des travaux dans le temps et dans l'espace.

Le gisement est constitué de kaolin sableux et de gneiss kaolinites (roches à composition partielle d'argile) qui sont glissants lors des périodes humide. C'est pourquoi il est utile de diviser la carrière en deux types de chantiers à savoir chantier d'hiver et chantier d'été [26].

La largeur de la plateforme de travail fait environ 20 m pour chaque gradin sur une hauteur d'environ 5m, l'accès au niveau inférieur se fait par piste d'accès à une pente douce.

L'évacuation des eaux se fera par gravité en appliquant une pente aux plateformes.



Source : Audit environnemental 2014

Figure I.12. Le gisement de tamazert.

II.2.4.1. Abattage et Moyens

L'abattage du minerai de kaolin doit répondre à cinq critères : la blancheur, la teneur, la viscosité, la surface spécifique et l'abrasivité.

Les critères les plus importants sont la blancheur et la viscosité en supposant une teneur moyenne de 13%.

Pour répondre à cela, Le gisement est exploité par abattage sélectif. Les moyens favorables à l'exploitation sélective sont la pelle bute à défaut la pelle retro et le bulldozer pour le rippage, le défonçage et l'ameublissement du minerai abattu. L'acheminement du minerai s'effectue comme suit : [26]

- kaolin destiné à l'usine de traitement.
- kaolin destiné à la céramique vaisselle.
- kaolin destiné aux carreaux sol et faïence.

II.2.5. Traitement du minerai

La valorisation du minerai se fait à l'usine de traitement de Tenefdour construite à 11 km de la carrière près d'El-Milia. Le minerai extrait des carrières contient en moyenne 13% de kaolin, l'atelier de délayage permet la séparation de kaolin des autres minéraux.

En considérant que le kaolin se trouve dans la tranche granulométrique 0-20 μm , les appareils constituant le délayage ont été choisis de façon à l'amont vers l'aval des coupures granulométriques des plus en plus fins. La séparation des kaolins est effectuée par voies humides (figure I.14).

Le traitement du minerai s'effectue en voie humide par méthode gravimétrique qui est axée sur la différence de densité des particules en plusieurs opérations:

- Homogénéisation TV de la carrière homogénéisation au stoker.
- Alimentation la laverie (les différentes sections de la laverie).
- L'alimentation des bassins de décantation.
- L'alimentation du hall de production (les différentes sections du hall) [26].

II.2.5.1. La voie humide

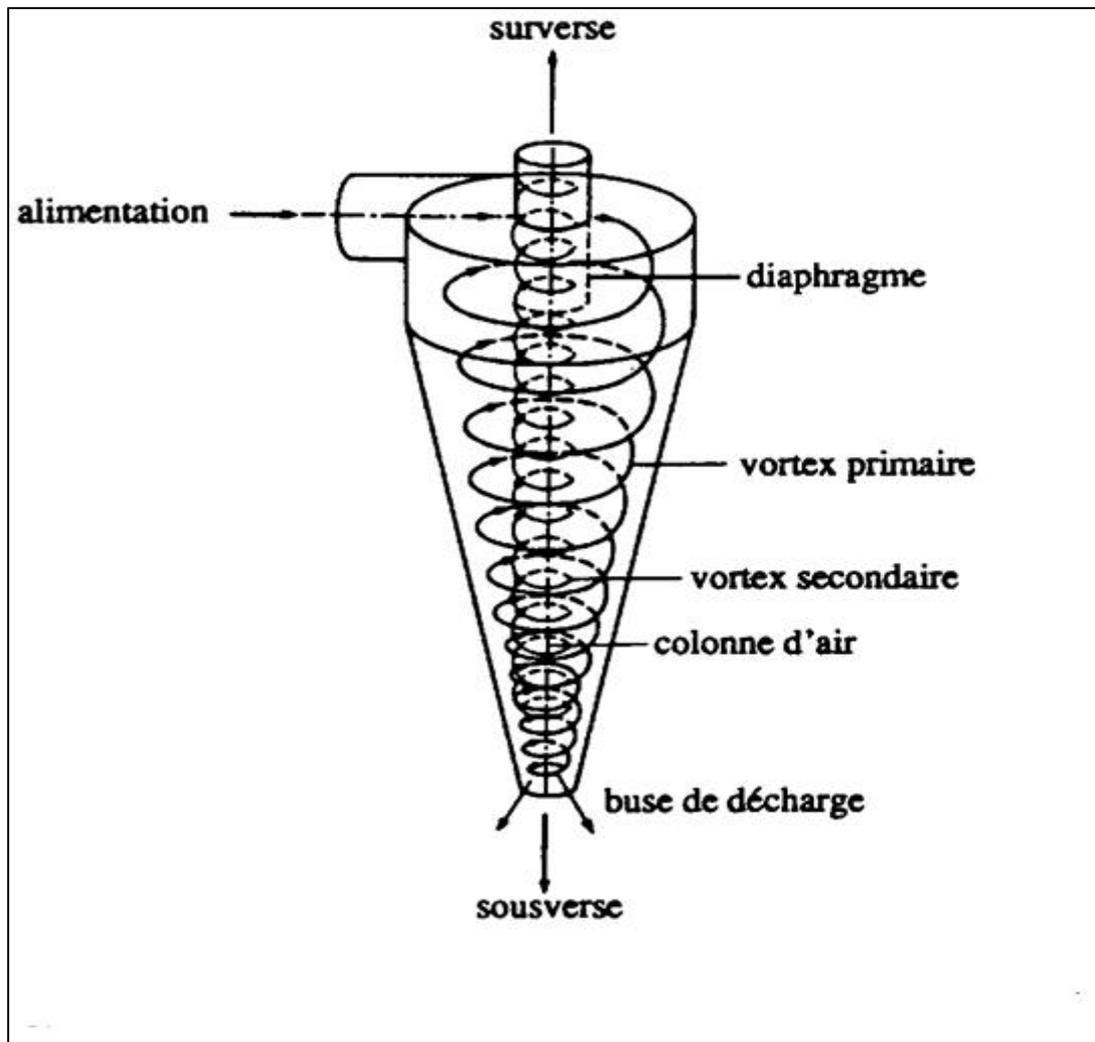
Elle comporte plusieurs ateliers correspondant chacun à une fonction précise. Dans le sens de l'écoulement du minerai on distingue :

- L'alimentation en minerai brut depuis une trémie mobile jusqu'à l'entrée du débourbeur.
- Le débourbage pour l'obtention de granulométrie inférieure à 80 mm constituée d'un mélange de sable et d'argile kaolinique.

Le produit récupéré est amené jusqu'à un crible vibrant où s'effectuera la deuxième séparation à une maille égale à 2 mm. Le passant de ces cribles doit subir une troisième séparation dans les hydrocyclones à une coupure de 70 μm . La surverse alimente les hydrocyclones secondaires à une coupure de 30 μm . La surverse de l'hydrocyclone secondaire constitué de 0 – 20 μm , produit de base de toute la production de kaolin s'effectuent la quatrième séparation par des panneaux tamiseurs, le passant obtenue sera déversé dans un bassin de décantation.

La sousverse de l'hydrocyclone secondaire constituée des micas et quartz fins et de kaolin grossier. Le dessablage qui fournit d'une part un sable d'une granulométrie de 0.07 à 2 mm. L'essorage et l'hydrocyclonage de plus en plus fin de la pulpe 0 - 0.07 mm jusqu'à l'obtention des deux granulométries KT2 et KT3 et des rejets GW1 et GW2 de 20 à 70 μm traitement de ces rejets pour la récupération des kaolins. L'évacuation des rejets sableux vers

les filtres Philippe et de la fraction kaolinique vers les bassins de décantation, classification pour obtention d'une pulpe à 220 g/l [26].



Source : Webographie (Google)

Figure I.13. Schéma de l'hydrocyclone

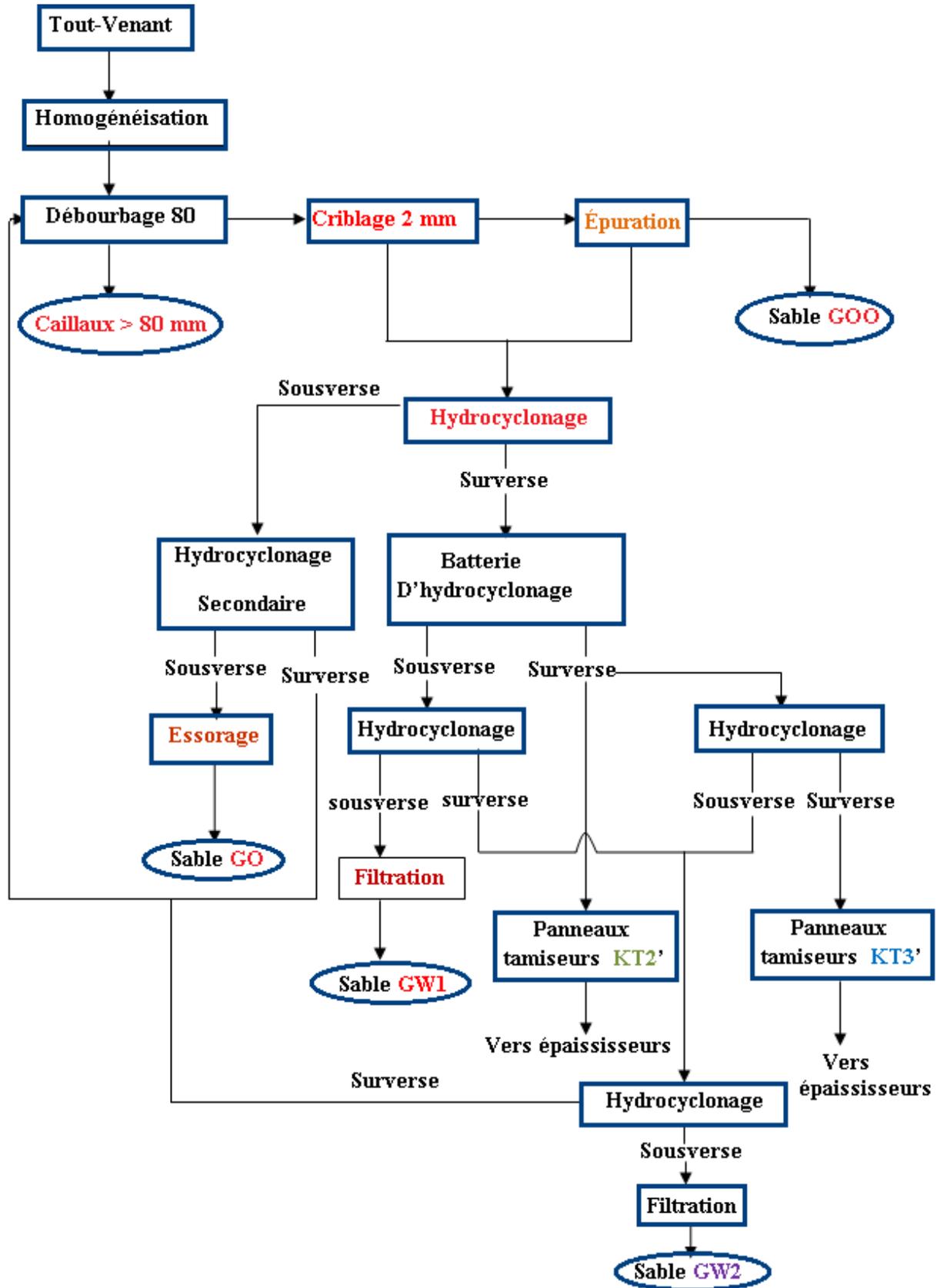


Figure I.14. Schéma technologique de traitement de kaolin par voie humide [26].

II.2.6. Composition chimique et minéralogique

La composition minéralogique et chimique est présentée dans les tableaux I.4 et I.5

Tableau I.4. Analyse chimique d'un échantillon du tout-venant [26].

Élément	En poids %	Élément	En poids%
SiO ₂	67.90	CaO	0.07
Al ₂ O ₃	18.60	MgO	0.22
Fe ₂ O ₃	0.58-1.22	K ₂ O	0.82 - 3.18
TiO ₂	0.31	Na ₂ O	0.92
Autres	3.92	P.A.F	5.68

Tableau I.5. Composition minéralogique d'un échantillon du tout-venant [26].

Composition Minéralogique	% en poids	Kaolinite	13.40
		Mica	27.00
		Feldspath	06.00
		Quartz	51.00
		Autres	02.60

II.2.7. Propriétés physico-chimiques des produits finis

Tableau I.6. Propriétés physico-chimiques de produit fini KT2.

Caractéristique Physico-chimique	Paramètres		Produits finis kaolin
			KT2
Analyse chimique (% en poids)	SiO ₂		49,3
	Al ₂ O ₃		33,5
	Fe ₂ O ₃		1,59
	TiO ₂		0,24
	CaO		0,08
	MgO		0,4
	K ₂ O		2,75
	Na ₂ O		0,09
	P T F		10,5
Analyse minéralogique (% en poids)	Kaolinite		74
	Micacés		8
	Argile grésante		10
	Quartz		8
Analyse Granulométrique (% en poids)	> 40 (µm)		0,03
	<10(µm)		88 ± 3
	< 2 (µm)		43 ± 3
Cohésion en cru	séché à 110 (°C)		24,3
Propriétés de coulage	% en poids de PSI (5 poise)		0,5
	Vitesse de coulage (mm ² /min)		1,1
Propriétés de cuisson	%	1180°C	7,4
		1280°C	2,2
		1410°C	-
	% Blancheur	1180°C	75
		1280°C	83,5
		1410°C	-
	% Retrait	1180°C	5,8
		1280°C	8,3
		1410°C	9,2
Propriétés physiques	Densité réelle		2,6

Tableau I.7. Propriétés physico-chimique de produits fini KT3.

Caractéristique Physico-chimique	Paramètres		Produits finis kaolin
			KT3
Analyse chimique (%en poids)	SiO ₂		48,5
	Al ₂ O ₃		33,9
	Fe ₂ O ₃		1,59
	TiO ₂		0,21
	CaO		0,08
	MgO		0,39
	K ₂ O		2,70
	Na ₂ O		0,08
	P T F		10,5
Analyse minéralogique (%en poids)	Kaolinite		77
	Micacés		7
	Argile grésante		10
	Quartz		6
Analyse granulométrique (%en poids)	>40 (µm)		0,02
	<10(µm)		95 ± 3
	< 2 (µm)		47 ± 3
Cohésion en cru	séché à 110 (°C)		24,7
Propriétés de coulage	% en poids de PSI (5 poise)		0,55
	Vitesse de coulage (mm ² /min)		0,90
Propriétés de cuisson	% Adsorption	1180°C	7,3
		1280°C	1,7
		1410°C	-
	% Blancheur	1180°C	76
		1280°C	84,1
		1410°C	-
	% Retrait	1180°C	6
		1280°C	8,5
		1410°C	9,5
Propriétés physiques	Densité réelle		2,6

Tableau I.8. Propriétés physico-chimiques de produit fini KT3B.

Caractéristique Physico-chimique	Paramètres	Produits finis kaolin
		KT3B
Analyse chimique (% en poids)	SiO ₂	48,6
	Al ₂ O ₃	33,9
	Fe ₂ O ₃	0,9
	TiO ₂	0,21
	CaO	0,06
	MgO	0,8
	K ₂ O	2,7
	Na ₂ O	0,08
	P T F	10,8
Analyse minéralogique (% en poids)	Kaolinite	77
	Micacés	7
	Argile grésante	10
	Quartz	6
Analyse granulométrique (% en poids)	>40 (µm)	0,02
	<10(µm)	95 ± 3
	< 2 (µm)	47 ± 3
Propriétés physiques	Blancheur	84 ± 1
	Indice de jaune	4 ± 1
	Indice d'abrasion	20 ± 1
	PH à (10%)	5 ± 0.5
	Densité réelle	2,6

Remarque : D'après les tableaux, on constate que dans les produits KT2, KT3, KT3B les pics des teneurs en SiO₂ et Al₂O₃ sont très élevée par contre le % massiques en Fe₂O₃, TiO₂ et CaO est très faible.

II.2.8. Utilisation de KT2, KT3, KT3

Résumons l'utilisation du kaolin KT dans ce tableau :

Tableau I.9. L'utilisation du kaolin KT [3].

Produit	Orientation
KT2	Céramique sanitaire, plastique
KT3	Céramique, vaisselle, plastique, caoutchoucs
KT3B	Charge - papier

II.3. Etude d'impacts environnementaux

L'audit environnemental s'attache à démontrer la maîtrise de la préservation de l'environnement associé à l'exploitation de l'établissement, elle est fondée essentiellement sur l'analyse des processus, elle précise l'ensemble des mesures mises en œuvre pour réduire l'impact à l'intérieur et à l'extérieur de l'établissement [6].

II.3.1. Impact sur les eaux

Les incidences des carrières sur les eaux et les milieux aquatiques en général ont différentes origines, les eaux rejetées par les carrières peuvent être :

- Des eaux d'exhaure pompées dans la fouille.
- Des eaux de ruissellement sur les terrils, les stocks.

Dans le cas de la carrière d'extraction des kaolins du site audité les circulations d'eaux sont vraiment faibles ce qui limite énormément les volumes exhaures.

Le risque de contamination des eaux superficielles est dû principalement à la présence d'un grand nombre de fissures et de fractures qui favorisent l'infiltration des eaux. Les petits ravinements qui affectent le gisement et qui se transforment en petits cours d'eau en hiver sont les plus sensibles dans le sens où ils récolteront toutes les eaux provenant du minerai des kaolins et par conséquent seront chargées de débris de kaolin et autres matières en suspension.

Les eaux de carrière peuvent se charger de particules en suspension. Elles peuvent devenir acides en particulier si il y a des sulfures de fer qui s'oxydent lentement en sulfates. Il peut y avoir des pollutions organiques. Dans leur principe, les eaux de carrière (exhaure, pluie, lavage) sont soumises aux mêmes limitations qu'une eau polluée quelconque.

L'eau rejetée ne doit pas être chargée en suspensions qui sont de fines particules insolubles, minérales ou organiques, biodégradables ou non, que l'on élimine le plus souvent par décantation. Au-delà de leur aspect déplaisant, elles font écran à la lumière, nuisant ainsi à la photosynthèse qui permet la bonne oxygénation de l'eau : composés chimiques nocifs. L'eau d'exhaure ne doit pas être chargée en composés chimiques [6].

II.3.2. Impact sur l'air

Le seul impact identifié des carrières sur la qualité de l'air est lié à la production de poussières. L'extraction, la mise en stock et surtout la circulation d'engins sur les pistes par temps sec sont des opérations générant des envols de particules fines.

Cet impact génère généralement:

- La détérioration de l'esthétique du paysage.
- La pollution de l'air.
- La pollution des eaux par lessivage des poussières du sol.
- Le gêne causé pour l'agriculture.

En revanche cet impact est considéré comme faible concernant l'unité de fabrication des kaolins les matériaux étant humides lors de leur traitement [6].

II.3.3. Impact sur la faune et la flore

L'exploitation de la carrière a engendré des perturbations aux abords immédiats du site notamment pour la faune:

- L'inhalation des poussières et le bruit des engins de transport font migrer les animaux sauvages.
- Les cassures créés par les fronts de taille gênent considérablement le passage habituel des animaux.

Par contre pour la flore on note les incidences suivantes :

- Les poussières recouvrant les feuilles empêchent les réactions de photosynthèse et les

phénomènes d'évapotranspiration.

- La découverte perturbe les écoulements des eaux.
- Les impacts visuels et les impacts sur le biotope.
- Disparition partielle ou totale du couvert végétal dont les mécanismes de reconstitution seront perturbés [6].

II.3.4. Impact sur le paysage

Durant la phase d'exploitation, les atteintes au paysage vont être dues à la suppression de la végétation initiale, au décapage des sols, à l'apparition de fronts de taille, aux stocks de matériaux et de stériles.

La topographie va être modifiée et de nouvelles couleurs vont apparaître, dans notre cas la vue satellitaire montre des affleurements de l'ensemble du gisement avec une couleur très blanchâtre.

Le paysage va se modifier en fonction de la progression des extractions et des réaménagements. L'impact définitif peut être variable suivant le mode de réaménagement choisi.

On remarque sur la fig I.15 la phase d'un début de réaménagement naturel par la végétation environnante et progressif du flanc Nord Est de la carrière [6].



Source : Audit environnemental 2014

Figure I.15. Zone de déchargement des stériles de la carrière (Côté Sud Est).

II.3.5. Impact du bruit

Au niveau de la carrière le bruit provient principalement des engins de chantier et des camions. L'exploitation de la carrière est menée de manière à ne pas être à l'origine de bruits aériens ou de vibrations mécaniques susceptibles de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage ou de constituer une gêne pour sa tranquillité.

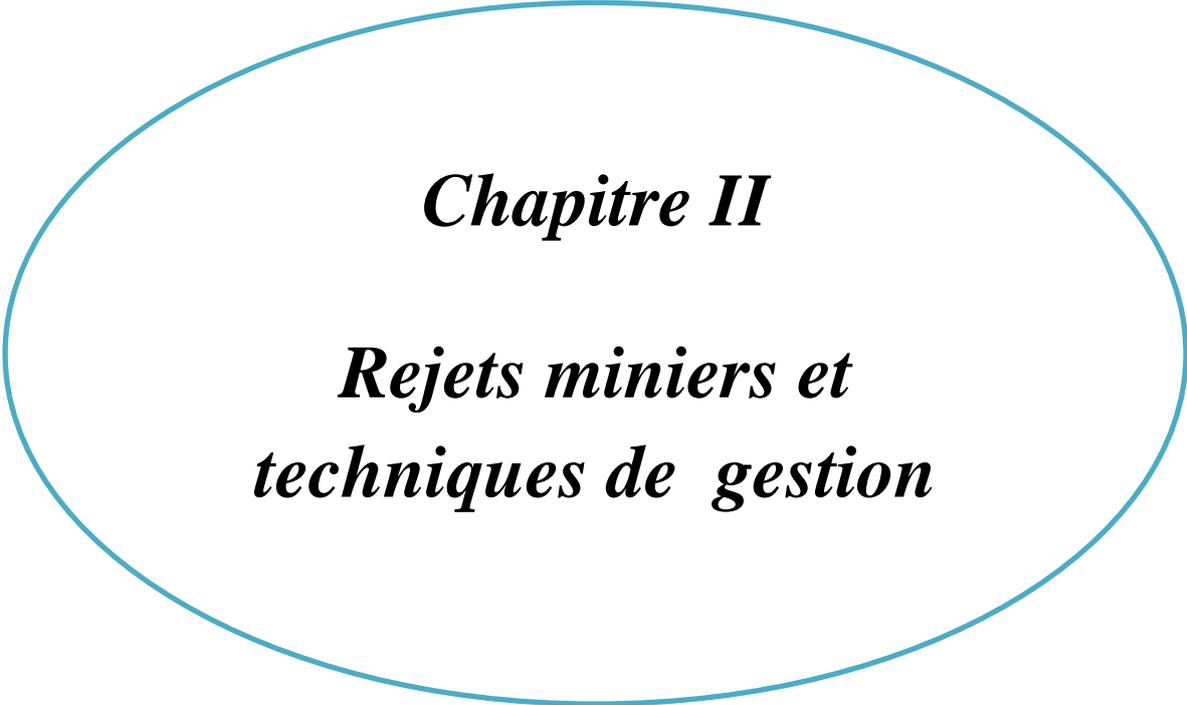
L'impact sonore d'une exploitation dépend essentiellement du sens des vents et du relief du terrain. La conformité des engins par rapport à la réglementation et l'isolement du site par rapport à l'habitat environnant nous permet de déduire que l'impact est acceptable [6].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la société algérienne du kaolin (SOALKA) qui est une société spécialisée dans la Production, la Commercialisation et le Développement du kaolin, la géographie et la géologie de Djebel Tamazert qui fait partie de la petite Kabylie.

Du point de vue gîtologique, on trouve deux faciès minéralogique : des kaolins sableux et des gneiss kaolinsés dont l'origine provient de l'altération des gneiss.

Enfin une description des différentes caractéristiques du produit finis KT2, KT3, KT3B, leur utilisation dans plusieurs industries ainsi que et les différents enjeux environnementaux correspondants à l'exploitation et le traitement du kaolin.



Chapitre II

***Rejets miniers et
techniques de gestion***

Introduction

Ce chapitre comprend la définition d'un rejet minier et leurs différents types engendrés par les processus d'extraction et du traitement du minerai ainsi que les techniques disponibles de gestion à ciel ouvert (les digues de retenue et les haldes de stériles), le remblayage souterrain, et la gestion subaquatique.

Partie I : Généralités sur les rejets miniers

I.1. Définition d'un rejet minier

- Un rejet minier doit être d'origine minérale, ce qui signifie que les matières premières qui l'ont généré ne doivent pas contenir plus de 50 % de matériaux recyclés [27].
- La définition de rejets miniers devrait généralement se limiter au secteur minier, donc aux résidus rejetés découlant d'une activité minière proprement dite (extraction, préparation, enrichissement ou traitement d'un minerai) [27].
- La définition de rejets miniers devrait s'étendre, dans certains cas, à l'industrie métallurgique qui fait aussi des activités d'enrichissement ou de traitement du minerai ou de concentré par des procédés utilisés dans l'industrie minière et générant également des quantités considérables de résidus comme c'est le cas pour l'industrie minière [27].

Nouvelle définition de rejets miniers (version technique) :

Rejets miniers : toutes substances solides ou liquides, à l'exception de l'effluent final, rejetées par l'extraction, la préparation, l'enrichissement et la séparation d'un minerai, y compris les boues et les poussières résultant du traitement ou de l'épuration des eaux usées minières ou des émissions atmosphériques sont considérées comme rejets miniers, les scories et les boues, incluant les boues d'épuration, rejetées lors du traitement utilisant majoritairement un minerai ou un minerai enrichi ou concentré par pyrométallurgie ou hydrométallurgie ou par extraction électrolytique sont également des rejets miniers, les substances rejetées lors de l'extraction d'une substance commercialisable à partir d'un rejet minier et qui correspondent à celles déjà identifiées aux deux premiers alinéas sont exclus, les résidus rejetés par

l'exploitation d'une carrière ou d'une sablière au sens du règlement sur les carrières et sablières [27].

Notes explicatives

Le premier paragraphe de la définition couvre les rejets miniers reliés aux activités minières proprement dites. On inclut ici l'ensemble des résidus rejetés à l'exception de l'effluent final.

Le deuxième paragraphe de la définition couvre le « champ commun » de l'industrie minière et de l'industrie métallurgique lors du traitement du minerai ou d'un concentré. On a retenu comme étant des rejets miniers : les scories, les boues et les boues de traitement des eaux qui sont d'origine minérale.

Certains résidus produits par l'industrie métallurgique ne sont pas des rejets miniers dépendant de leurs caractéristiques, ils peuvent être assujettis au règlement sur les matières dangereuses. Dans le cas contraire, ils pourront être générés comme toute autre matière résiduelle.

Le troisième paragraphe tient compte des procédés de valorisation des rejets miniers qui peuvent également produire des rejets miniers.

Le quatrième paragraphe prévoit une concordance avec le règlement sur les carrières et sablières [27].

I.2. Classification des rejets miniers

I.2.1. Classification selon l'état

I.2.1.1. Rejets miniers solides

Principaux rejets miniers solides générés par les exploitations minières sont :

- Le mort-terrain résultant du décapage et de l'excavation de la surface (cas de mine à ciel ouvert).
- Les roches stériles issues des opérations d'extraction : Sont stockés dans des haldes.

Le mode de déposition entraîne une grande hétérogénéité dans la halde, et la principale préoccupation liée aux empilements de stériles est leur stabilité physique et chimique (DMA) [28].



Figure II.1. Rejets miniers solides : stériles [28].

➤ Les rejets du concentrateur produits lors du traitement minéralurgique : sont habituellement transportés sous forme de pulpe jusqu'au bassin d'entreposage. Ils sont dans un état lâche et fortement saturé, se consolident lentement en raison du mode de mise en place, de sa teneur en eau initiale et de sa faible conductivité hydraulique, peut entraîner des problèmes de stabilité physique, Tout comme pour les stériles, il peut y avoir des problèmes de DMA (Drainage Minier Acide) avec ce type de rejet (selon minéralogie) [28].



Figure II.2. Rejets miniers solides : résidus [28].

➤ les boues provenant du traitement chimique des eaux : Lorsqu'il y a génération d'acide durant l'opération, il faut traiter l'eau afin de respecter les normes environnementales, Habituellement, on a recours au traitement chimique qui produit des boues de traitement, ces boues doivent être entreposées de façon convenable, mais prennent de la place, on connaît peu leurs propriétés physiques, et leur stabilité chimique à long terme [28].

I.2.1.2. Rejets miniers liquides

a. **Les eaux de mine** : différents types de contaminants classifiés selon le tableau :

Tableau II.1. Les différents types de contaminant des eaux de mines [28].

Type du contaminant	Exemples
Solubles	Acides générés par le DMA, métaux lourds et contaminants provenant du traitement du minéral (cyanures, agents de traitement, thiosels).
Non solubles	Particules en suspension.
Radioactifs	Radium, thorium et du plomb 210.

b. Drainage Minier Acide (DMA)

Ces deux dernières décennies, la prise de conscience généralisée d'un problème environnemental dans le secteur minier, le « drainage acide » ou DA (Drainage Acide) s'est renforcée. Bien qu'il soit difficile de le prévoir et de le quantifier de manière fiable, le DA est associé aux minerais sulfurés dont on extrait le plomb, le zinc, le cuivre, l'or et d'autres minéraux, y compris du charbon. Ce phénomène peut se produire sur les parois riches en sulfures des puits et des mines souterraines [29].

Les principales origines de ce problème environnemental sont les suivantes :

- La présence fréquente de sulfures métalliques dans les résidus et/ou stériles.
- L'oxydation des sulfures lorsqu'ils sont exposés à l'oxygène et à l'eau.
- La formation d'un lixiviat acide chargé en métaux par oxydation des sulfures.
- La formation de ce lixiviat durant de longues périodes [29].

Principe de base du drainage acide Au contact de l'eau et de l'oxygène, les minéraux sulfurés commencent à s'oxyder. Il s'agit d'un processus calogène lent (processus exothermique sous contrôle cinétique) qui est favorisé par :

- Une température élevée.
- Un faible pH (Potentiel Hydrogène).
- Une activité bactérienne.

La vitesse globale de réaction pour une quantité donnée de sulfures dépend également d'autres paramètres, par exemple du type de sulfures et de leur granulométrie, qui détermine également la surface exposée. En s'oxydant, les sulfures produisent du sulfate, des ions hydrogène et des métaux dissous [30].

Les résidus et les stériles sont constitués de différents minéraux naturels présents dans la roche extraite. Dans la roche non exploitée, fréquemment située en profondeur, les minéraux réactifs sont protégés de l'oxydation. Dans des environnements exempts d'oxygène, par exemple dans les nappes profondes, les minéraux sulfurés sont stables au plan thermodynamique et présentent une faible solubilité chimique.

Les eaux souterraines profondes situées dans des régions minéralisées présentent donc de faibles teneurs en métaux. En revanche, une fois ces minerais excavés et amenés à la surface, leur exposition à l'oxygène atmosphérique déclenche une série de processus biogéochimiques qui peuvent conduire à la production de drainage acide. De ce fait, le principal souci n'est pas tant la teneur en sulfures métalliques en elle-même que les effets combinés de la teneur en sulfures métalliques et de l'exposition à l'oxygène atmosphérique. L'effet de l'exposition augmente au fur et à mesure que la granulométrie diminue et que la surface, par conséquent, augmente. Ainsi, les sulfures qui contiennent des résidus finement broyés ont davantage tendance à s'oxyder [31].

Les résidus et les stériles sont normalement composés d'un certain nombre de minéraux dont les sulfures, pour autant qu'ils soient présents, ne constituent qu'une partie. Par conséquent, si une oxydation des sulfures se produit dans des déchets miniers, l'acide produit est susceptible d'être consommé à divers degrés par des réactions consommatrices d'acide, selon les minéraux consommateurs d'acide qui sont présents. Si les déchets miniers contiennent des carbonates, le pH reste normalement neutre, les métaux dissous se précipitent et ne se transmettent donc pas de façon significative au milieu environnant. Les autres minéraux consommateurs d'acide sont, entre autres, les aluminosilicates. La dissolution des aluminosilicates se fait sous contrôle cinétique et ne permet généralement pas de maintenir un pH neutre dans le drainage. L'interaction entre l'oxydation acidogène des sulfures et la dissolution consommatrice d'acide des minéraux neutralisants détermine le pH des eaux

interstitielles et du drainage, lequel détermine à son tour la mobilité des métaux. Si les minéraux neutralisants facilement accessibles sont consommés, le pH risque de baisser et de provoquer un DA [31].

Le drainage acide dans les eaux superficielles et souterraines dégrade la qualité de l'eau et risque d'avoir un certain nombre de répercussions, notamment la perte d'alcalinité, l'acidification, la bioaccumulation de métaux, l'accumulation de métaux dans les sédiments,

Des effets sur l'habitat, la disparition des espèces vulnérables et l'instabilité des écosystèmes [31].

b.1. Oxydation des sulfures et production du DMA

Schéma explicatif des différentes étapes du processus d'oxydation des sulfures et production du DMA :

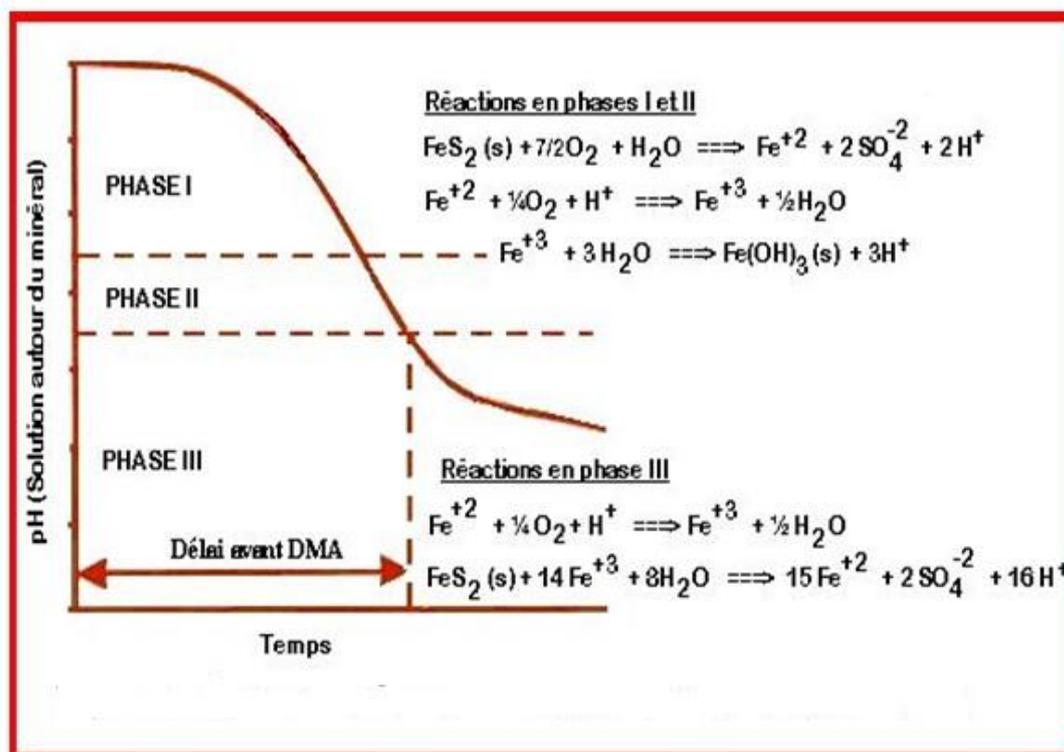


Figure II.3. Oxydation des sulfures et production du DMA. [28]

I.2.1.3. Rejets miniers gazeux

a. Rejets de carrière

Les carrières sont des installations reconnues pour leurs émissions de « particules » dans l'environnement. Le terme « particules », dans son sens large, comprend aussi bien les

fibres que les poussières.

La définition conventionnelle d'une fibre utilisée en hygiène industrielle est : « toute particule ayant des bords parallèles et un ratio longueur sur diamètre de 3 pour 1 ». Les fibres inhalables sont celles dont le diamètre est inférieur à 3 μm et la longueur supérieure à 5 μm (définition Organisation Mondiale de la Santé).

Le potentiel d'émission de poussières est lié au mode d'exploitation de chaque carrière. Chaque étape du processus, de l'extraction du matériau à son évacuation vers l'usine de traitement, peut être une source potentielle de poussières.

Les effets sanitaires des particules atmosphériques dépendent de leur diamètre aérodynamique (qui détermine la capacité de pénétration dans l'arbre bronchopulmonaire), de leur composition physico-chimique [5].

b. Rejets d'unité de traitement

A la livraison du minerai vers l'usine les opérations de déchargement des camions ainsi que le chargement dans la trémie génèrent des émissions de poussières [5].

➤ Le dioxyde de soufre (SO_2) : Il provient essentiellement de la combustion des combustibles fossiles contenant du soufre (fuels, charbon) et de processus industriels (grillage de minerais, production d'acide sulfurique). Les activités industrielles sont responsables de la moitié des émissions de SO_2 .

➤ Les oxydes d'azote (NO_x) : Le secteur du transport est le principal émetteur de ces polluants (69 %). Les autres proviennent de l'industrie (verreries, cimenteries...) et des installations de combustion [32].

I.2.2. Classification selon l'origine

I.2.2.1. Rejets du processus d'exploitation

Le processus d'exploitation consistant le décapage, l'abattage génère des grandes quantités des rejets, on cite parmi lesquelles :

➤ Le mort-terrain : est le sol (dépôts meubles) au-dessus du roc, qui doit parfois être enlevé afin d'installer les opérations minières.

➤ La roche stérile (ou simplement les stériles) : est la roche sans valeur commerciale qui doit être extraite afin d'accéder au gisement [33].

I.2.2.2.Rejets de traitement du minerai

Des quantités considérables des rejets proviennent de différentes étapes de traitement (concentration, enrichissement) du minerai, le tableau ci- dessous contient quelques exemple sur ces rejets :

Tableau II.2. Rejets de traitement du minerai [33].

Types de rejet	Explication
rejet de concentrateur	C'est le rejet de l'usine de concentration.
Les boues de traitement des eaux	Sont les boues générées par le traitement de l'eau.

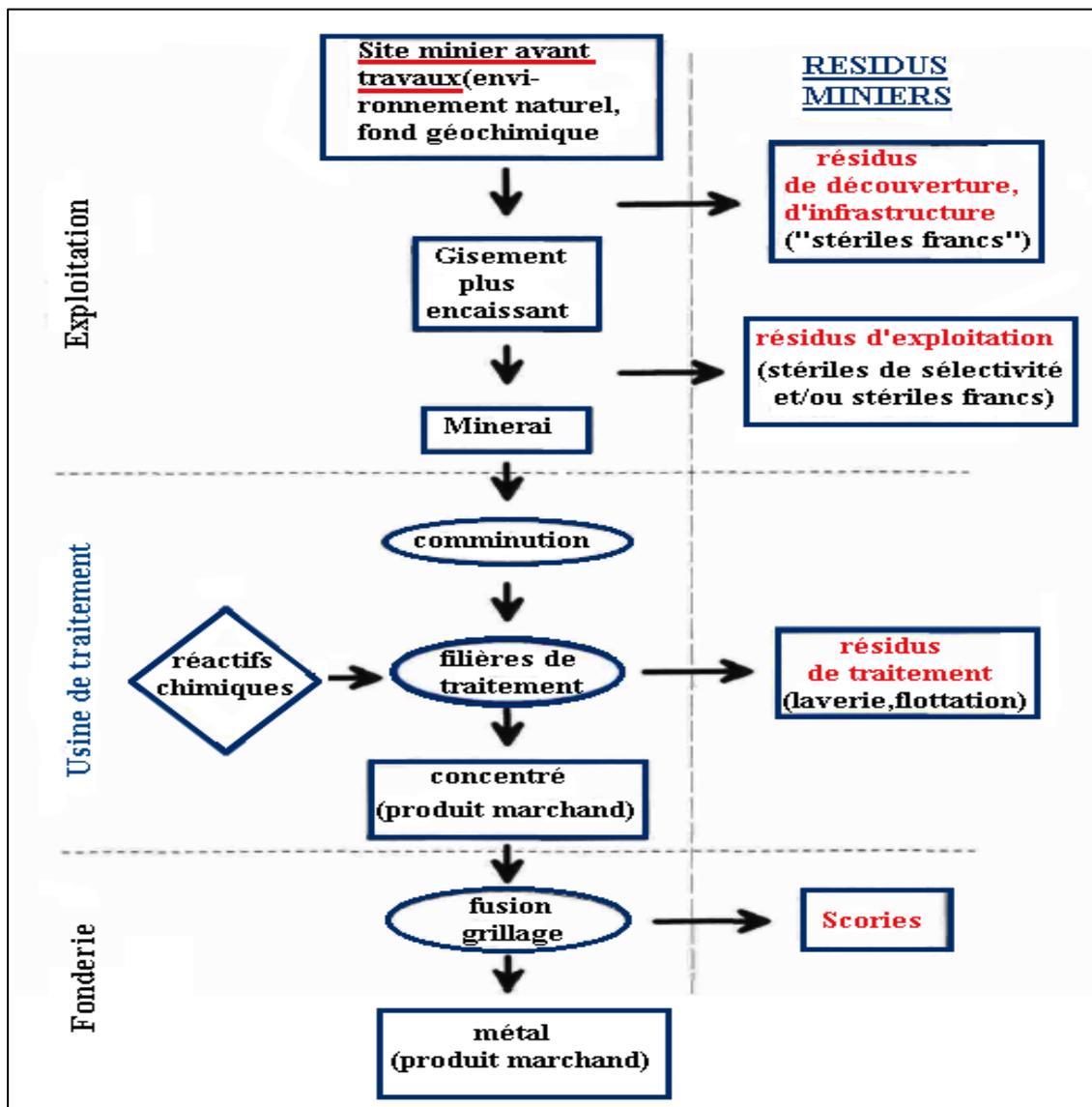


Figure II.4. Origines et types des rejets miniers [33].

Partie II : Gestion des rejets miniers

II.1. Caractéristiques des résidus

Les résidus miniers varient considérablement selon leurs propriétés physiques, chimiques et minéralogiques. Il n'existe donc aucune catégorisation toute faite pour classifier les résidus miniers et l'étude d'un résidu minier quelconque doit être spécifique à lui-même.

Les caractéristiques des résidus miniers déterminent leur comportement dans les aires d'accumulation et la qualité de l'eau de drainage. Une bonne compréhension des propriétés des résidus miniers est alors indispensable pour établir les critères de la conception des installations de stockage.

Ainsi, les critères de classifications suivantes sont adoptés en vue de faire ressortir le plan de stockage convenable pour chaque type de résidu minier [34].

II.1.1. Propriétés physiques

Ces caractéristiques portent sur les matériaux tels que produits, en place ou après compaction, dépendant des usages. Elles portent principalement sur :

- La granulométrie du matériau.
- les paramètres géotechniques tels que :
 - le poids propre.
 - l'angle de frottement interne.
 - la cohésion.
- la vitesse de sédimentation des particules [34].

II.1.2. Propriétés chimiques et minéralogiques

La composition minéralogique des résidus miniers détermine le poids spécifique des différentes particules qui, à leur tour, détermineront leur faculté à se sédimenter et à se compacter. Les résidus oxydés sont généralement lents à se sédimenter et à se consolider.

La composition minéralogique des particules peut affecter :

- La production d'eaux acides.
- La lixiviation des métaux lourds.
- La présence des réactifs utilisés par le concentrateur.

Les propriétés chimiques des résidus miniers devront être déterminées afin de prévoir leur comportement en présence d'éventuels contaminants. Cela permettra aussi d'envisager

les réactions probables entre les eaux de drainage et les eaux de surface ou entre les eaux de drainage et la surface du sol [34].

II.2. Technique de gestion des rejets miniers

Sont des techniques ayant pour but pour une meilleure gestion et stockage des rejets miniers incluent tant la technologie utilisée que la manière dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et déclassée. Ces techniques sont celles mises au point sur une échelle permettant de les appliquer dans le contexte du secteur industriel concerné, dans des conditions économiquement et techniquement viables, en prenant en considération les coûts et les avantages, que ces techniques soient utilisées ou produites ou non sur le territoire de l'État membre intéressé, pour autant que l'exploitant concerné puisse y avoir accès dans des conditions raisonnables, ces techniques sont les plus efficaces pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble [1].

II.2.1. Digues de retenue

Les digues sont des structures de surface dans lesquelles sont entreposées les boues. Ce type d'IGR (installation de gestion des résidus) est généralement utilisé pour les résidus issus d'un traitement par voie humide [35].

II.2.2. Les types des Digues de retenue

II.2.2.1. Digue classique

La construction d'une digue de ce type est entièrement terminée lorsque les résidus sont déversés sur le site [35]. Par conséquent, ils ne peuvent servir à sa construction. On construit une digue classique lorsqu'il s'agit de retenir à la fois les résidus et l'eau gravitaire pendant toute la période qui va du début de la gestion des résidus jusqu'à la fermeture du site concerné.

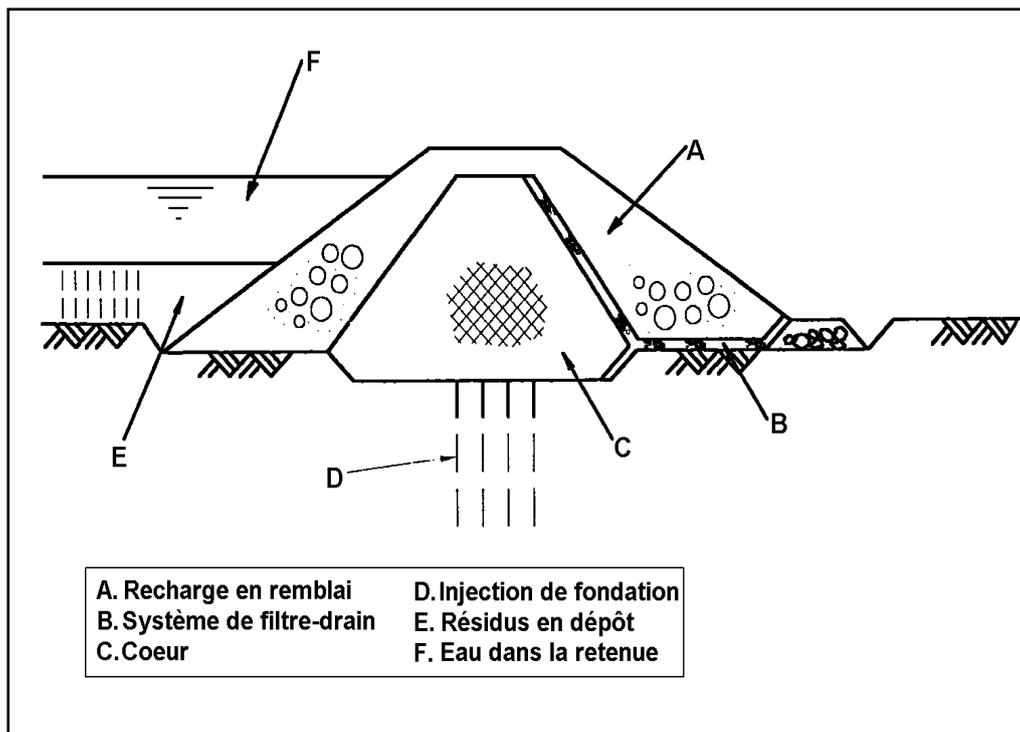


Figure II.5. Digue classique [35, ICOLD, 1996].

La recharge en remblai a pour but d'augmenter la solidité globale de la digue mais également de protéger le cœur de l'érosion (par le vent et l'eau) et de l'action des vagues de l'eau gravitaire. Une partie centrale classique, ou cœur, est illustrée sur la figure (II.5), mais il existe de nombreuses possibilités analogues à celles des digues destinées à la seule retenue d'eau. Cela étant, en règle générale, une digue doit être capable :

- De contrôler le passage de l'eau
- De supporter les charges exercées par les résidus et l'eau de la retenue
- De transmettre les eaux de percolation de manière efficace et sans laisser passer les matériaux solides (système de filtration) [35].

II.2.2.2. Digue classique construite par étapes

Sa construction est similaire à celle d'une digue classique, mais son coût initial en capital est plus faible, les étapes étant conçues de telle sorte que les frais soient répartis de manière plus égale tout au long de la période de dépôt [35].

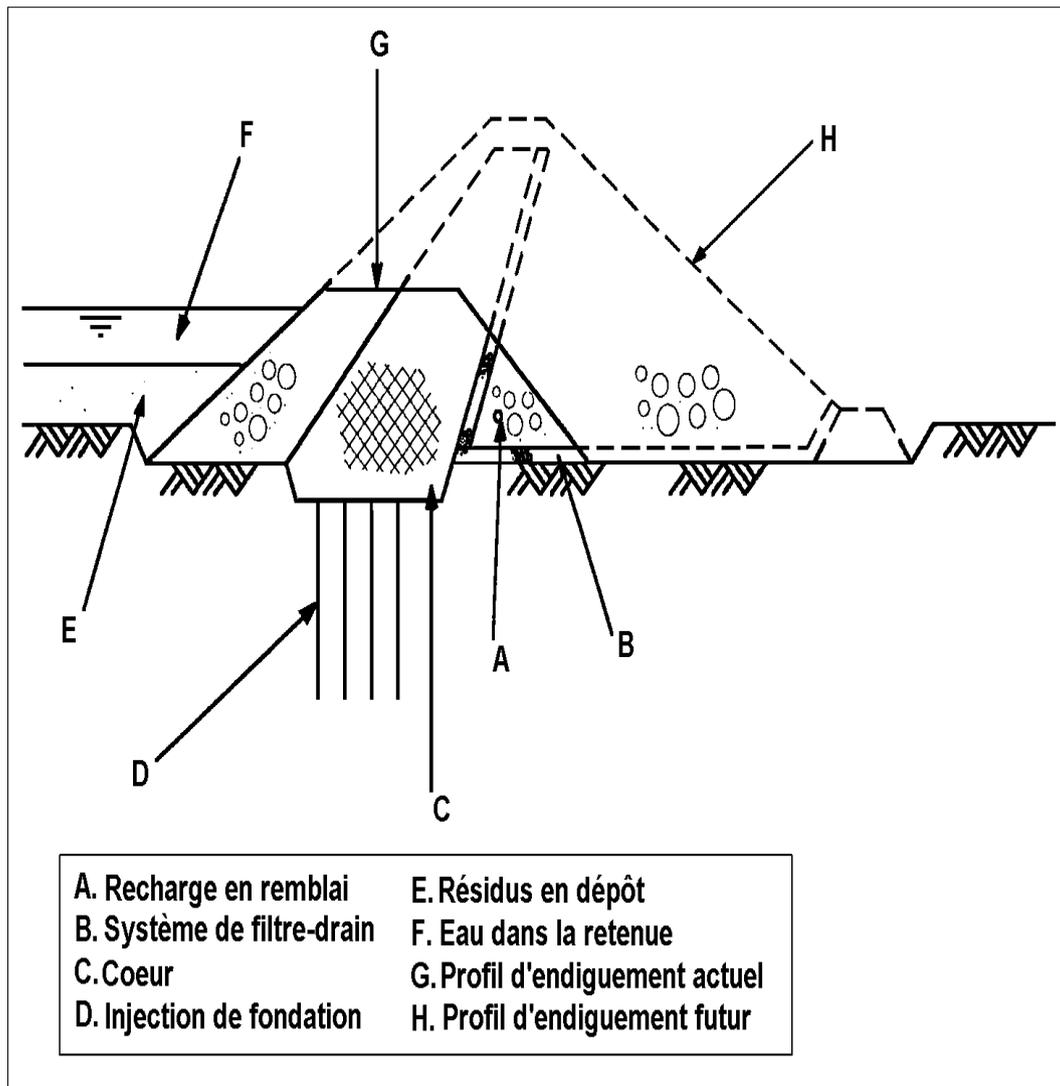


Figure II.6. Digue classique construite par étapes [35, ICOLD, 1996].

II.2.2.3. Digue classique construite par étapes avec zone amont de faible perméabilité

Si les résidus en dépôt se trouvent à proximité ou au-dessus du niveau de l'eau gravitaire de la retenue, la zone de faible perméabilité du cœur de la digue peut être placée sur la face amont. Cette possibilité résulte du fait que le cœur est protégé contre l'érosion et l'action des vagues par les résidus [35].

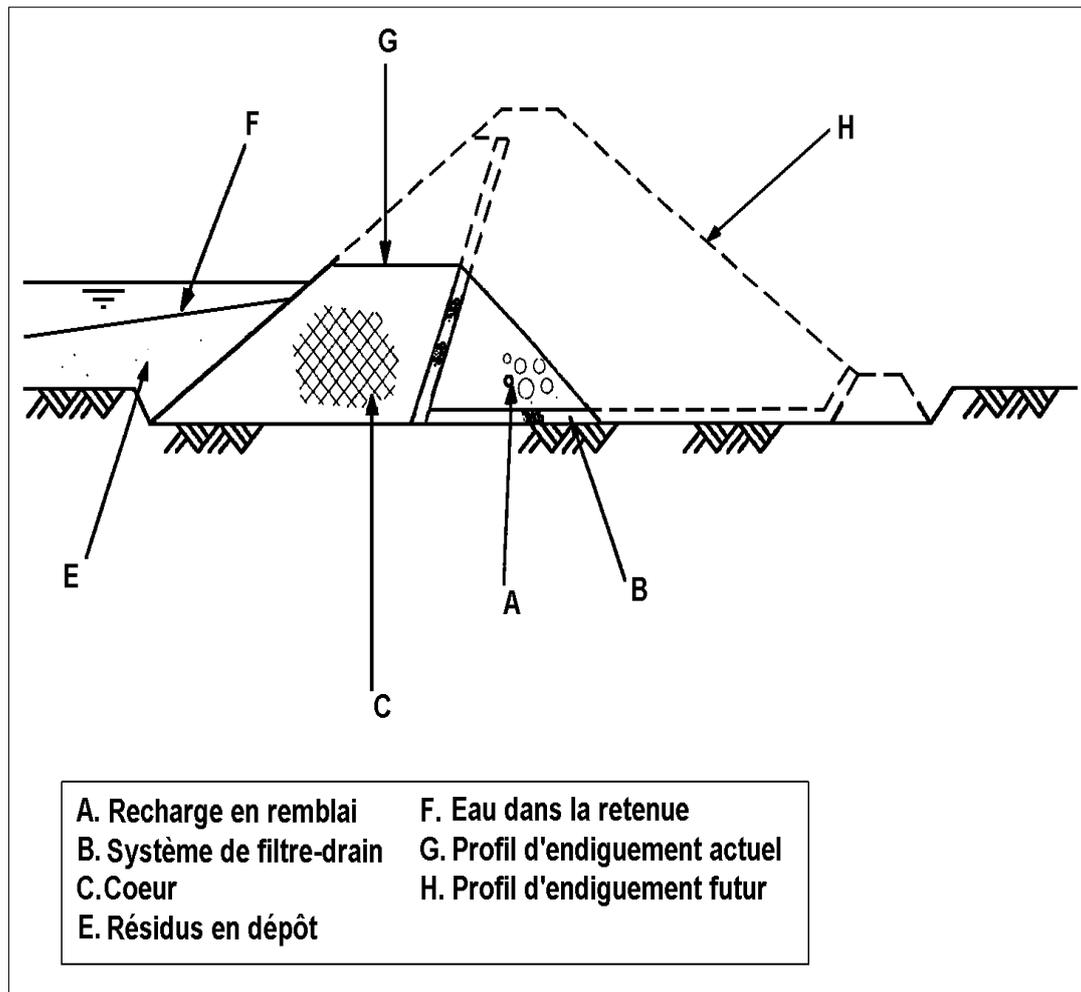


Figure II.7. Digue classique construite par étapes avec zone de faible perméabilité
[35, ICOLD, 1996].

II.2.2.4. Digue avec cœur de faible perméabilité constitué de résidus

Lorsque tout ou partie du dépôt de résidus s'effectue depuis la digue, une plage de résidus peut se former. Il est alors possible que cette plage de résidus constitue à elle seule la zone moins perméable du système [35].

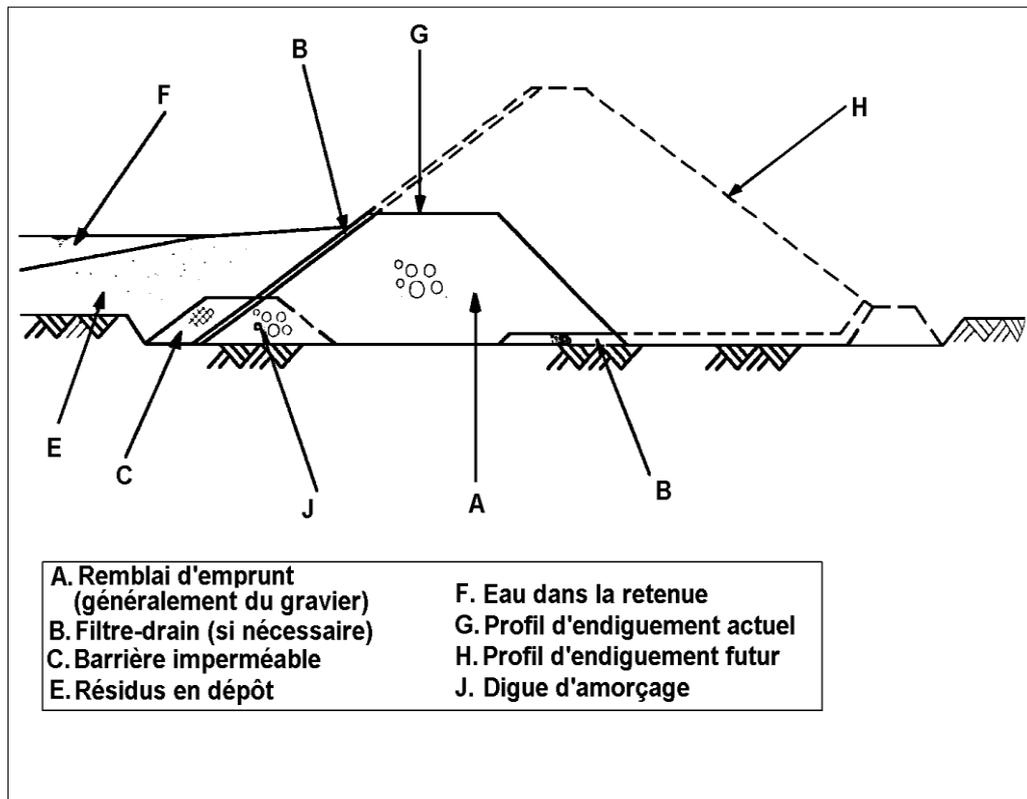


Figure II.8. Digue avec zone centrale de faible perméabilité [35, ICOLD, 1996].

Cet aménagement n'est possible que si l'afflux d'eau ne permet pas au niveau des eaux de retenue de dépasser le niveau supérieur de la plage et d'arriver, par conséquent, contre les matériaux plus perméables de la digue. Ce type d'aménagement doit donc faire l'objet d'une surveillance permanente. Pour un tel aménagement, il faut construire une barrière imperméable dans la digue d'amorçage, jusqu'à ce que la plage se soit développée à une distance suffisamment éloignée de la digue proprement dite [35].

II.2.2.5. Digue avec résidus au sein de la structure

Dans cet aménagement, les résidus servent non seulement de barrière contre l'eau mais également de matériau de construction de la digue. Dans le cas présent, la sousverse plus grossière de l'hydrocyclone est destinée à la structure, les fines de l'hydrocyclone étant déversées dans le bassin et constituant la plage [36].

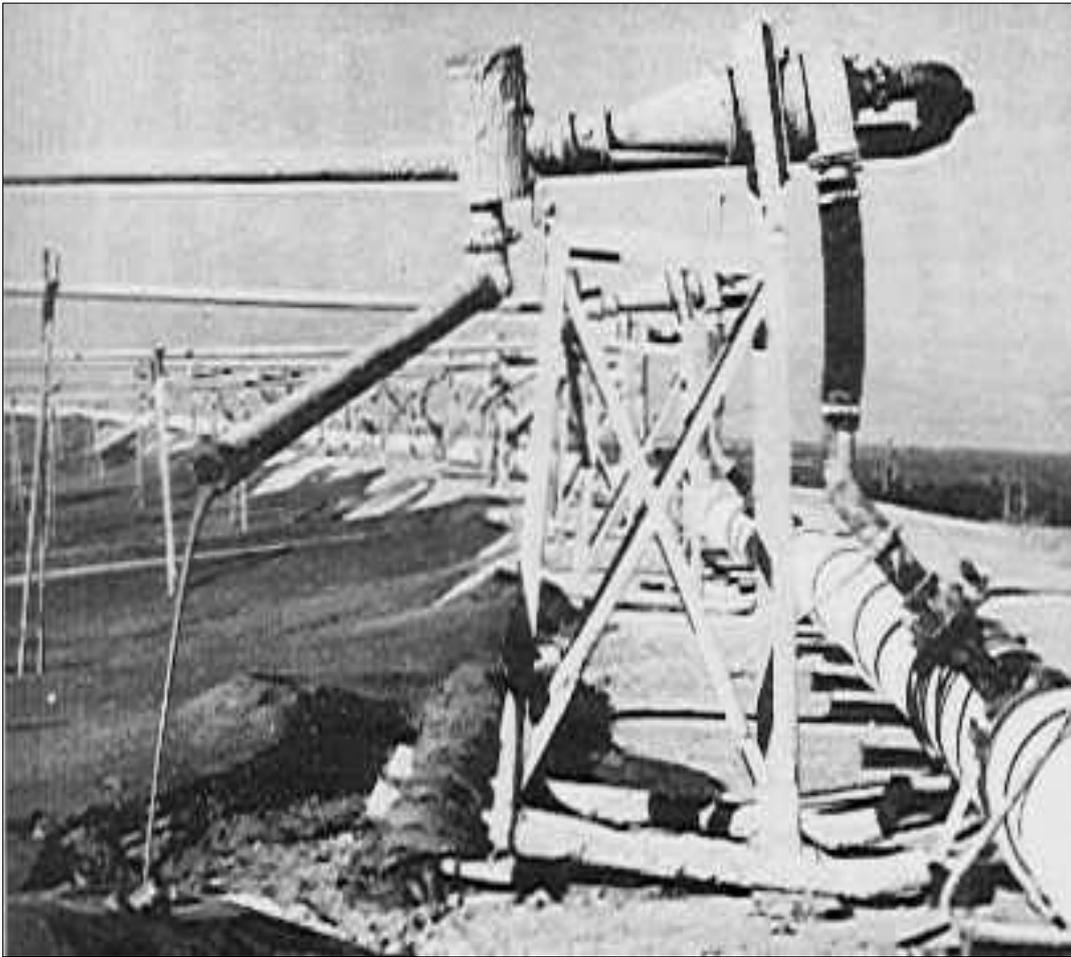
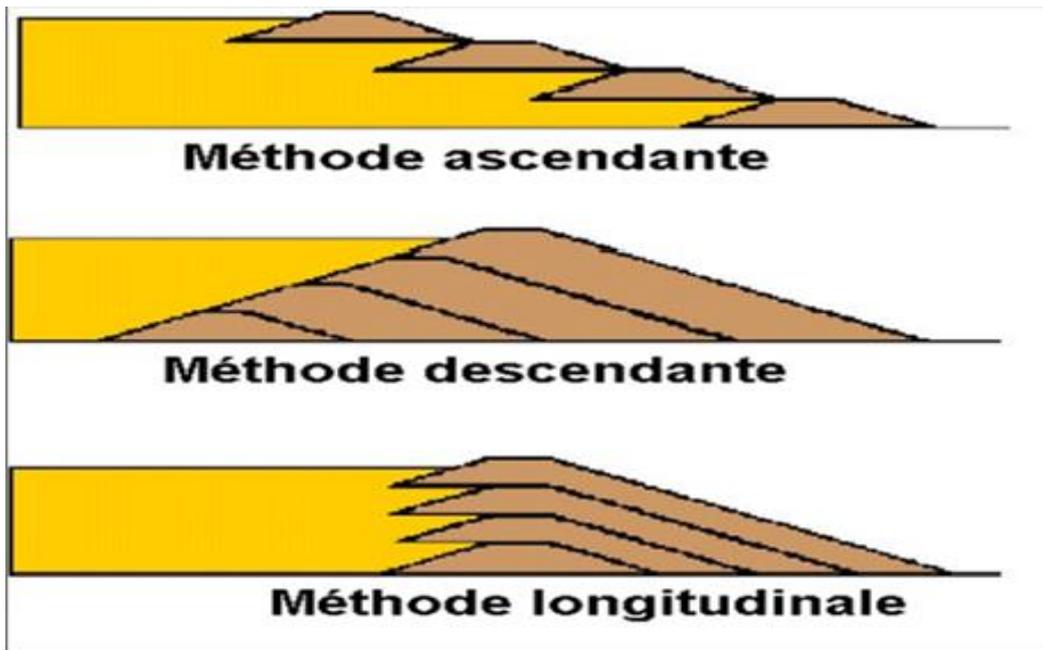


Figure II.9. Rangée d'hydrocyclones sur le sommet d'une digue [36].

Lorsqu'on envisage la construction progressive de ce type de digue, il existe trois méthodes principales :

- la méthode ascendante
- la méthode descendante
- la méthode longitudinale

De telles méthodes permettent de construire la digue par étapes, ce qui réduit le coût initial en capital. La figure (II.10) illustre ces différentes méthodes [36].

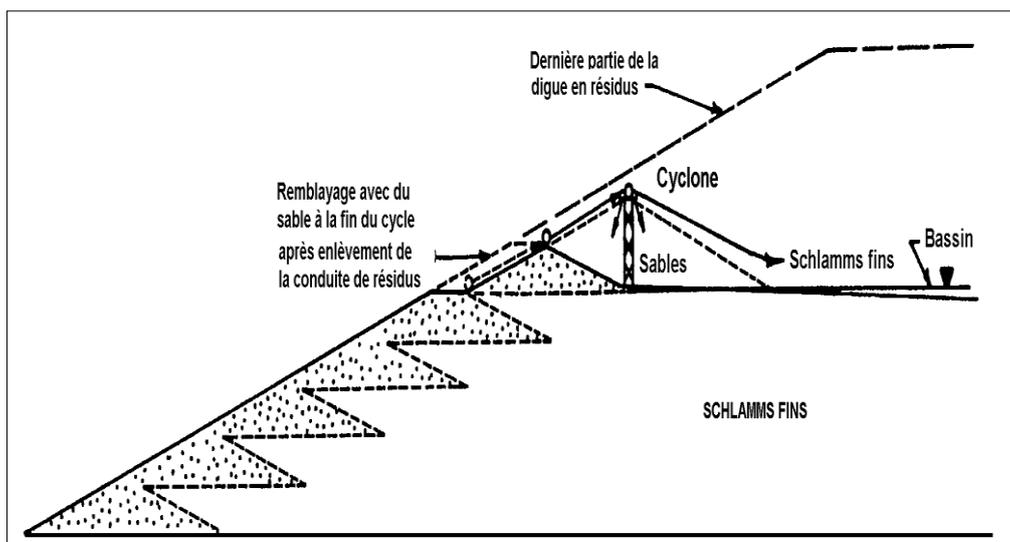


Source : [36, EPA, 1995]

Figure II.10. Types de digues élevées de façon séquentielle avec les résidus au sein de la structure de la structure

a. Méthode ascendante au moyen de résidus de cyclones

Cette méthode qui consiste à utiliser la fraction grossière des résidus, est très économique car elle conduit seulement à la formation d'une mince zone externe de ces matériaux [36].



Source : [36, EPA, 1995]

Figure II.11. Méthode ascendante au moyen de résidus de cyclones].

La figure (II.12) représente une digue construite selon la méthode ascendante. La digue proprement dite est constituée de remblai d'emprunt, contrairement à l'exemple ci-dessus où on utilise des résidus de cyclones.

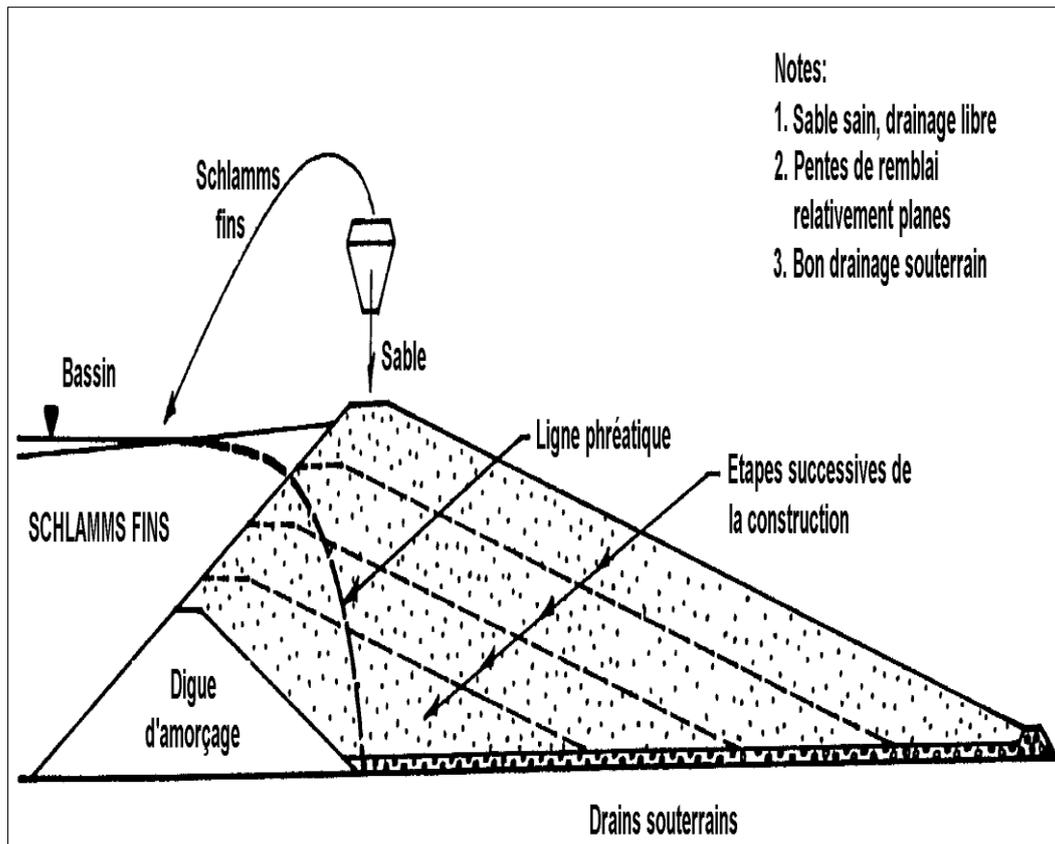


Figure II.12. Dignes élevées par la méthode ascendante [36].

Le principal inconvénient de cette méthode a été dans le passé, la stabilité physique de la digue et sa tendance à la liquéfaction. Des mesures doivent être prises pour contrôler la nappe phréatique, ce qui passe par un drainage correct. Par ailleurs, les résidus exposés qui sont employés pour la construction de la digue ne doivent pas présenter de risque de DA [36].

b. La méthode descendante

La fraction grossière des résidus séparée par l'hydrocyclone, peut être utilisée pour former la structure de la digue tout entière ou une grande partie de celle-ci. La taille de l'hydrocyclone est choisie de telle sorte qu'une batterie d'hydrocyclones fonctionnant en parallèle puissent traiter l'ensemble des résidus. La conduite d'acheminement des résidus et la batterie de prises d'hydrocyclone se trouvant initialement sur le sommet de la digue d'amorçage, la sousverse est évacuée en aval pour former la digue et la surverse est déversée dans le bassin, comme le montre la figure (II.13).



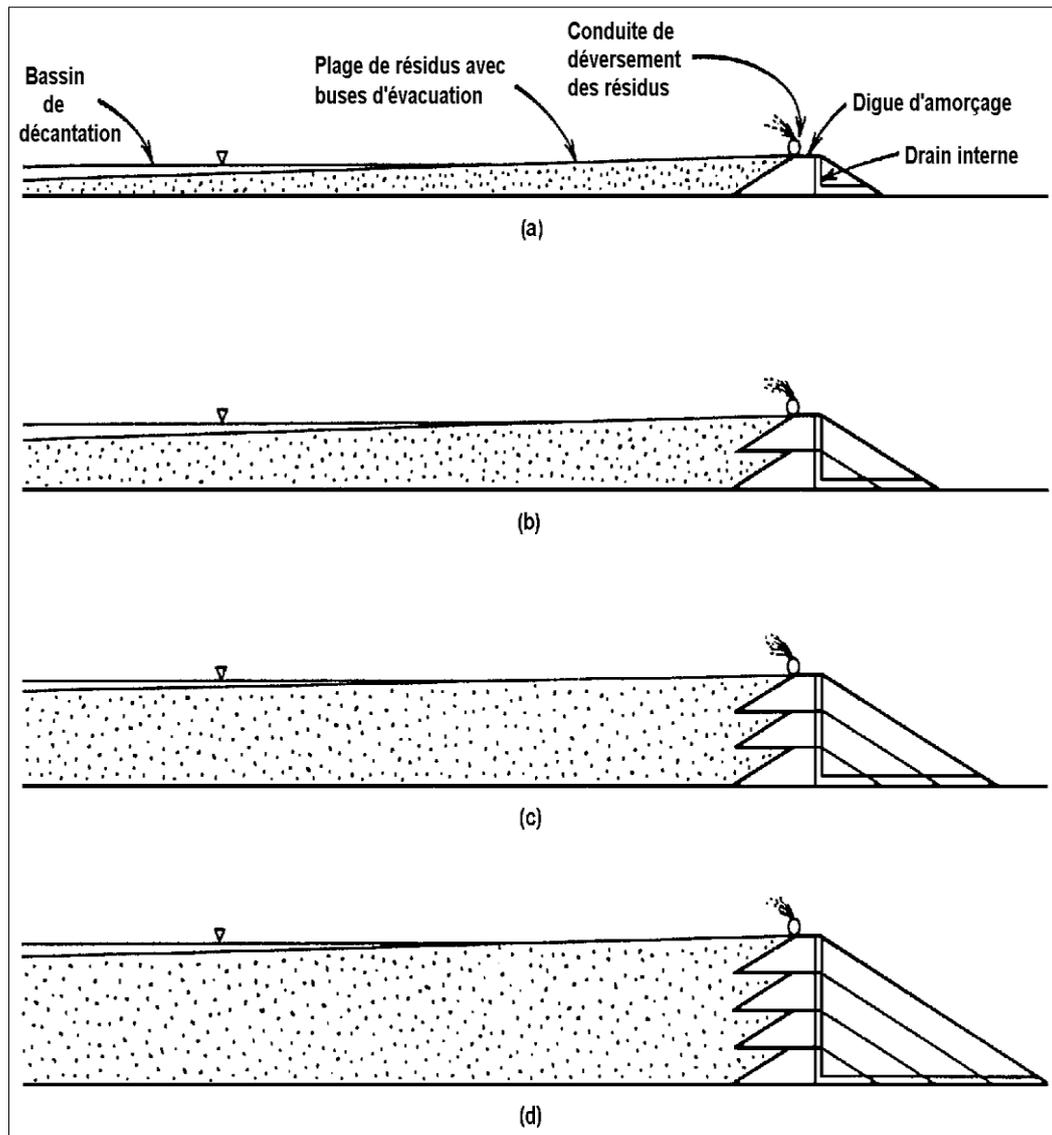
Source : [36, EPA, 1995]

Figure II.13. Construction d'une digue par la méthode descendante au moyen d'hydrocyclones

Cette méthode est appelée méthode descendante parce qu'au fur et à mesure que la digue monte en hauteur, le sommet descend ou se déplace vers l'aval [36].

C. La méthode longitudinale

La construction par la méthode longitudinale nécessite un volume considérable de résidus grossiers pour la digue, et une surface de sol sous l'emprise de celle-ci. Lorsque la proportion de résidus grossiers séparée par hydrocyclonage est insuffisante pour permettre à la digue de rester en avance par rapport à la montée du niveau des eaux de retenue, il faut éventuellement compléter la zone de résidus par une zone de matériaux d'emprunt. Comme autre possibilité, la partie amont de la digue peut être composée de la plage des résidus déposés. Cette possibilité est due au fait que la face amont de la digue est soutenue de manière progressive par la montée des résidus. La structure résultante est illustrée sur la figure (II.14), cette méthode étant généralement appelée "méthode longitudinale" [36].



Source : [36, EPA, 1995]

Figure II.14. Méthode longitudinale.

II.2.2.6. Construction par la méthode ascendante avec plage ou paddock

Cette méthode classique de construction de digue de retenue utilise une plage et non un hydrocyclone pour trier les résidus par taille. Elle exploite au maximum les résidus proprement dits pour assurer leur confinement, et peut constituer le système de gestion des résidus le plus économique qui soit. Ce système consiste à former une plage adéquate en contrôlant le déploiement des aménagements de déversement et en contrôlant la durée de déversement des matériaux depuis chaque point [1].

II.3. Haldes à stériles

On entend par le terme halde l'ensemble des déblais pierreux, minéralisés ou non, qui résultent de l'exploitation minière [37].



Figure II.15. Halde à stériles .

II.3.1. Caractérisations des haldes à stériles

Les stériles miniers entreposés dans des haldes constituent des empilements de matériaux rocheux, de granulométrie souvent grossière et possédant un indice des vides élevé. Les haldes sont fréquemment des ouvrages de grande envergure, pouvant s'élever à plusieurs dizaines de mètres au dessus du sol.

Le mode de déposition fait en sorte que les stériles montrent une ségrégation des matériaux grossiers et des matériaux fins. Cette hétérogénéité complique le comportement mécanique, hydraulique et géochimique globale de l'ouvrage. Les principales préoccupations reliées aux empilements de stériles sont leur stabilité physique et chimique.

La stabilité physique des haldes est affectée par leur configuration géométrique, la topographie des lieux, les propriétés des matériaux de fondation et des matériaux de la halde (incluant leur durabilité), la méthode et la séquence de construction, les conditions climatiques et hydrologiques, les pressions d'eau ainsi que par l'ampleur et la nature des forces dynamiques. L'effet de chacun de ces facteurs doit être considéré lors de l'analyse de stabilité. Lorsqu'un empilement est identifié par une méthode appropriée comme étant

potentiellement instable, on doit établir systématiquement les risques associés à l'instabilité de la halde, en concédant la probabilité de rupture, la nature et l'ampleur des dommages induits, la période d'exposition et les impacts potentiels sur la population, les équipements, les infrastructures et les écosystèmes en présences.

De telles études de risques fournissent une information de nature qualitative qui peut être utilisée pour la sélection des critères de conception. Plusieurs modes de rupture doivent être envisagés lorsque l'on veut établir les conditions de stabilité. Certains modes impliquent la halde seulement, alors que d'autres impliquent également les matériaux de fondation directement sous la halde ou à proximité de la face extérieure, à la base de celle-ci.

Les possibilités de liquéfaction des matériaux dans les haldes (quoique rares) doivent aussi être envisagées, ce phénomène est relié à une augmentation des pressions interstitielles qui réduisent les contraintes effectives et, par conséquent, la résistance au cisaillement de matériaux pulvérulents, poreux et à haut degré de saturation. La détermination des critères de sélection pour les événements récurrents (séismes, précipitations, etc) est également un domaine qui nécessite encore de la recherche en ce qui concerne la stabilité chimique des empilements de stériles miniers, celle-ci peut être particulièrement compromise lorsque les stériles contiennent des minéraux sulfureux générateurs de drainage minier acide. La grande porosité effective des empilements entraîne, dans la plupart des cas, des taux de réaction très élevés, supérieurs à ceux observés dans les parcs à rejets de concentrateur, en raison des phénomènes de transport de l'oxygène par advection qui s'ajoutent à ceux par diffusion .

II.3.2. Les différentes méthodes de mise en place d'une halde

On peut identifier quatre principales méthodes de mise en place des haldes à stériles. Le choix de l'une ou l'autre de ces méthodes dépend de la topographie du site, du type et des dimensions des équipements employés pour la manutention et le transport des roches stériles, ainsi que des caractéristiques physicochimiques des rejets. Chacune des méthodes conduit à un degré de compaction et de ségrégation granulométrique différent, ces paramètres agissent à leur tour sur le mouvement de l'eau, des gaz et des particules solides au sein de la halde .

Méthode I : Cette méthode est appelée "déversement à la benne (end-dumping) ", à l'aide des camions porteurs, les stériles sont déversés directement le long de la crête de la halde .

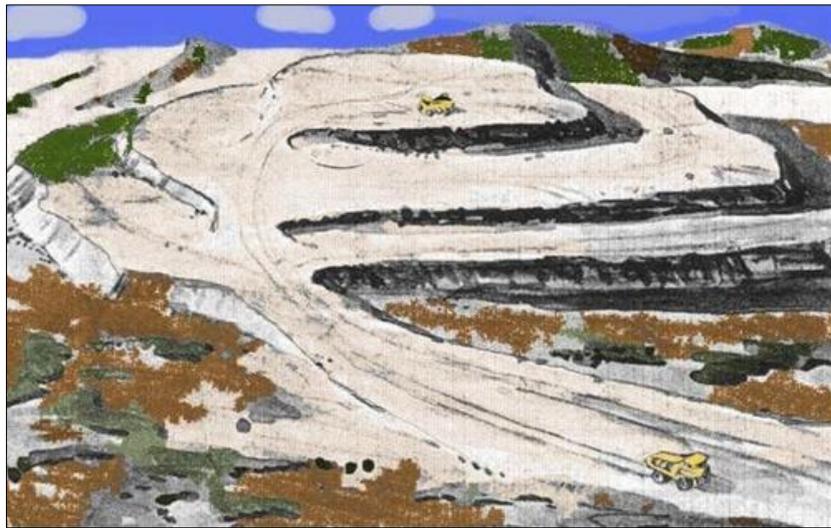


Figure II.16. Méthode de déversement à la benne (end-dumping) .

Méthode II : Cette méthode est appelée "déversement avec épandage au butoir (push-dumping)", à l'aide de camions ou de convoyeurs, les stériles sont déposés à proximité de la crête de la halde, puis poussés du haut de la pente par un engin mécanique (bulldozer).



Figure II.17. Déversement avec épandage au butoir (push-dumping).

Méthode III : Qui demande un "déversement à la benne avec réglage (free-dumping) ", elle consiste à déposer les stériles le long de la surface de la halde, sous forme d'empilements individuels (tas) d'environ deux mètres de hauteur, dont la surface est réglée et compactée par la suite.

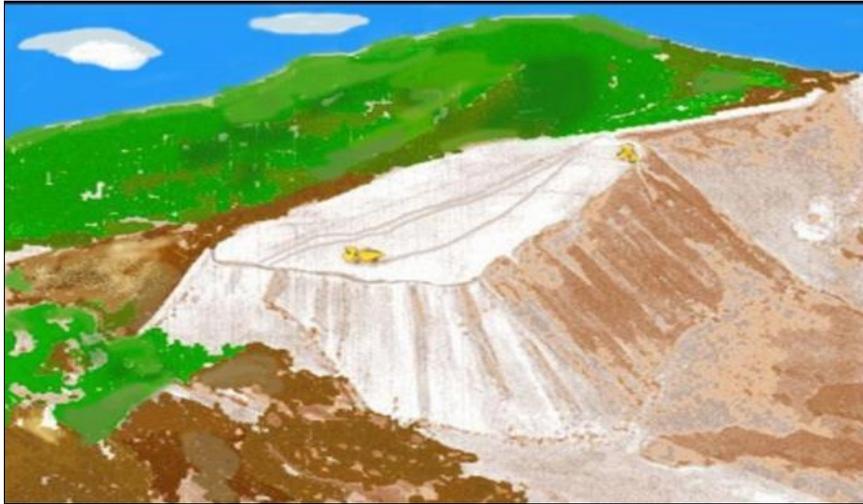


Figure II.18. Déversement à la benne avec réglage (free-dumping).

Méthode IV : Fait intervenir une " pelle a benne trainante (dragline) " pour le transport et la manutention des stériles, cette méthode est courante dans les exploitations de charbon de grande envergure.



Figure II.19. Méthode avec pelle a benne trainante (dragline) .

II.3.3. Comparaison entre les quatre différentes manières de mise en place d'une halde

Avec la méthode I, on distingue habituellement trois zones de granulométrie différentes : une zone en haut constitué de particules fines, une zone a la base constitué de gros éléments et une zone transitoire de granulométrie intermédiaire, relativement uniforme. La hauteur de la pente ne semble pas influée sur cet ordre de distribution granulométrique. Mais en général, plus la hauteur de la halde est faible, mois la ségrégation est marquée .

Avec la méthode II, les gros éléments se retrouvent aussi à la base de la pente, mais il y a moins de ségrégation en haut de la halde. Avec cette méthode, à peine 40% des éléments grossiers atteignent le pied de la pente (contre 75% environ pour la méthode I), en raison d'une vitesse angulaire initiale moindre des gros éléments lorsqu'ils quittent les bennes des camions porteurs.

Avec la méthode III, la ségrégation s'avère peu prononcée, et le matériau demeure plus dense que dans les deux premières méthodes, la méthode III est souvent utilisée au début du projet, et elle est ensuite remplacée par la méthode I ou II lorsque la plate-forme est assez élevée.

Quand on utilise la pelle à benne trainante (méthode IV), la ségrégation est plutôt faible et le matériau est moins dense qu'il ne l'est avec la méthode III. La faible ségrégation peut aussi provenir de la nature granulométrique des stériles produits par ce genre d'opération minière.

II.3.4. Les avantages des haldes à stériles

Les haldes à stériles ont beaucoup d'avantage et utilisation, on cite parmi lesquels :

- Les stériles entreposés dans des haldes sont récupérés pour le remblayage des ouvertures souterraines.
- Les stériles seront utilisés comme matériel de recouvrement des résidus épaissis, une fois ceux-ci durcis dans des haldes.
- La halde sert de stock pour les roches stériles qui seront utilisés pour la réfection des digues du parc à résidus et la construction du bassin de polissage.

II.3.5. Les inconvénients des haldes à stériles

- Une fois construite, la halde devient un système naturel à part entière. Ses frontières sont ouvertes aux mouvements des eaux, des solides et des gaz. Lorsque les stériles sont réactifs, il peut y avoir génération de drainage minier acide (DMA) suite à une série complexe de processus naturels d'origine physique, géochimique et biologique.
- Les haldes de résidus couvrent une importante superficie en bordure du milieu urbain et les impacts, principalement visuels ne sont pas négligeables.

II.4. Modes de défaillance des digues et des terrils

En général, lors de l'élaboration d'une politique de gestion des résidus, les modes de défaillance suivants sont pris en compte :

- l'instabilité
- Les déversements sur les digues
- L'érosion interne.

Il convient de prendre en compte également la sécurité à long terme et les modes de défaillance autres que la défaillance totale de l'endiguement, par exemple :

- La percolation
- Les poussières
- L'érosion à long terme.

Les résidus étant susceptibles de conserver leur potentiel de risque pour une longue durée, il faut des mesures efficaces pour limiter ces risques à long terme [37].

II.5. Barrières d'étanchéité

Il existe un risque de pollution des eaux souterraines par les décharges lorsque les eaux percolant à travers les déchets sont susceptibles d'atteindre une nappe phréatique. De ce point de vue, il existe des sites que l'on peut qualifier de géologiquement corrects ou c'est le sol qui joue de barrière aux effluents. Si le fond de la décharge est encaissé dans une formation imperméable (épaisse couche d'argile), la partie supérieure des talus est en contact avec des roches beaucoup plus perméables. Pour pallier ce défaut d'étanchéité, il sera donc nécessaire de mettre en place une barrière d'étanchéité artificielle, des géomembranes par exemple.

II.5.1. Définition d'une Barrière d'étanchéité

Les barrières minérales d'étanchéité sont rencontrées dans de nombreuses applications dans le domaine de l'environnement. Elles ont pour rôle, par exemple, d'assurer le stockage des déchets ultimes, acceptable par l'écosystème, dans des centres de stockage. Pour cette application, deux types de barrières existent, l'une active afin de prévenir la pollution du sol et d'empêcher les effluents de s'infiltrer, à l'aide d'une membrane, l'autre passive, située sous celle-ci et constituée d'un sol qui peut-être amélioré par ajout d'argile et des polymères.



Figure II.20. Barrière d'étanchéité.

II.5.2. Types des barrières d'étanchéités

Il existe deux types de barrière qui sont comme suit :

II.5.2.1. Barrière d'étanchéité active

Elle est constituée successivement de haut en bas, d'un système de collecte et de drainage des lixiviats, d'un géotextile de protection et d'une géomembrane. Son rôle est de préserver la barrière d'étanchéité passive des sollicitations, mais aussi d'isoler hydrauliquement les différents casiers du centre de stockage. Enfin, elle assure la collecte et l'évacuation des lixiviats.

II.5.2.2. Barrière d'étanchéité passive

Est destinée à garantir l'étanchéité des casiers en cas de défaillance de la barrière de sécurité active sous laquelle elle se trouve. Elle est au minimum constituée de bas en haut par 5 mètres de matériaux présentant une perméabilité inférieure à 10^{-6} m/s, et 1 mètre de matériaux présentant une perméabilité inférieure à 10^{-9} m/s.

Les différentes solutions pour la constitution d'une barrière minérale peuvent être regroupées en deux catégories : les sols naturels et les sols rapportés, renforcés ou non par des géosynthétiques bentonitiques.

II.5.3. Matériaux constitutifs des dispositifs d'étanchéité composite

Il y a plusieurs matériaux qui sont utilisés pour construire une barrière d'étanchéité, et qui sont représentés dans la figure (II.21).

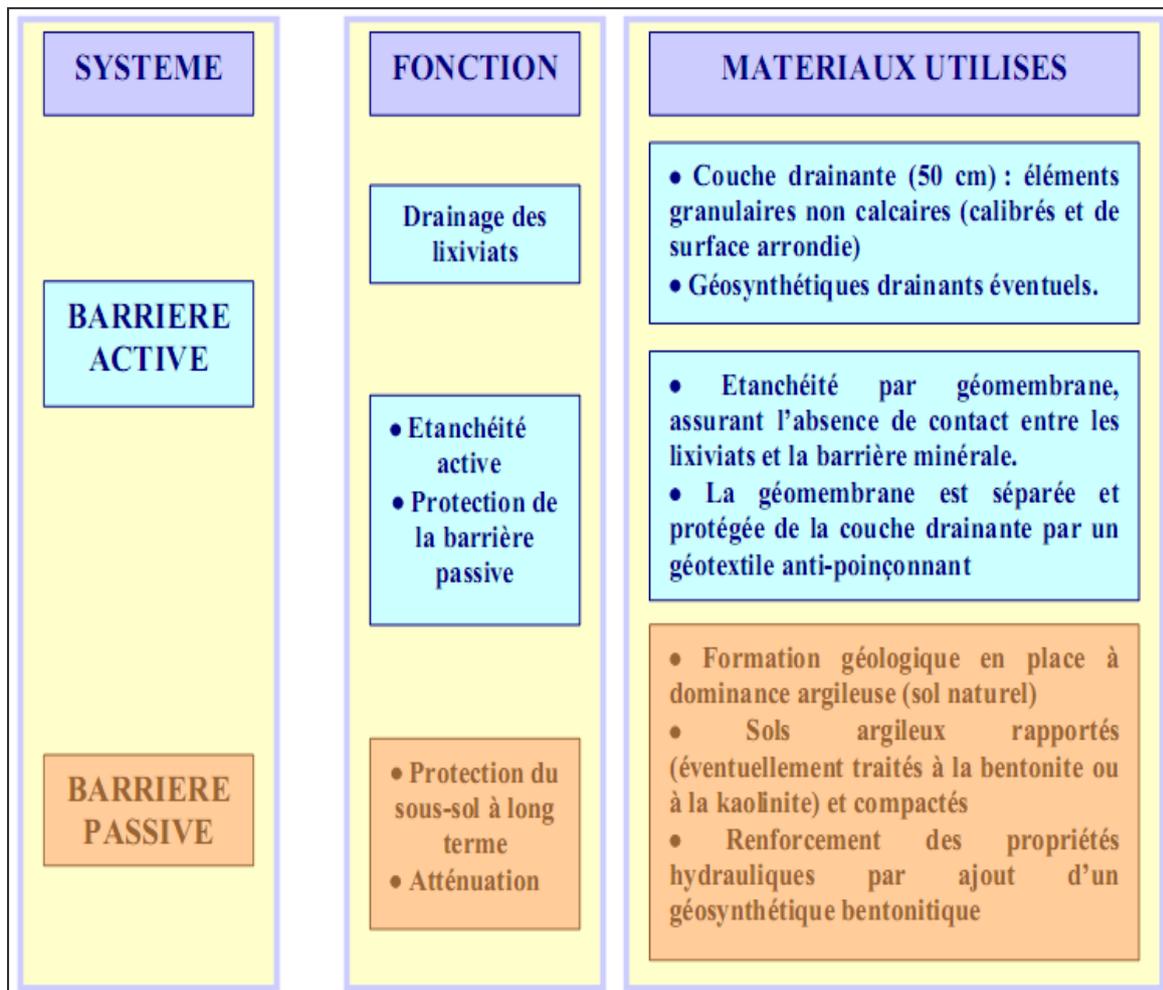


Figure II.21. Matériaux constitutifs des dispositifs d'étanchéité composite.

II.5.4. Utilisation des étanchéités

Les barrières sont très souvent utilisées comme :

- Etanchéité de bassins de lagunage pour déchets animaux.
- Couvertures pour le contrôle des odeurs de déchets animaux.
- Transport d'eau.
- Stockage de l'eau.
- Digesteurs anaérobies .

II.6. Remblayage

Le remblayage est la réinjection de matériaux dans la ou les parties épuisées du site d'extraction. Ces matériaux sont généralement des morts-terrains, des stériles et des résidus, soit seuls, soit associés à d'autres produits structurels (par exemple le ciment). Si d'autres matériaux qui ne proviennent pas de l'exploitation de la mine, comme les laitiers et les scories de fusion, sont injectés dans les excavations, on parle de remplissage. Dans certains cas, les matériaux de remplissage n'ont pas d'utilité géotechnique mais sont injectés à des fins d'élimination. Il peut arriver que des roches extraites dont la teneur est marginale ou peu économique soient utilisées comme remblais ou stockées provisoirement dans des exploitations désaffectées. Ce procédé est parfois appelé remblayage [1].

II.6.1. Les remblais miniers souterrains

L'utilisation des remblais miniers souterrains remonte au début du 20^e siècle. Bien que leurs avantages environnementaux soient maintenant bien connus, ce sont des nécessités économiques et sécuritaires qui ont rendu cette pratique indispensable pour les exploitations souterraines. Ces remblais sont utilisés afin d'optimiser l'exploitation du gisement en servant, par exemple, de plancher de travail. Ces remblais servent aussi de pilier secondaire afin de consolider la structure de la mine. Leur résistance mécanique est donc une préoccupation importante.

L'utilisation des remblais souterrains permet d'envoyer sous terre jusqu'à 60 % des résidus de concentrateur. Dépendamment du type de remblai qui est utilisé, il est préférable d'envoyer sous terre les rejets les plus problématiques, c'est-à-dire ceux qui ont un PGA (Potentiel de Génération Acide) élevé ou qui contiennent des concentrations supérieures aux normes. En effet, il existe trois catégories générales de remblais souterrains : en pâte, hydraulique et rocheux. Le type de remblais utilisés dépend grandement des activités de production, des impératifs sécuritaires et de la chimie des rejets [1].

II.6.1.1. Les remblais miniers cimentés en pâte

La popularité des RMCP (remblais miniers cimentés en pâte) n'a cessé de croître depuis les années 90. En 2004, plus de 63 % des activités de remblayages souterrains utilisaient la technologie du RMCP [38]. Il s'agit aujourd'hui d'une pratique courante dans l'industrie. Le remblai est produit par la fabrication d'une pâte contenant des résidus de concentrateur, de l'eau de procédé et un liant.

Les résidus sont tout d'abord épaissis et filtrés pour former un gâteau de densité variant entre 80 et 85 % de solides. Le liant qui est ajouté au gâteau représente une proportion de 3 à 7 % du remblai et est souvent composé de ciment issu des cimenteries, mais d'autres types de mélanges peuvent aussi être utilisés [39]. Par exemple, un mélange de ciment et de laitier de haut fourneau, un coproduit de la fonte au haut fourneau en sidérurgie [40].

Trois éléments sont nécessaires à l'oxydation des minéraux sulfureux : l'oxygène, l'eau et les sulfures. En entreposant les résidus sous forme de pâte, la surface de ceux-ci exposée à l'air est grandement réduite. Seuls les rejets qui se trouvent aux limites du remblai sont exposés. L'exposition aux éléments est faible et la migration des éléments chimiques qui composent les résidus est limitée. L'utilisation du RMCP dans les mines souterraines permet donc de limiter l'oxydation des sulfures [41]. Il s'agit d'une pratique idéale pour isoler les rejets. Elle permet aussi de réduire les quantités de résidus rejetés dans les aires d'accumulation en surface [41]. De plus, les boues issues du traitement des rejets peuvent aussi, dans certains cas, être utilisées et isolées dans les RMCP [43,44].

Les avantages du RMCP sont nombreux, mais l'utilisation de coproduits ou de rejets d'autres industries dans la composition du liant peut rendre cette technologie, d'un point de vue environnemental et économique, encore plus intéressante. Comme mentionnés précédemment, les laitiers de hauts fourneaux (slag) sont utilisés fréquemment dans la composition des liants. Les cendres volantes (fly ash), résidus de la combustion du charbon principalement, sont aussi utilisées dans la composition des liants des remblais cimentés. D'autres liants alternatifs, comme la chaux usée ou les produits calsifrits, produits en recyclant les brasques usées de l'industrie de l'aluminium, sont aussi utilisés [38].

Le principal inconvénient des RMCP est son coût élevé pour les exploitants. L'utilisation de ce type de remblai nécessite aussi la construction d'une usine qui produit la pâte avant de l'envoyer sous terre [45].

II.6.1.2. Les remblais miniers hydrauliques

Les remblais miniers hydrauliques sont un remblai contenant entre 60 et 73 % de solides [46]. Il est composé d'eau et de résidus de concentrateur et peut parfois être cimenté, ce qui requiert l'ajout d'un liant. C'est un remblai de faible résistance qui nécessite le pompage des eaux de drainages ainsi que l'installation de barricades de retenues. Dans ce contexte, les remblais miniers hydrauliques ne peuvent pas être utilisés pour les rejets de concentrateur sulfureux [38]. C'est le type de remblais le plus abordable que les mines souterraines peuvent utiliser [41].

II.6.1.3 Les remblais miniers rocheux

Le remblai minier rocheux se distingue des remblais hydrauliques et de la plupart des RMCP par l'utilisation des stériles miniers dans la composition du remblai plutôt que par les résidus de concentrateur. Il s'agit d'un remblai sec ne nécessitant aucun ajout d'eau. Sa résistance est considérée supérieure à celle des remblais hydrauliques et, lors d'un ajout cimentaire, supérieure aux RMCP [46]. Le coût du remblai rocheux est toutefois important, car il peut nécessiter le concassage et le tamisage du stérile afin d'obtenir la granulométrie souhaitée et en raison des coûts de transport [38]. Ce qui en fait le type de remblai souterrain le plus dispendieux [39]. D'un point de vue environnemental, cette pratique est avantageuse parce qu'elle ne requiert pas d'eau ou très peu si le remblai est cimenté. Aucune eau de drainage n'est ainsi générée. De plus, comme la composition chimique des stériles n'est pas dépendante des processus de traitement comme pour les résidus de concentrateur, les problèmes environnementaux qui y sont reliés se limitent au DMA et au DNC (Drainage Neutre Contaminé).

Les remblais souterrains sont incontournables pour les mines souterraines. Non seulement sont-ils nécessaires pour la production, mais ils permettent d'entreposer plus de la moitié des rejets produits par la mine et, dans certains cas, d'isoler les éléments les plus instables. Les aires d'accumulation en surface sont donc beaucoup moins grandes.

II.6.2. Les dépôts en pâte de surface

Le dépôt en pâte de surface (DPS) est une pratique récente de gestion des résidus miniers. Elle se base sur le même principe que le RMCP, mais ne sert pas de remblai. Il s'agit d'une pratique permettant de réduire la taille des ouvrages de rétention des parcs à résidus en favorisant les travaux de restauration des aires d'accumulation, notamment la revégétalisation

des résidus . En effet, la stabilisation des résidus sous forme de pâte favorise la restauration progressive du parc en raison de la quantité réduite d'eau qui se trouve dans les rejets, par la création d'un relief favorisant le drainage plus rapide de l'eau ainsi que par la stabilité chimique accrue des ouvrages.

Évidemment, l'utilisation du DPS apporte sensiblement les mêmes avantages environnementaux que les remblais en pâte souterrains. L'importance du liant dans sa capacité à stabiliser chimiquement les rejets est cependant accrue en raison de l'exposition plus importante aux éléments en surface que sous terre [43].

La figure (II.22) illustre sommairement le procédé de création des résidus en pâte pour leur disposition en surface et sous terre.

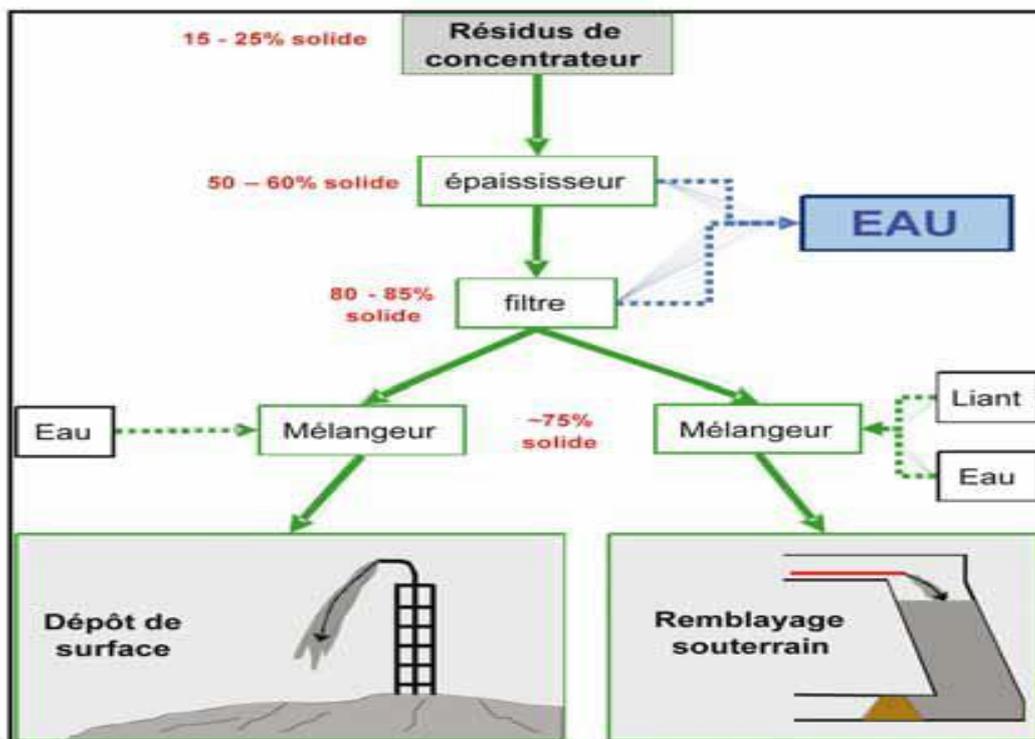


Figure II.22. Schéma du processus de création des résidus en pâte [43].

II.6.3. Les amendements alcalins cimentaires

Afin de mieux contrôler le drainage minier acide dans les dépôts en pâte de surface, l'utilisation de coproduits ou de résidus d'autres industries peut être une solution intéressante. Certains éléments ont été mentionnés précédemment pour la composition du liant du RMCP. En addition à ceux-ci, les boues rouges et les boues alcalines de l'industrie papetière peuvent aussi servir d'amendements alcalins. Pour qu'ils soient efficaces, ceux-ci doivent être

capables de neutraliser le DMA, mais aussi d'assurer que les phases secondaires issues du mélange soient chimiquement stables. L'action combinée des avantages du dépôt en pâte et des amendements alcalins est une voie intéressante de gestion des résidus de concentrateur en permettant une revégétalisation plus rapide [43].

II.6.4. Le remblayage des fosses

La réduction de la superficie des parcs à résidus et des haldes de stériles grâce au remblayage des fosses durant l'exploitation permet de réduire l'empreinte environnementale des mines à ciel ouvert [47]. Le remblayage des fosses est une pratique qui permet d'entreposer la totalité des rejets produits par la mine lorsque la concentration du gisement exploité est supérieure à 50 % [48]. De nombreuses mines ont remblayé des fosses qui ne sont plus exploitées pendant la phase d'exploitation [51].

II.6.5. L'utilisation des rejets miniers comme matériaux de construction

Les rejets miniers sont fréquemment utilisés comme matériaux de construction pour l'aménagement de routes et de digues autour des parcs de résidus [50]. Il s'agit d'un matériel abondant et dont il est possible d'obtenir, dans le cas des stériles, la granulométrie désirée suite à son concassage. Les rejets miniers sont aussi utilisés pour des travaux se situant à l'extérieur des sites miniers. Des rejets ont été utilisés comme base pour les ballasts de chemin de fer, comme agrégat dans la composition du ciment Portland ou d'asphalte et comme matériaux d'ennoiement [51].

L'utilisation de rejets miniers comme matériaux de construction est donc une pratique bien établie. Pour la compagnie minière qui désire utiliser ces rejets à cette fin, le partage d'information avec les entreprises pouvant les utiliser est une considération de premier plan. Cette pratique est économiquement viable autant pour la minière qui valorise une partie de ces rejets que pour l'entrepreneur qui économise sur l'achat de tels matériaux. Évidemment, certaines problématiques liées aux caractéristiques des rejets et à l'emplacement géographique de la mine et des travaux réalisés doivent être prises en compte [50]. En effet, il n'est pas possible d'utiliser des rejets chimiquement instables, à moins que le procédé permette de les stabiliser.

Une minière doit donc préalablement définir dans quelle catégorie ses rejets se trouvent. L'analyse de critères génériques de contenu en mg/kg, la granulométrie et des tests

de mobilité doivent être effectués sur les rejets [52]. En fonction des résultats de ces caractérisations, les rejets sont catégorisés de 1 à 3.

La proximité des chantiers est importante pour que l'utilisation des rejets soit économiquement et environnementalement viable. Comme bien des mines se trouvent dans des régions relativement éloignées, cette pratique doit ainsi être utilisée à une échelle plus locale.

II.7. Gestion subaquatique des résidus

II.7.1. Gestion des résidus par déversement en profondeur dans la mer ou dans un lac

Dans les régions minières où les résidus sont susceptibles de former des acides, une gestion des résidus en eaux profondes dans un lac ou dans la mer, ou gestion subaquatique, constitue parfois une méthode acceptable [1].

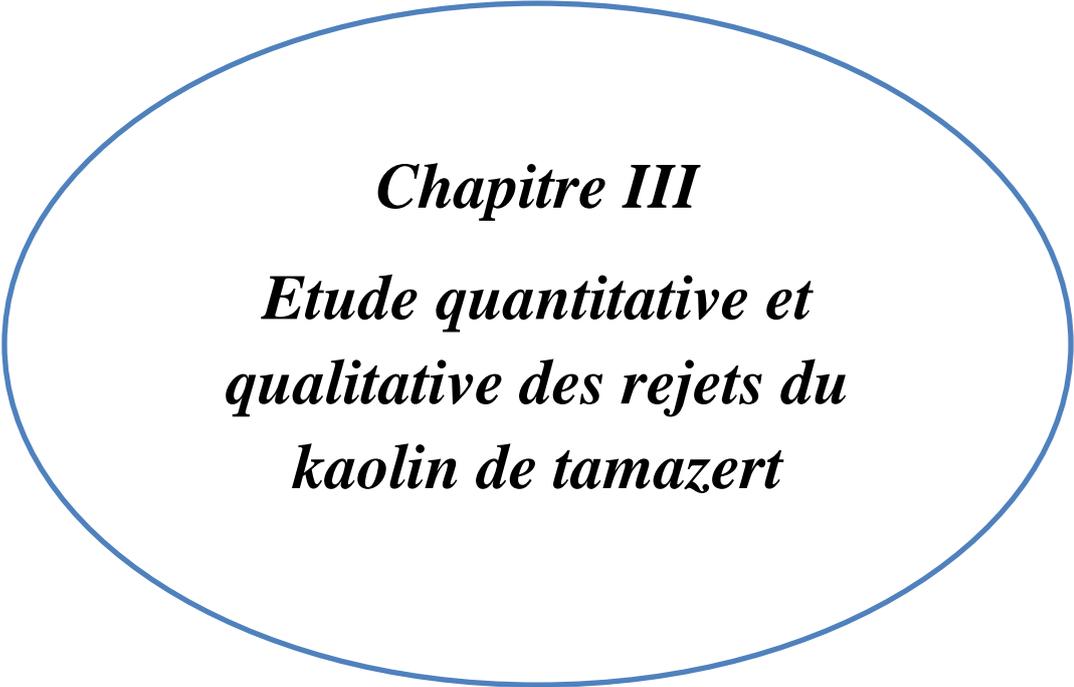
II.7.2. Gestion des résidus en rivière

Cette pratique est appliquée pour des matériaux solubles dans l'eau (par exemple le sel). Certaines mines de potasse déversent leurs eaux salines dans des rivières. Les résidus non solubles ne sont pas déversés dans les cours d'eaux de surface [1].

Conclusion

Les principaux rejets miniers solides générés par les exploitations Minières comprennent le mort-terrain résultant du décapage de la surface, les roches stériles issues des opérations d'extractions, les rejets du concentrateur qui forment une pulpe souvent entreposés en surface dans des haldes ou dans des parcs à résidus miniers.

Les digues sont des structures de surface dans lesquelles sont entreposées les boues. Ce type d'IGR (installation de gestion des résidus) est généralement utilisé pour les résidus issus d'un traitement par voie humide. Il y a d'autres techniques de gestion des rejets miniers comme les haldes à stériles pour les rejets solide de granulométrie étalée, les barrières d'étanchéités pour protéger les eaux souterraines.



Chapitre III

***Etude quantitative et
qualitative des rejets du
kaolin de tamazert***

Introduction

Dans ce chapitre nous allons étudier les différents rejets issus du processus de traitement du kaolin de Tamazert ainsi que les rejets engendrés par l'extraction de minerai, et nous allons nous concentrer sur la méthode de la mise à terril, le stockage des rejets, et l'évolution de leur quantité pendant la dernière décennie puis, nous allons proposer un plan de stockage pour résoudre le problème d'accumulation des sables dans les plates-formes et qui occupent une grande surface agricole et qui préoccupe les responsables de la société.

Partie I : Etude qualitative et quantitative des rejets du Kaolin KT

I. Rejets de tamazert

I.1. Présentation des rejets de tamazert

L'exploitation du kaolin de Tamazert se fait par abattage sélectif, les critères les plus importants sont la blancheur et la viscosité en supposant une teneur moyenne de 13%.

Des grandes quantités des morts terrains et du minerai extrait contenant des composants indésirables (teneur faible de kaolinite et une blancheur faible) et qui ont subis un mode de mise à terril. Il s'agit de la mise à terril par eau gravitaire.

Le traitement du kaolin tout venant (T.V) permet l'obtention de quatre qualités de rejets caractérisés par leurs granulométries et leurs teneurs en silice :

- Deux qualités de sable grossier riches en silice et pauvres en alumine (GOO et GO).
- Deux qualités de sable fin pauvres en silice et riches en alumine (GW1 et GW2).

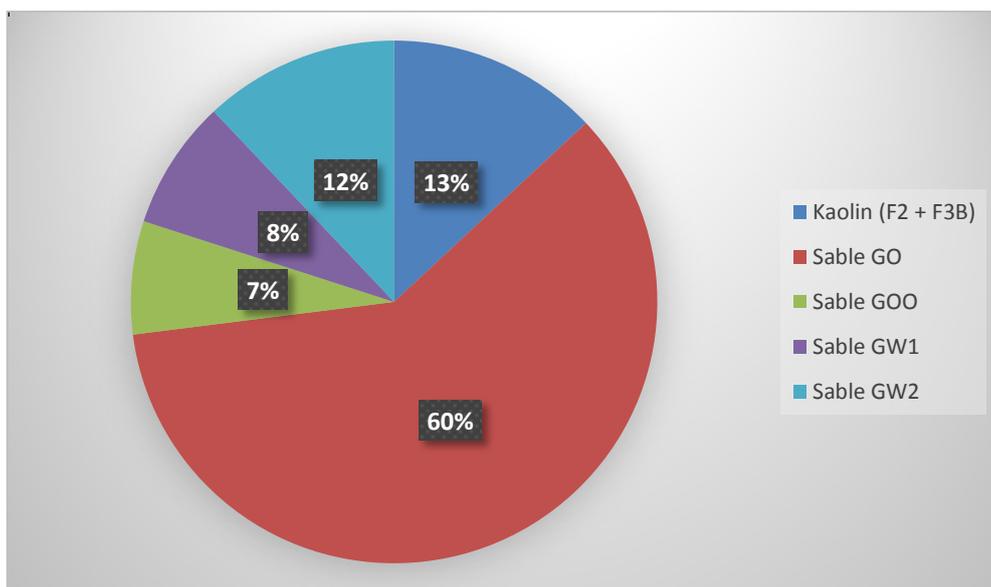
Les sables GO est GOO proviennent de la première phase d'hydrocyclonage et de débouillage. Tandis que les argiles GW1 et GW2 constituent les dérivés de la deuxième phase de concentration, de la sousverse de classificateurs à coupure fine (< 0,1mm).

Chaque rejet est stocké dans une plateforme appropriée, mais le problème auquel la société doit faire face est l'accumulation de ces matières qui causent l'arrêt total de la production et qui l'a obligé d'envahir des grandes aires agricoles.

D'après le bilan de matière du traitement de kaolin, les proportions des rejets obtenus sont estimés, sur la base de la cadence de la production actuelle : (TV traité 30000 T/An avec un rendement de 13%) et non sur la capacité de production installée de kaolin.

Tableau III.1. Les proportions annuelles des produits et des rejets.

Matière	Quantité (T)	Pondérale (%)
Kaolin (F2 + F3B)	3900 T/An	13 %
Sable GO	18000 T/An	60 %
Sable GOO	2100 T/An	7 %
Sable GW1	2400 T/An	8 %
Sable GW2	3600T/An	12 %
TOTAL KAOLIN TV	30000 T/An	100%



Source : O. Farah & H. Demia 2015

Figure III.I. Les proportions des produits finis et de rejets.

a) Présentation des données quantitatives du produits finis et de rejets

- La teneur en sable GO est dominante dans une quantité de tout-venant avec 60 % tandis que la teneur en sable GOO et l'argile GW1 est très réduite avec un pondérale de 7 % et 8 %.
- La fraction des produits finis est de 13 % et GW2 est de 12 %.

b) Interprétation des données quantitatives de produits finis et de rejets

L'élévation de la teneur du sable GO et l'abaissement de son pondérale des produits finis sont essentiellement dus à la nature du gisement, qui est très pauvre en kaolinite le composant le plus important dans le kaolin, cette dernière est très riche en quartz et en oxyde de fer qui affecte négativement sa qualité.

I.2. Calcul de la quantité annuelle des rejets (période 2005-2014)

La quantité des rejets se calcule d’après l’équation suivante :

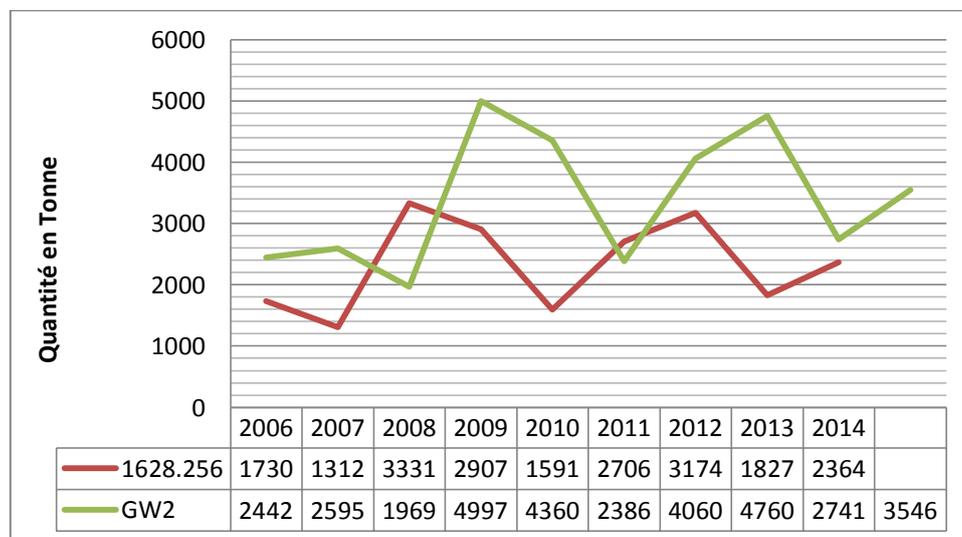
$$Re = KT_{Tr} - KT_P \dots\dots\dots(1)$$

Re : Rejets du kaolin (T). **KT_{Tr}** : Tout-venant traité (T). **KT_P** : Kaolin produit (T).

Le tableau (III.2) illustre l’évolution de la quantité des rejets du kaolin de Tamazert :

Tableau III.2. Evolution de la quantité des rejets du kaolin de Tamazert (SOALKA spa).

Année	KT _{Tr} (T)	KT _P (T)	Re (T)
2005	23865	3511.8	20353.2
2006	24190	2568.6	21621.4
2007	21255	4850.1	16404.9
2008	50003	8362.4	41640.6
2009	42604	6267.72	36336.28
2010	24585	4700.7	19884.3
2011	40011	6180.1	33830.9
2012	45728	6057.74	39670.26
2013	28910.5	6071.33	22839.17
2014	35349.12	5795.04	29554.08



Source : O. Farah & H. Demia 2015

Figure III.2. La courbe d’évolution de quantité des rejets par rapport ou production du kaolin de Tamazert (2005-2014).

a) Présentation des résultats quantitatifs des rejets

- La quantité des rejets engendrés s'accroît proportionnellement avec la quantité du kaolin transportée et produite.
- Les années 2008 et 2012 ont marqué la plus grande quantité des rejets produits avec 41640,6 (T) et 36336,28 (T) respectivement.
- En 2007 et 2010, la quantité des rejets a diminué brusquement jusqu'à 16404,9 (T) et 19884,3 (T) respectivement.
- La quantité du rejet est supérieure à celle du kaolin produit.

b) Interprétation des résultats quantitatifs rejets

La quantité transportée dépend essentiellement de la demande et le besoin de marché. Ainsi que la disponibilité des moyens du transport, alors que la baisse et la hausse de la quantité du kaolin KT_{Tr} et KT_p sont liées de Tamazert à la qualité de tout-venant extrait et aux différents problèmes que ce soit au niveau de la carrière, à titre exemple, la présence de fractures d'oxyde de fer qui rend l'exploitation plus compliquée, soit à cause des pannes des bandes transporteuse, trémie ou de broyeurs au sein de l'atelier (laverie).

Le nombre très réduits des travailleurs et les accidents au niveau de la carrière affect négativement la production. La qualité des machines et de la main d'œuvre peut aussi être un facteur déterminant.

I.3. Rejets de la phase extractive du kaolin KT**I.3.1. Les morts-terrains**

Dans la carrière de Tamazert, les minerais sont enfouis sous une couche de sol, de quartz et des micas (appelée `morts terrains ou `déchets de roche'), qui doit être déplacée ou creusée pour mettre à nu le gisement et avoir accès au minerai par émottage mécanique des fronts de taille. La quantité de morts terrains générées par l'exploitation du kaolin est considérable. Le rapport entre la quantité de morts terrains à la quantité de minerai (appelé `taux de découverte') est supérieur à 1 et peut être beaucoup plus élevé.

I.3.2. Hématite

L'hématite est un minéral commun dans les roches effusives, dans les pegmatites et dans les filons hydrothermaux. Dans le cas de gisement de Tamazert, pendant l'abattage sélectif, on tombe sur des failles d'hématite Fe_2O_3 (oxydes de fer) qui doivent être éliminées pour leur effet négatif sur la qualité de kaolin qui le polluent par une teinte brune rougeâtre rendant ainsi l'opération d'exploitation sélective assez compliquée. Ces rejets sont détournés au-delà de la carrière par la mise en place de rigoles déversant hors de la carrière en exploitation.

I.4. Rejets du processus de traitement KT

La concentration de la matière première de gisement du kaolin de Tamazert donne des rejets composés des sables quartzeux. D'après les essais du traitement du kaolin d'El Milia (effectués par la société), on a obtenu quatre qualités de rejets caractérisés par des granulométries et des teneurs en silice distinctes : deux qualités de sable grossier riche en silice (GOO et GO) et deux qualité de sable fin pauvre en silice mais présentant des teneurs élevées en alumine (GW1 et GW2).

Les rejets solides à savoir les sables : GOO, GO, GW1, GW2 sont déversés par des bandes transporteuses au niveau de plusieurs plate-forme, avant de faire l'objet d'une commercialisation.

I.4.1. Le sable GO

Le sable GO provient de la première phase d'hydrocyclonage et de débouillage. La figure III.3 illustre la production de GO :

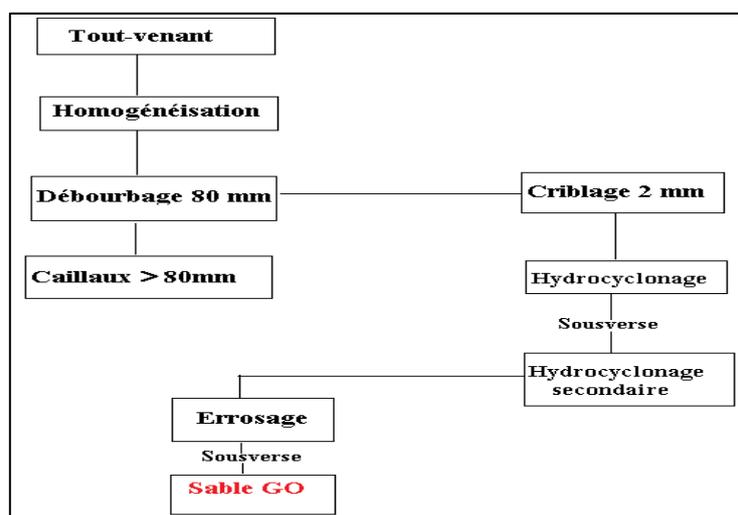


Figure III.3. Hydrocyclonage et débouillage de GO (26)

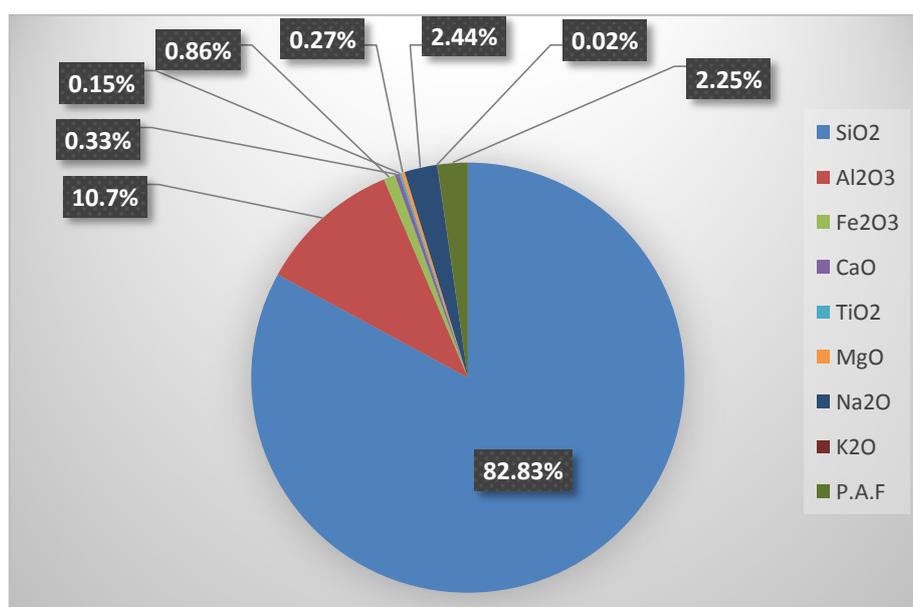
I.4.1.1. Propriétés du sable GO

Les caractéristiques physico-chimiques des différents rejets sont conditionnées par la granulométrie, les teneurs en silice augmentent avec l'augmentation de la granulométrie.

Tableau III.3. La composition chimique du sable GO.

Composition Chimique (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.A.F
Sable (GO)	82,83	10,70	0,86	0,33	0,15	0,27	2,44	0,02	2,25

P.A.F : Perte au feu.



Source : O. Farah & H. Demia 2015

Figure III.4. La composition chimique du sable GO.

L'Analyse granulométrique de sable GO est résumée dans le tableau suivant :

Tableau III.4. Analyse granulométrique de sable GO.

Analyse Granulométrique % en poids	> 1mm	0.5-1mm	0.2-0.5mm	0.1 - 0.2mm	0.04-0.1mm	< 0.04mm
Sable (GO)	33.0	19.6	21.0	16.0	6.8	3.6

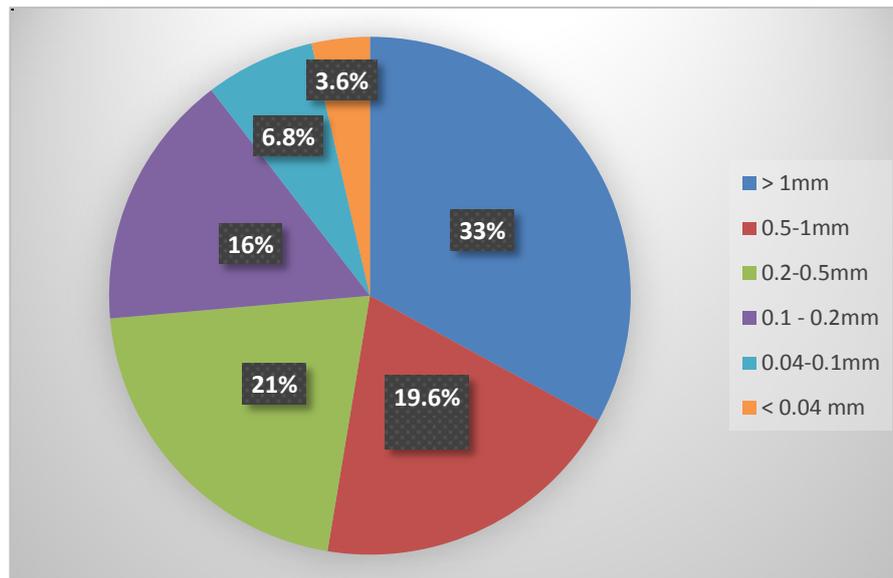


Figure III.5. Analyse granulométrique de sable GO.

a) Présentation de données qualitatives du sable GO

- La teneur en SiO_2 est très élevée alors que les proportions en oxydes Fe_2O_3 sont très faibles.
- On constate également que les pertes au feu sont très réduites. Ce rejet est pauvre en alcalino-terreux qui sont sous forme d'oxydes tels que CaO , MgO et Na_2O .
- On note également que 33 % de sable GO est de granulométrie $> 1\text{mm}$. Ce rejet est grossier.

b) Interprétation des données qualitatives de GO

L'élévation de pourcentage en silice est due à la présence dominante du quartz dans la composition minéralogique du sable et aussi à la granulométrie. Plus la granulométrie de sable est grossière plus, le pourcentage en poids de silice est grand.

I.4.1.2. Evolution de la quantité du sable GO

Le calcul de la quantité du sous-produit GO se calcule selon cette formule :

$$GO = Re * T(GO) \dots \dots \dots (2)$$

Tel que:

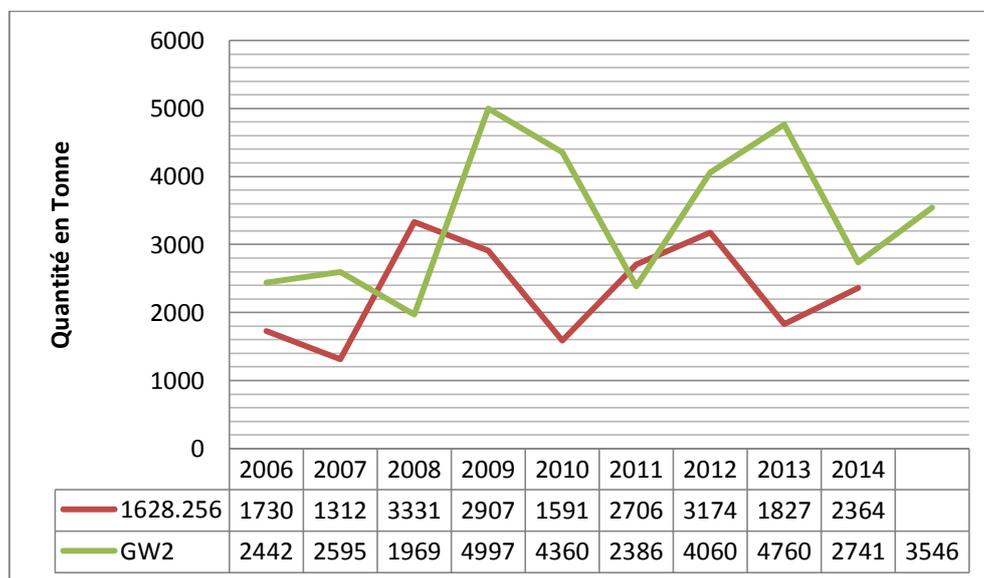
GO : Quantité du sable GO en Tonne.

T(GO) : La teneur du sable GO en %.

Re : Quantité de rejets en Tonne.

Tableau III.5. Evolution de la quantité du sable GO (2005-2014) :

Année	KT _p (T)	GO (T)
2005	23865	12211.920
2006	24190	12972.840
2007	21255	9842.940
2008	50003	24984.360
2009	42604	21801.768
2010	24585	11930.580
2011	40011	20298.540
2012	45728	23802.156
2013	28910.5	13703.502
2014	35349.12	17732.448



Source : O. Farah & H. Demia 2015

Figure III.6. La courbe d'évolution de la quantité du sable GO par rapport à la production de kaolin (2005-2014).

a) Présentation de données quantitatives du sable GO

- Les années 2008 et 2012 ont connu la production d'une grande quantité de rejet GO tandis qu'on constate une diminution sévère dans les années 2007 et 2010.

b) Interprétation de données quantitatives du sable GO

La quantité du rejet GO augmente proportionnellement avec la qualité du kaolin transportée et produite, et de la demande et les besoins du marché, le rendement de la main d'œuvre et de machine d'abattage et du transport.

I.4.1.3. Utilisation du sable GO

Les sables siliceux sont des produits très riches en silice et souvent pauvres en impuretés argileuses et colorants. Sur les nombreuses applications industrielles de ces sables avec chacune des exigences particulières, les plus répandues par ordre d'importance sont :

La verrerie, la fonderie, la céramique, qui consomment de très importantes quantités. Les sables sont également utilisés dans les abrasifs, pour le béton, comme agent de filtration...etc.

Plusieurs études ont été faites dans ce sens pour pouvoir utiliser ces sables dans des différents domaines :

- En travaux public, il est souvent utilisé pour le revêtement des routes.
- Au génie civil comme un matériau de construction (béton).
- Dans le domaine d'hydraulique il est utilisé pour le remblayage des conduites d'AEP et d'assainissement.
- Le sable GO est aussi moins cher que celui extrait des sablières.

I.4.2. Le sable GOO

Le rejet GOO provient de la première phase d'hydrocyclonage et de débouillage dont la teneur en SiO_2 est très élevée alors que les proportions en oxydes Fe_2O_3 sont très faibles.

I.4.2.1. Propriétés du sable GOO

Le rejet GOO comme le GO provient de la première phase d'hydrocyclonage et de débouillage. Quant aux teneurs en alumine, elles augmentent au fur et à mesure que nous progressons dans la chaîne de traitement, en passant de GOO, GO, à GW1 et GW2.

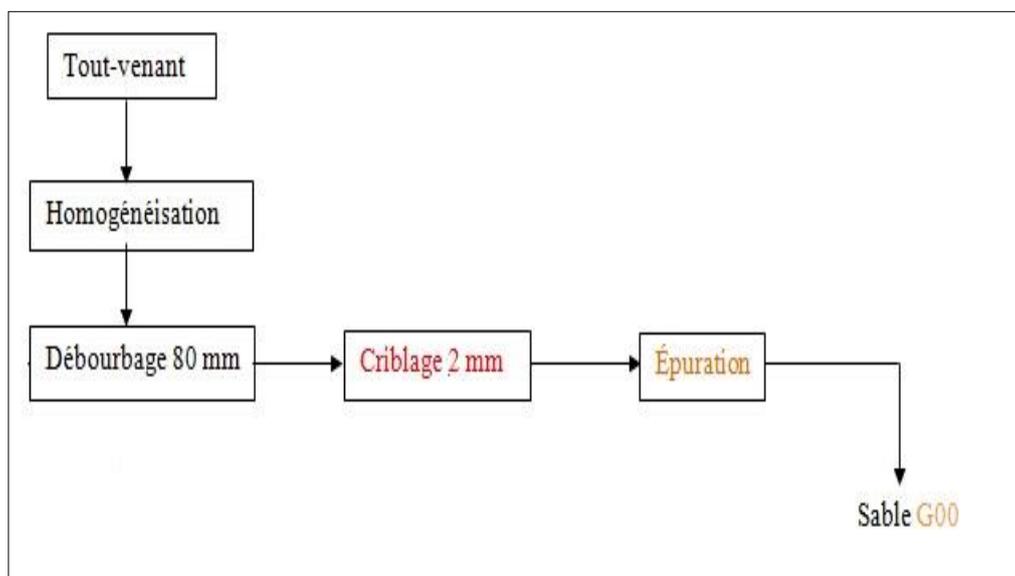


Figure III.7. Hydrocyclonage et de débouillage GOO (26).

La composition chimique de sable GOO est résumée dans le tableau :

Tableau III.6. La composition chimique du sable GOO (SOALKA spa).

Composition Chimique (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.A.F
Sable (GOO)	93,3	3,53	0,14	0,10	0,08	0,77	0,03	1,02	1,02

P.A.F : Perte au feu.

Analyse granulométrique de sable GOO est résumée dans le tableau suivant :

Tableau III.7. Analyse granulométrique du sable GOO (SOALKA spa).

Analyse Granulométrique % en poids	> 1mm	0.5-1mm	0.2-0.5mm	0.1 -0.2mm	0.04-0.1mm	< 0.04 mm
Sable (GOO)	92.5	3.0	1.2	0.8	0.7	1.7

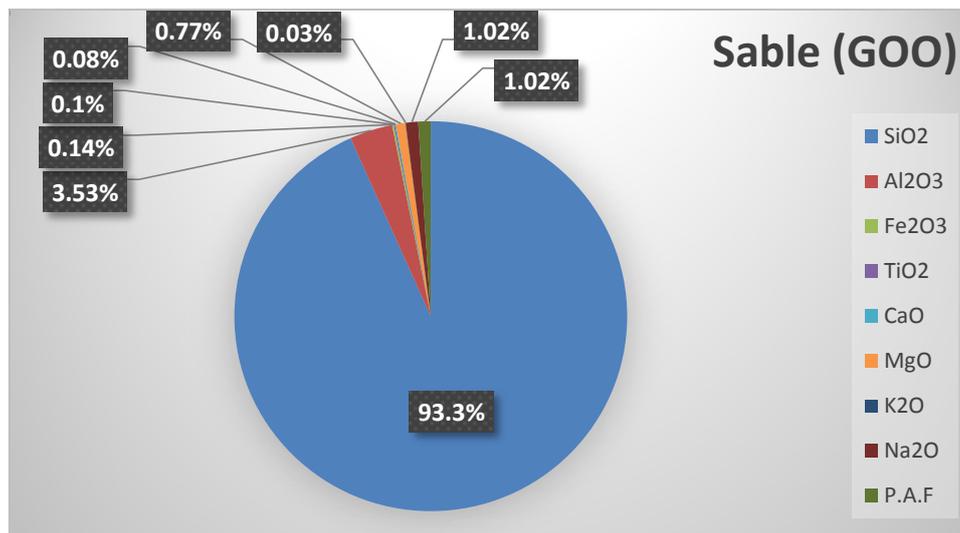


Figure III.8. La composition chimique de sable GOO.

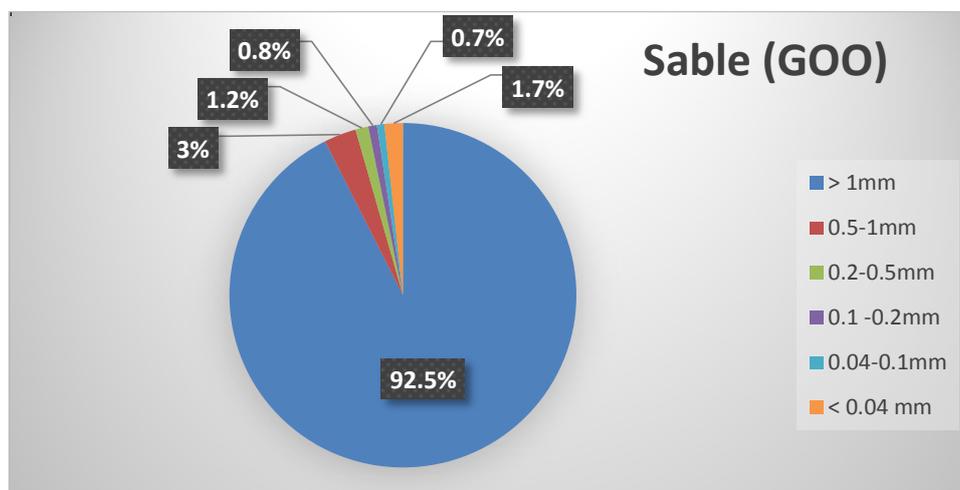


Figure III.9. Analyse granulométrique de sable GOO.

a) Présentation des données qualitatives du sable GOO

- La teneur en SiO₂ est très élevée (93,3 %) alors que les proportions en oxydes Fe₂O₃ sont très faibles (0,14%).
- On note également que les pertes au feu sont très inférieures (1,02%). Ce rejet est pauvre en alcalino-terreux sous forme d'oxydes tels que CaO, MgO et Na₂O.
- 92,5 % de sable GOO est de granulométrie > 1mm alors que 0,7 % est de l'ordre de 0,2 - 0,5mm.

b) Interprétation des données qualitatives du sable GOO

La hausse dans la teneur de silice est dans ce rejets est due à la granulométrie très étalée des particules de quartz.

I.4.2.2. Evolution de la quantité du sable GOO

$$GOO = Re * T(GOO).....(3)$$

Tel que :

GOO : Quantité du sable GOO en Tonne.

T(GOO) : La teneur du sable GOO en %.

Re : Quantité de rejets en Tonne.

Le tableau (III.8) illustre l'évolution de la quantité du GOO :

Tableau III.8. Evolution de la quantité du GO (2005-2014)

Année	KT _p (T)	GOO(T)
2005	23865	1424.724
2006	24190	1513.498
2007	21255	1148.343
2008	50003	2914.842
2009	42604	2543.540
2010	24585	1391.900
2011	40011	2368.163
2012	45728	2776.918
2013	28910.5	1598.742
2014	35349.12	2068.786

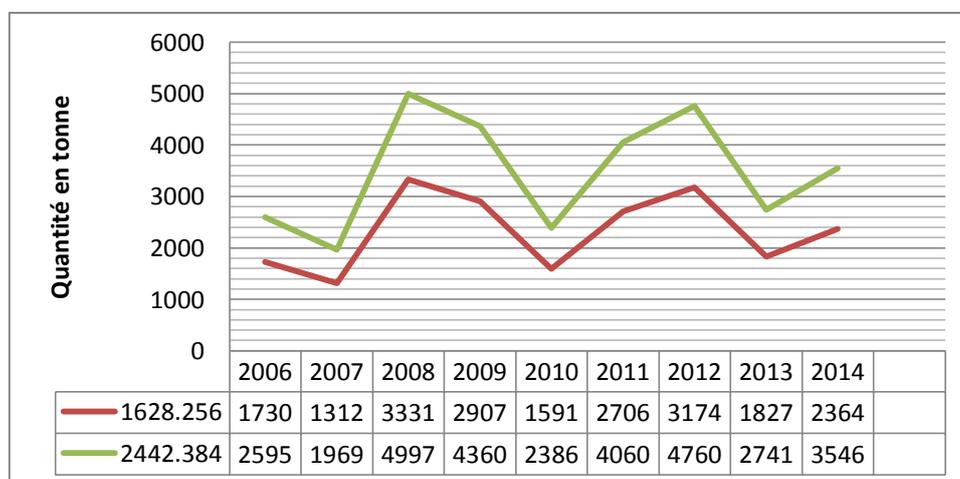


Figure III.10. La courbe d'évolution de la quantité du sable GOO par rapport à la production de kaolin (2005-2014).

a) Présentation des résultats quantitatifs du sable GOO

- Les années 2008 et 2012 ont connu la production d'une grande quantité de rejet GOO tandis qu'on constate une diminution sévère dans les années 2007 et 2010. Tout comme le sable GO.

b) Interprétation des résultats quantitatifs du sable GOO

La quantité du rejet GOO augmente proportionnellement avec la quantité du kaolin transportée et produite. Tout ça dépend de la demande et les besoins du marché, le rendement de la main d'œuvre et de machine d'abattage et du transport. Faisant rappelle que le sable GOO est commercialisable. Il se vend à la société africaine du verre (Africaver).

I.4.2.3. Utilisation du sable GOO

Le sable GOO issue du traitement de kaolin, est plus riche en silice et il constitue un meilleur rejet pouvant subir un recyclage, sans un traitement complexe pour la fabrication du verre cependant, il faudra envisager des essais de traitement pour enrichir en silice et réduire au maximum la teneur en oxyde de fer ($\text{SiO}_2/96,8\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3/0,12\%$).

I.4.3. Les argiles GW1 et GW2

Les rejets GW1 et GW2 constituent les dérivés de la deuxième phase de concentration, de la sousverse de classificateurs à coupure fine ($< 0,1\text{mm}$).

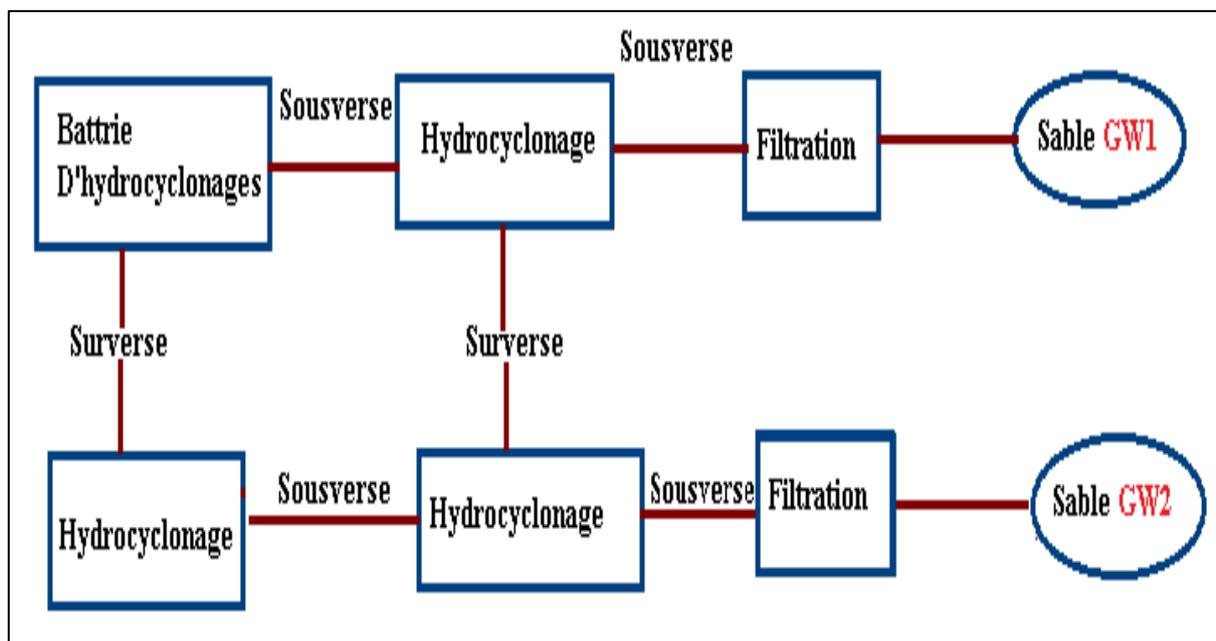


Figure III.11. La sousverse de GW1 et GW2.

I.4.3.1. Propriétés des argiles GW1 et GW2

La composition chimique des rejets est résumée dans le tableau (III.9):

Tableau III.9. La composition chimique des argiles GW1 et GW2.

Composition chimique (%)	GW1	GW2
SiO ₂	62,65	57,52
Al ₂ O ₃	23,73	27,73
Fe ₂ O ₃	1,49	1,44
TiO ₂	0,63	0,58
CaO	0,12	0,16
MgO	0,54	0,58
K ₂ O	5,22	4,11
Na ₂ O	0,28	0,05
P.A.F	5,50	6,96

Analyse granulométrique de sable GOO est résumée dans le tableau suivant :

Tableau III.10. Analyse granulométrique des argiles GW1 et GW2.

Analyse Granulométrique	% en poids	GW1	GW2
		> 1 mm	0.2
0.5 -1 mm	0.5	0.1	
0.2 -0.5 mm	1.8	0.7	
0.1 -0.2 mm	30.6	5.7	
0.04-0.1 mm	44.6	49.2	
< 0.04 mm	22.3	44.2	

a) Présentation des données qualitatives des argiles GW1 et GW2

- Ces rejets sont pauvres en silice et riche en alumine, il s'agit d'un mélange de quartz et de mica dans lesquelles on trouve les autres minéraux (feldspaths, oxyde de fer, oxyde de titane ...etc.).
- Les argiles GW1, GW2 sont pauvres en alcalino-terreux, lesquels existent sous forme d'oxydes tels que CaO, MgO et Na₂O.

- La granulométrie de GW1 et GW2 est très fine dont le GW2 avec un pourcentage en poids de 49,2 % est de 0,04 à 0,1mm, 44,2% est inférieur à 0,04 mm plus fine que le GW1 avec 30,6% allant de 0,1 -0,2 mm est 44.6% allant de 0,04 - 0,1 mm.

b) Interprétation des données qualitatives des argiles GW1 et GW2

La pauvreté en silice est due à la granulométrie fine des particules, l'argile GW2 est plus fine que celle de l'argile GW1 c'est la raison pour laquelle le GW2 est plus pauvre en silice. La granulométrie de GW1 est plus grosse que celle de GW2.

I.4.3.2. Evolution de la quantité des argiles GW1 et GW2

$$GW = Re * T(GW) \dots \dots \dots (4).$$

Tel que :

GW : Quantité de GW1/GW2 en Tonne.

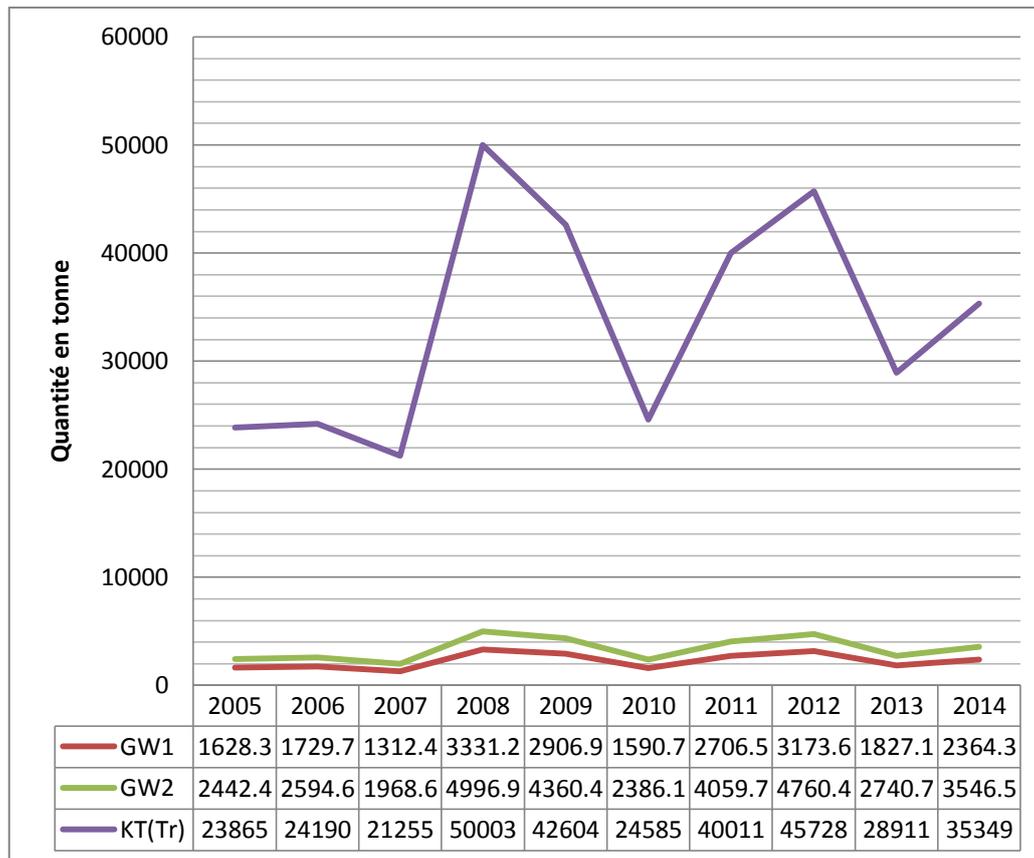
T(GW) : La teneur de GW1/GW2 en %.

Re : Quantité de rejets en Tonne.

Le tableau (III.11) illustre l'évolution de la quantité du GW1 et GW2 :

Tableau III.11. Evolution de la quantité des argiles GW1 et GW2.

Année	GW1 (T)	GW2 (T)	KT_{Tr}(T)
2005	1628.256	2442.384	23865
2006	1729.712	2594.568	24190
2007	1312.392	1968.588	21255
2008	3331.248	4996.872	50003
2009	2906.900	4360.350	42604
2010	1590.740	2386.120	24585
2011	2706.472	4059.708	40011
2012	3173.621	4760.431	45728
2013	1827.134	2740.701	28910.5
2014	2364.326	3546.450	35349.12



Source : O. Farah & H. Demia 2015

Figure III.12. La courbe d'évolution de la quantité des argiles GW1 et GW2 par rapport ou kaolin traité (2005-2014).

a) Présentation des données quantitatives des argiles GW1 et GW2

- La quantité de l'argile GW2 est supérieure à celle de GW1.

b) Interprétation quantitative des données quantitatives des argiles GW1 et GW2

La quantité de l'argile GW2 et GW1 dépend de la teneur de ce matière dans le Tout-venant dont le GW2 à une teneur de 12% par contre 8% pour le GW1.

I.4.3.3. Utilisation des argiles GW1 et GW2

Ces rejets qui représentent un tonnage très important de 20% peut trouver son utilisation comme ajouts dans la fabrication des produits céramiques courants (briques et carreaux), les réfractaires et même comme ajout en cimenterie.

I.5. L'eau de traitement

L'alimentation en eau de l'usine de traitement des kaolins se fait à partir d'un puits d'eau dont la nappe est située à une profondeur d'environ 65 mètres le débit d'alimentation est estimé à : 55 m³/h. L'usine est alimentée en eau de bonne qualité et en quantité suffisante, le pompage du puits d'eau est transféré vers une bache de stockage d'environ 1 000 m³, elle constitue une autonomie d'une semaine.

La société utilise l'eau au niveau de tout le processus de production : broyage, criblage, décantation, filtration nettoyage du local et des appareils ainsi que la protection contre le feu.

I.5.1. Décantation

La sédimentation des solides est fonction de la superficie disponible dans le décanteur, l'épaississement des boues augmentera avec le temps de stagnation des boues.

La clarification du liquide en raison de la superficie disponible est fonction du volume à traiter et de la vitesse de sédimentation des particules (m/h).

L'alimentation se fait par le centre, évitant les turbulences. Les solides se déposent dans le fond de l'appareil et sont entraînés vers la sortie par des bras qui tournent à faible vitesse.

Le bassin de décantation sera curé au minimum tous les 6 mois ou bien lorsque les dépôts occuperont le tiers du volume utile.



Figure III.13. Les bassins de décantation [3].

I.5.2. Neutralisation de l'eau

Les bassins réalisés par SOALKA pour la neutralisation des eaux est de dimensions de 8 X 6 m (longueur X largeur) et d'une profondeur de 4 m, ce bassin de traitement offre une couverture qui serait capable d'absorber les volumes des eaux acides à neutraliser et qui sont estimées à 700 m³ /An cependant le dit bassin connaît un manque d'entretien.

La chaux vive CaO, une fois en contact avec l'eau, passe à l'état éteinte sous forme Ca(OH)₂, il s'agit d'une base très forte qui ramène à la neutralité le pH fortement acide, c'est une réaction de neutralisation.

I.5.3. Réutilisation de l'eau

Les eaux du processus industriel sont d'origine de la laverie, elles sont collectées au niveau du bassin de décantation leur débit est d'environ 16 m³ /h.

La décantation de l'eau de lavage dans les bassins est naturelle, sans traitement préalable et sans utilisation du flocculant. L'eau utilisée dans le processus de traitement des Kaolin se trouve totalement recyclée à l'exception des eaux de nettoyage qui sont évacuées par canalisation vers les réseaux d'assainissement.

I.6. Poussières

I.6.1. Origine des poussières

L'extraction du matériau et son évacuation vers l'usine de traitement, peut être une source potentielle de poussières. Les opérations de déchargement des camions et le chargement de la trémie génèrent aussi des émissions de poussières.

En revanche cet impact est considéré comme faible concernant l'unité de fabrication des kaolins les matériaux étant humides lors de leur traitement.

Pour éviter les émanations des poussières au niveau de l'usine de traitement ainsi que du site de la carrière, un certain nombre de précautions sont exigées, comme le traitement des pistes, le lavage des roues des camions à la sortie de la carrière, l'arrosage des stocks de minerai et des rejets durant la période d'été, en revanche en hiver les précipitations sont abondantes et régulières ce qui permet de produire sans avoir recours à l'arrosage.

Les voies de circulation internes et aires de stationnement des véhicules sont aménagées et entretenues. De plus, elles sont régulièrement arrosées afin de limiter l'envol des poussières.

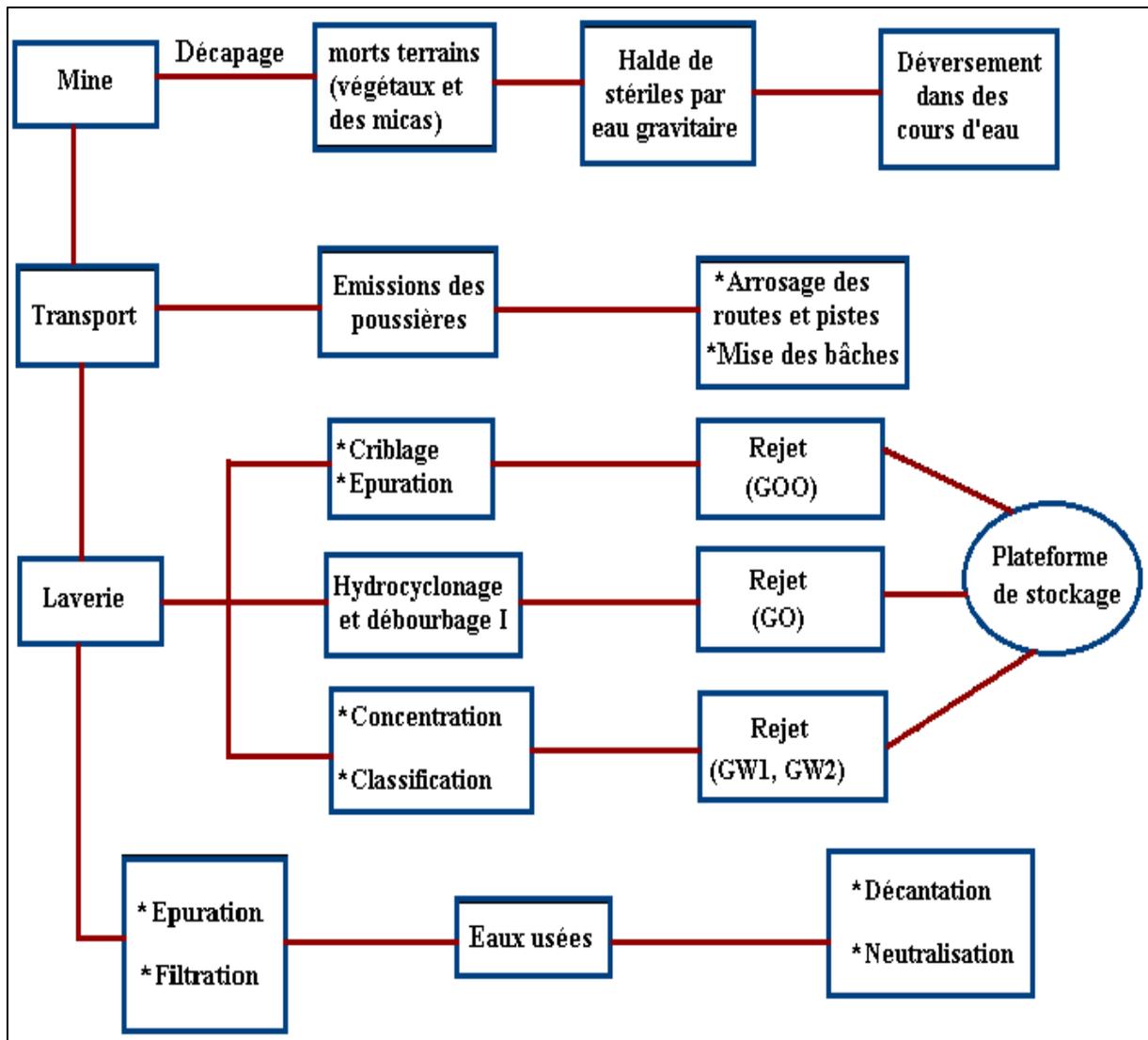
Les véhicules sortant de l'installation ne doivent pas être à l'origine d'envols de poussières ni entraîner de dépôt de poussière ou de boue sur les voies de circulation publiques. Pour ce faire, les chargements de matériaux fins sont aspergés avant leur sortie de la carrière.

I.6.2. Composition des poussières

La silice cristalline est composée de dioxyde de silicium (SiO_2). La plupart des minéraux extraits d'une exploitation minière contiennent diverses quantités de SiO_2 . La silice SiO_2 représente 67% en poids d'un échantillon de tout-venant du kaolin de Tamazert.

Partie II : techniques de gestion des rejets du complexe de kaolin de Tamazert

Il y a plusieurs méthodes avec lesquelles on peut procéder pour mieux gérer les rejets engendrés par l'extraction et le traitement du kaolin dans le complexe SOALKA, ces dernières sont illustrées dans la figure (III.14).



Source : O. Farah & H. Demia 2015

Figure III.14. Différentes méthodes de stockage des résidus du kaolin.

II.1. Gestion des rejets de la carrière

Les stériles engendrés par le processus du décapage et d'extraction du gisement de Tamazert sont des roches qui ne contiennent pas ou trop peu de minéraux de valeur économique et qui peuvent être nocifs pour la qualité du kaolin brute (quartz, mica, oxyde de fer), ces dernières sont extraites à ciel ouvert dans le but d'avoir accès au gisement. Ces rejets sont entreposés en surface dans une halde à stériles localisée à proximité de la fosse.

II.1.1. Quantité des stériles prévisionnelle en 2015

Tableau III.12. Quantité des stériles prévisionnelle pour l'année 2015

Mois	T.V.AB. (T)	K.T.1 vendu (T)	Tout .venant Transporte(T)	Stériles (T)
JANVIER	8 833	3 083	5 750	250
FEVRIER	8 412	2 936	5 476	275
MARS	8 412	2 936	5 476	350
AVRIL	9 254	3 230	6 023	400
MAI	8 833	3 083	5 750	400
JUIN	8 833	3 083	5 750	425
Juillet	9 254	3 230	6 023	425
AOUT	9 254	3 230	6 023	425
SEP	8 412	2 936	5 476	425
OCT	9 254	3 230	6 023	425
NOV	8 412	2 936	5 476	325
DEC	8 833	3 083	5 750	0
TOTAL	106 000	37 000	69000	4125

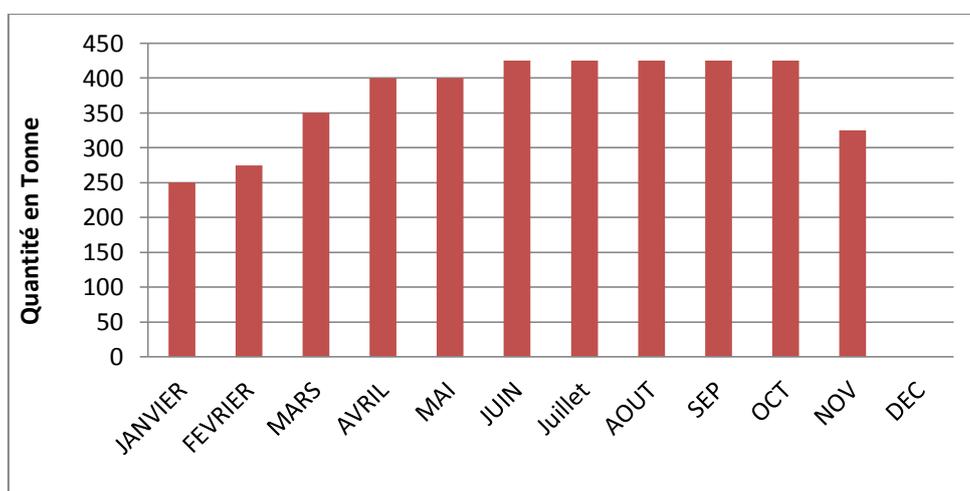


Figure III.15. Histogramme de la quantité de stérile prévision 2015

a) Présentation des résultats quantitatifs des stériles

- La quantité des stériles représente 5 % de tout-venant abattu.
- Il y a une grande quantité qui se vend au niveau de la carrière.
- Il n'y a pas de production en mois de décembre.

b) Interprétation des résultats quantitatifs des stériles

Le Tout-Venant vendu est le KT1 destiné à la fabrication de céramique.

- L'arrêt de la production en mois de décembre est dû aux intempéries (rigueur du climat surtout la pluie et le vent).
- La quantité des stériles est considérable ce qui explique la pauvreté et la qualité médiocre du gisement de Tamazert.

II.1.2. Halde de stériles par eau gravitaire

Avec une quantité mensuelle moyenne de 343 T/Mois de stériles de matière solide produite. Cette quantité est grande. Toutefois, la disposition du site de Tamazert vis-à-vis de l'environnement affirme que cette quantité n'est pas négligeable et exige l'application d'un plan de gestion approprié.

La société SOALKA spa d'EL-Milia utilise une méthode pour l'entreposage des stériles engendrés par le décapage et l'extraction du minerai, il s'agit d'une mise à terril par 'eau gravitaire', cette méthode consiste en un emplacement des rejets dans une pente de 40° (Figure III.13).

L'eau de ruissellement va charrier les rejets (30% des morts-terrains, 70% de mica et du sable quartzitique) vers un cours d'eau qui va se déverser dans la mer (entreposage subaquatique).



Figure III.16. Zone de déchargement des stériles de la carrière (côté Sud Est) [6].

II.1.3. Critique et évaluation de la technique

Les stériles récupérés seront transportés par l'eau de ruissellement dans des cours d'eau de la région de M'chatt (de l'Oued vers la mer), mais le problème qui se pose réside au niveau des micas et des quartzs présents en grandes quantités, ces derniers sont néfastes pour la vie aquatique. Afin de répondre à cette problématique, nous devons tout d'abord définir et connaître les caractéristiques de ces deux minéraux.

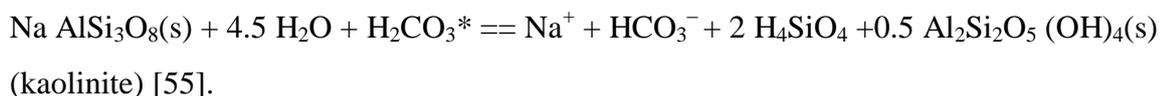
Le mica blanc (muscovite) est de composition $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$, c'est un silicate hydraté naturel d'aluminium et de potassium par contre le quartz est composé en majorité de silice.

L'entraînement de ces minéraux vers la mer va causer une modification chimique de l'eau, par conséquent, la variation de pH et la concentration de sel, cette nouvelle ambiance entrainera une perturbation de la vie aquatique. C'est une réaction chimique de la modification des eaux par l'introduction de la silice et du feldspath [55].

a) Quartz:



b) Feldspath:



II.2. Gestion des rejets de l'unité de traitement

Les rejets solides à savoir les sables : GOO, GO, GW1 et GW2 sont déversés par des bandes transporteuses au niveau de plusieurs plates-formes, avant de faire l'objet d'une commercialisation.

II.2.1. Stockage des sables GO et GOO

Le sable GO qui provient de la première phase d'hydrocyclonage et de débouillage est stocké dans la plateforme N°1 par une bande transporteuse, alors que le GOO est stocké dans la plateforme N°3.

II.2.2. Stockage des argiles GW1 et GW2

Dans l'unité de traitement du kaolin de Tamazert les rejets GOO, GO sont commercialisés alors que les argiles GW1, GW2 dont la quantité cumulée dans la plateforme N°2 est très grande à cause de la demande réduite sur cette matière, ce qui représente un problème pour la société qui est de stocker temporairement ces résidus dans des aires agricoles près de l'unité et qui nécessite de trouver une solution adéquate sans compromettre la qualité du sol et le paysage.



Source : Photo prise le 10/04/2015 à 11h.

Figure.III.17. Les plates-formes de stockage.

II.2.3. Chargement et transport

Le chargement dans les camions se fait par pelletage. Le déchargement se fait par basculement en arrière de la benne du camion.



Source : Photo prise le 10/04/2015 à 11h.

Figure III.18. Déchargement et basculement.

II.2.4. Le milieu récepteur

Les rejets de la laverie (GW1, GW2) sont déversés dans le milieu récepteur à savoir 'Affalaz' quelques mètres de l'unité de traitement. L'endroit est peuplé de nombreuses espèces floristiques. Ses qualités physiques et physico-chimiques sont bonnes dans un écosystème forestier qui est encore stable.

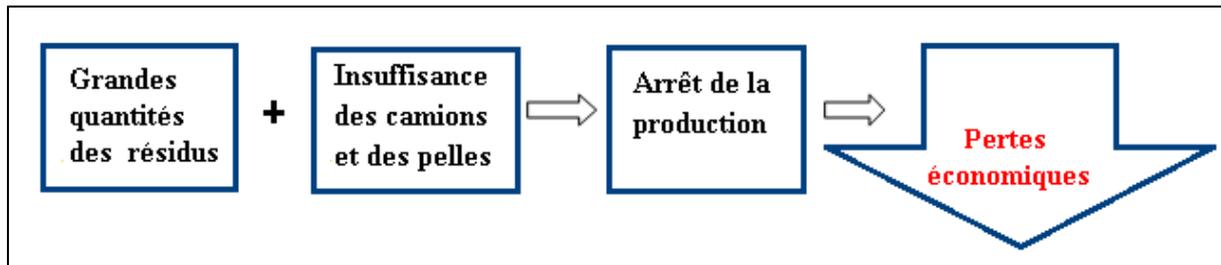
Cependant, on peut estimer que depuis que des activités de la société sont apparues dans cette région et aussi depuis que les activités de traitement du kaolin ont été menées, on a pu constater une dégradation de l'aspect esthétique.

II.2.5. Critique et évaluation de la technique

II.2.5.1. Plateforme de stockage

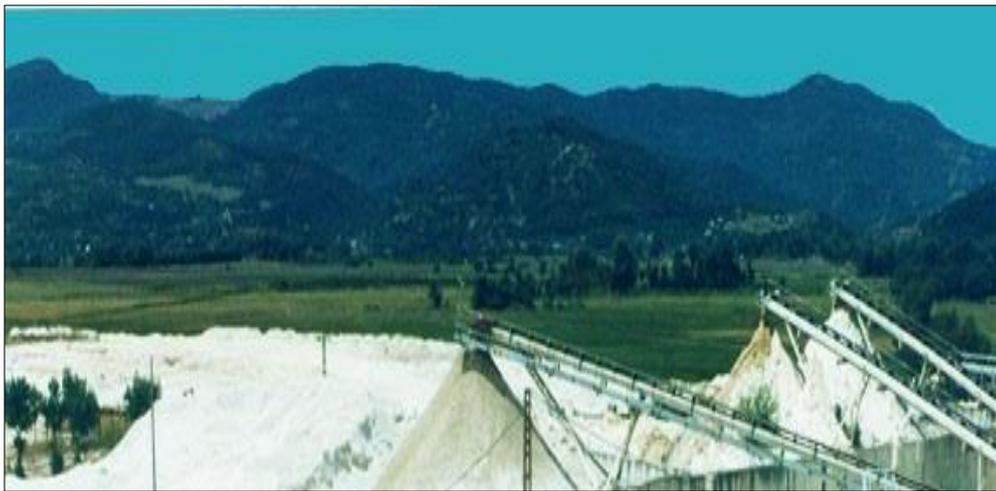
Les plates-formes de stockage sont des ouvrages qui ont une grande importance dans le cycle de production du kaolin, notamment pour le stockage de rejets issus des différentes opérations de débouillage et hydrocyclonage.

Les plates-formes dans l'unité de traitement sont de dimensions 11 X 6 m pour stocker les rejets, mais une fois que la quantité des rejets atteint les bandes transporteuses l'unité de la laverie s'arrête pour vider la plateforme (le transport ne se fait pas au fur et à mesure de la production) ce qui va causer des pertes du point de vue économique.



O. Farah & H. Demia

Figure III.19. Les inconvénients d'accumulation des résidus dans la plateforme.



Source : Photo prise en 2013 à 16h.

Figure III.20. Accumulation des résidus dans les plates-formes.



Source : Photo prise le 10/04/2015 à 10h.

Figure III.21. Accumulation du GW dans la plate-forme N°3.

Plusieurs tonnes de rejets sont produites annuellement, et qui sont en grande majorité entreposées dans des aires d'accumulation prévues à cet effet. Ces lieux d'entreposage représentent une superficie de plus de 9000 m² (chiffre estimé) au sein de l'unité de production et occupent environ 6000 m² des surfaces vertes en dehors de l'usine qui affectent négativement le paysage et menacent les terres agricoles environnantes.

La production de ces rejets est cependant inévitable : c'est une conséquence de la production et une partie intégrante de traitement du kaolin. Il faut ainsi trouver des méthodes de gestion qui permettent de réduire la superficie des aires d'entreposage sans compromettre la production minière et l'environnement.



Source : Photo prise en 2013 à 15h.

Figure III.22. Accumulation des résidus au sein de l'unité.

II.2.5.1. Evaluation des impacts

Les effets pourraient être observés au niveau :

II.2.5.1.1. Effets sur le sol

Il n'y a pas d'impact néfaste des activités de production du kaolin sur le sol aux alentours des unités de laverie, parce qu'il s'agit de l'argile qui est un composant important pour la qualité du sol.

II.2.5.1.2. Effets sur les eaux souterraines

Ces opérations n'ont pas d'impact significatif sur la qualité des eaux souterraines.

II.2.5.1.3. Effets sur l'atmosphère

Comme le procédé de traitement se fait par voie humide, il n'y a pas ainsi d'effluents atmosphériques issus de cette opération. Toutefois, on remarque qu'au niveau de la section connexe au groupe électrogène, il existe des émissions de CO₂, NO_x, Pb... à cause de l'utilisation du fuel local. Etant donné l'emplacement de ces unités de laverie, sans oublier les poussières engendrées par la circulation des engins en dehors et au sein de la société.

II.2.6. Proposition d'un plan de stockage des résidus GW1 et GW2

Le plan de gestion doit être élaboré et appliqué de sorte que les impacts du projet soient minimisés. La production de rejets miniers GW1 et GW2 est relativement grande, quoique les impacts demeurent considérables en cas de mauvaise gestion. C'est le cas même de traitement du kaolin de Tamazert.

De ce fait, nous proposons quelques recommandations pour l'élaboration d'un plan de gestion des rejets du traitement du kaolin de l'Etablissement SOALKA dans la région d'EL-Milia notamment dans la localité d'Affalaz. Toutefois, ce plan de gestion doit être suivi et complété par une étude approfondie sur les critères de choix du mode, du type et de la méthode d'accumulation de ces résidus miniers.

II.2.6.1. Objectif du plan de stockage

La gestion des rejets GW1 et GW2 exigent que :

- les impacts sur la population locale, entre autres la pollution de l'air et, les impacts visuels soient réduits au minimum.
- les impacts sur l'environnement soient limités.

II.2.6.2. Choix du site

La sélection du site approprié est sans doute la partie la plus importante de l'élaboration du plan de gestion des rejets. Chaque site proposé présentera des avantages et des inconvénients qu'il faudrait considérer lors de la sélection du mode, du type et de la méthode d'accumulation adéquate. Il conviendra de choisir à priori le site qui optimisera la protection de l'environnement et qui minimisera le coût de la structure.

II.2.6.3. Les propriétés des résidus Miniers pris en considération dans un plan de stockage

Les caractéristiques des rejets miniers sont évidemment indispensables pour décider de la méthode adéquate pour le stockage. Nous pouvons citer :

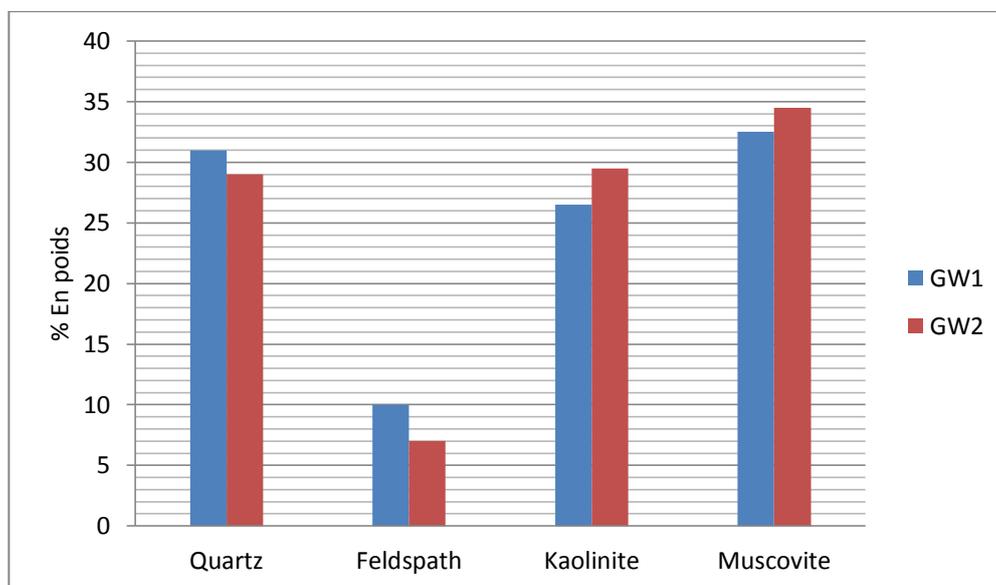
- La composition minéralogique et chimique des résidus.
- La présence de métaux lourds.
- Le mode d'affaissement et de consolidation.
- La perméabilité.
- La plasticité.

II.2.6.4. La composition minéralogique de GW1 et GW2

Afin de mieux gérer les argiles GW1 et GW2, on doit connaître les paramètres minéralogiques des argiles. Le tableau (III.13) illustre la composition chimique minéralogique de ces rejets.

Tableau III.13. La composition minéralogique des argiles GW1 et GW2.

Analyse Minéralogique	% en poids	Elément	GW1	GW2
		Quartz	31.0	29.0
Feldspath	10.0	7.0		
Kaolinite	26.5	29.5		
Muscovite	32.5	34.5		



Source : O. Farah & H. Demia

Figure III.23. Histogramme de la composition minéralogique de GW1 et GW2.

II.2.6.5. Méthodes proposées de stockage des argiles GW1 et GW2

Proposition N°1 : Construction d'une nouvelle plateforme

Pour les argiles GW1 et GW2, la méthode avec laquelle on peut stocker les argiles adéquatement sans compromettre l'aspect esthétique de la région est de construire une autre plate-forme destinée seulement au stockage de ces rejets.

Proposition N°2 : Intérêt agronomique

Les rejets argileux issus du kaolin de Tamazert peuvent être utiles pour l'amélioration de la qualité des sols avec ce qu'on appelle la création des 'Complexes argilo humique' qui résulte de la création de liaisons électrostatiques entre les minéraux argileux du sol et la matière organique du sol, en particulier les acides humiques, à l'aide, de plus, de cations comme les ions calcium, qui assurent la floculation des argiles, c'est-à-dire la formation de micelles neutres par association des cations et des feuillets argileux chargés négativement. Le tout donne au sol une structure grumeleuse, stable et favorable pour l'agronomie [56].

Proposition N°3 :

Il faut que la société engage des camions et des pelles pour charger, décharger et basculer les résidus entreposés dans des aires d'accumulation prévues à cet effet.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons calculé la quantité des rejets issus de la phase extractive et le traitement du minerai qui se présentent en grands volumes, aussi nous avons identifié les différentes caractéristiques physico-chimiques des rejets GO,GOO,GW1 et GW2 qui se différencient par leur teneur en silice , en alumine et alcalino – terreux en vue d'une meilleure gestion.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail que nous avons réalisé au sein de la société SOALKA a pour objectif d'étudier l'évolution de la quantité des différents rejets issus de la phase d'extraction du kaolin brut et de la phase de traitement de ce dernier, ainsi que la qualité de ces rejets.

Dans l'exploitation minière de la société SOALKA, les résidus miniers sont directement déversés dans le milieu naturel entraînant une dégradation de l'environnement, cette situation demande des actions correctives correspondantes, Le concept de gestion de ces résidus, encore non initié à Tamazert, contribuera ainsi à l'amélioration de la préservation du milieu naturel. En conséquence, le plan de gestion des résidus miniers doit faire partie intégrante de l'étude environnementale d'un projet d'exploitation minière.

En ce qui concerne l'exploitation du kaolin de l'établissement SOALKA à EL Milia, la localisation d'un site pour l'accumulation des résidus miniers (GOO, GO, GW1, GW1) répondant aux critères et recommandations constituera un élément clé pour les mesures permettant d'assurer la continuité de la production et la protection contre la dégradation du paysage.

Toutefois, l'insuffisance des données à notre disposition ne nous a pas permis de traiter la considération technique complète du cas de l'exploitation et de traitement du kaolin de Tamazert. Néanmoins, les recommandations que nous avons pu développer dans ce travail serviront de base pour une étude approfondie de la gestion des rejets miniers de l'exploitation du kaolin.

Durant notre étude il nous était permis de constater que l'ensemble des rejets se résume comme suit :

- Une quantité considérable des stériles constitués essentiellement des micas quartzeux entreposés dans une halde avec une pente de 40°.
- Des argiles GW1 et GW2, des sables GO et GOO qui sont de nature siliceuse et qui sont entreposés dans des plates-formes de stockage.
- L'eau de traitement, elle intervient dans la phase de traitement humide, cette dernière reçoit une opération de neutralisation pour une réutilisation sur place.
- Les poussières provenant spécialement des processus d'extraction, de chargement et de transport. Les poussières s'élèvent directement dans le ciel, représentant ainsi une menace atmosphérique.

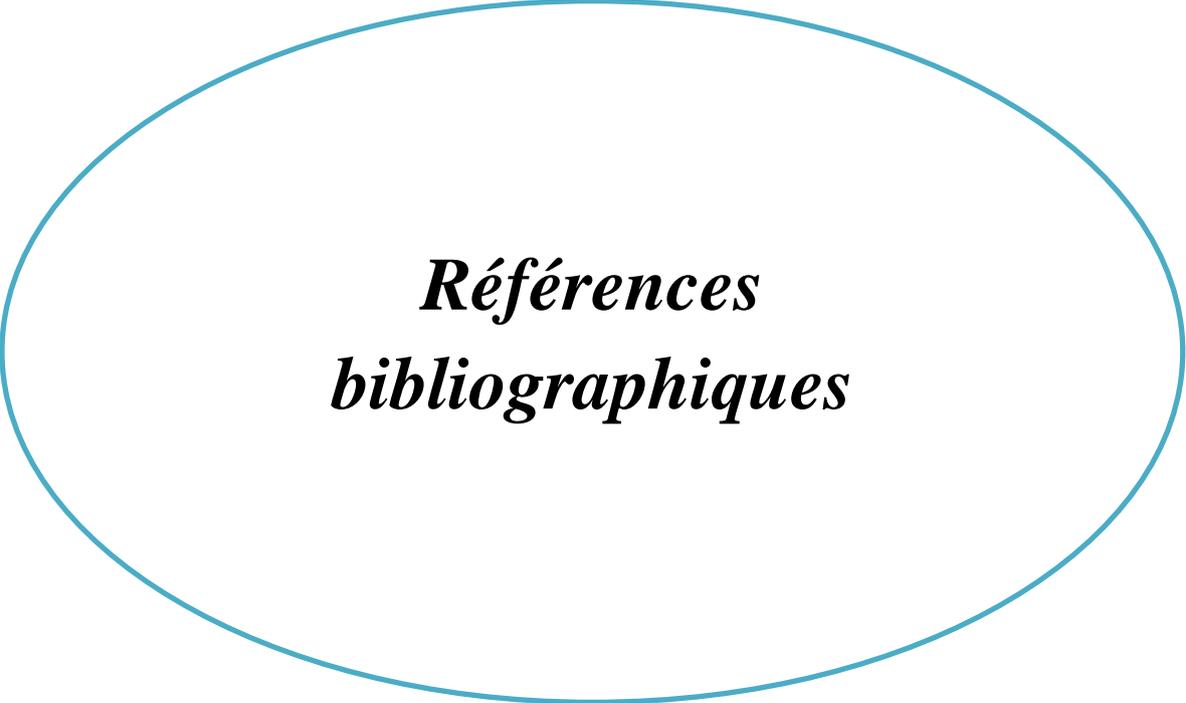
- La quantité des rejets est grande par rapport aux produits finis dont la quantité du sable GO est dominante qui est expliquée par la teneur très élevée (60%) et avec une quantité moyenne de 16928.1054 (T), les argiles GW1 et GW2 d'une quantité moyenne de 2293.0801 (T) et 3385.6172 (T) respectivement tandis que le sable GOO qui est très faible en teneur en poids (7%) atteint une quantité moyenne de 1978.5456 (T) de ce rejet dans un échantillon du tout-venant.

Après avoir évalué et quantifier les rejets nous avons pu apporter un timide jugement sur les méthodes de gestion de ces derniers, nous pouvons ainsi dire ce qui suit :

- Le complexe SOALKA, adopte des méthodes de gestion, mettant en péril les aires agricoles (mise à terrils de GW1 et GW2).
- La perturbation des êtres vivants des cours d'eaux et des milieux marins par entrainement des rejets (haldes à stériles).
- Empilement des GO et GOO entraine une accumulation et engendre un travail supplémentaire pouvant ralentir le cycle de production.

Dans le cadre de notre étude nous avons proposé de concevoir une plate-forme de stockage nouvelle, utiliser les argiles dans l'amélioration des sols et s'assurer de la composition des minéraux avant d'opter pour une gestion subaquatique.

Enfin, ce mémoire nous a permis de se familiariser dans le domaine de l'environnement du secteur minier en particulier et la gestion des résidus miniers, ainsi nous aimerions apporter une légère contribution pour mieux gérer le problème en question, d'où notre proposition de qualifier et de quantifier les rejets avant même de procéder aux leur gestion.



***Références
bibliographiques***

Références bibliographiques

- [1] Commission Euroréenne, (January 2009)"Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities".
- [2] IMA (Minéraux industriels France)- Le kaolin.
- [3] soalka.com Site officielle de la société SOALKA spa.
- [4] Mémoire de Fouad Louadjhani thèse : Contribution à l'étude d'exploitation du kaolin de tamazert.
- [5] SOALKA spa. (2015), Plan annuel d'exploitation.
- [6] SOALKA spa ,2014 "Audit environnemental".
- [7] G.N.WHITE, JB. Dixon, R.M .Wearver.and A.C.Kunkle, (1992), "sedimentary structure in gray of Georgia". Clays and Clay minerals, 40, pp 555-560
- [8] M. Kollu. 2007, "Elaboration and characterization of a refractory based on Algerian kaolin", Ceramics.international N° 33; pp 1435–1443;
- [9] H.C Helgeson, R.M Garrels, F.T Mackenzie. 1969, "Evaluation of irreversible reactions in geochemical processes involving mineral and aqueous solutions: II applications Geochim. Cosmochim". Acta, 33,455-481.
- [10] Bish D.L., Dreele R.B.V. 1989, "Rietveld refinement of non-hydrogen atomic positions in kaolinite". Clays and clay minerals. 37, 289-296.
- [11] N.S Soro, 2003." Influence des ions fer sur les transformations thermiques de la kaolinite", Thèse de Doctorat,GEMH), ENSCI Limoges.
- [12] J.M Cases, P.Cunin, Y.Grillet., C.Poinsognon, J.Yvon. 1986. " Methodes of analysing morphology of kaolinites: relations between crystallographic and morphological properties "Clay Minerals, Vol.21, pp. 55-68.
- [13] M. A. HILMI, (1997), "*Métallurgie*", Ed. ANGELOT, Egypte, p. 100-300.
- [14] S. CAILLER, S. HENIN et M. RAUTUREAU, (1982). "*Minéralogie des Argiles*", Ed. MASSON, p.1-20.
- [15] R. ARTHAR, ET V. HIPEL, (1961), "*Les diélectrique et leurs applications*", Ed. DUNOD, Paris,p. 232-234 .
- [16]LALMI .K. Mémoire Magister Thème : " Etude par diffraction des RX de materiaux à base de kaolin de KT2 et DD".
- [17] J.Wgruner. (1992),"The Cristal Structure of the Kaolinite". Z-cristallo .n° 83 pp 75-88.
- [18] Nathalie Fagel. (2005). " Géologie des argiles, chapitre 3, département de géologie, unité argile et paléoclimat(URAP) ". Université de liège Belgique.

- [19] G.W Brindley, G.Brown, (1980)."Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification ".Mineralogical Society Monograph n° 5; pp 323;
- [20] Dictionnaire encyclopédique quillet. Édition(1981).
- [21] S.Caillère., S.Henin., M.Rautureau, (1982), minéralogie des argiles, 1.structure et propriété physico-chimique 2éme édition.
- [22] Bouzidi.N (2006) Thème Magister : " Caractérisation et valorisation des sous-produits du kaolin de tamazert".
- [23]J.F.PASQUET, (1988). " Le kaolin,mémento roches et minéraux industriels "BRGM.
- [24] A.RUSSEL, (1989),"Ball and plastic clays", value added products for ceramic demands, Industial clays, A special review, Industrial Minerals, p.37-45.
- [25]G.ALIPRANDI, (1992),"L'industrie céramique ", article N°872, 6.
- [26] Bouaabdellah. S" Thème : Étude de la valorisation des sous-produits de kaolin issus de l'hydrocyclonage et du débouillage".
- [27] Annexe I (novembre 2004) - Directive 019 sur l'industrie minière, p 1-2.
- [28] Benzaazoua.M « Innovations en environnement minier: entre gestion intégrée en amont et restauration en aval ».
- [29]Vick, S. G. (2001). "Stability aspects of long-term closure for sulfide tailings".
- [30] Eriksson, N. (2002). "Acid Rock Drainage (ARD)".
- [31] Höglund, L. O. (2001). "EU - Towards a new mines directive - Main priorities", Ireland.
- [32] pollution atmosphérique détaillé normes poussiere.
- [33] Benoît. Plante, (11juin 2011), « Environnement minier et restauration de sites,» p12.
- [34] RALIDERA .T.A . (2005) « Methodologie de gestion des residus miniers - cas de l'exploitation de graphite de tsaravoniana andasibe » p.9.
- [35] (ICOLD) (1996). "A guide to tailings dams and impoundments, design, construction, use and rehabilitation", ICOLD, Paris, 92-807-1590-7.
- [36] EPA, A. (1995). "Tailings containment", Best practice environmental management in mining.

[37] Nilsson, A. (2001). "Safe dam constructions" Safe tailings dam construction, Gällivare, Sweden.

[38] Benzaazoua, M., Bois, D., Belem, T., Gauthier, P., Ouellet, S., Fall, M. et St-Onge, J.F. (2005). Remblais souterrains : évolution des connaissances et de la pratique. 20e Colloque Contrôle de Terrains, Val d'Or, 22-23 mars 2005, Association Minière du Québec, p 23.

[39] Benzaazoua, M., Belem, T., Ouellet, S. et Mamadou, F. (2003). Utilisation du remblai en pâte comme support de terrain. Partie II : comportement à court, à moyen et à long terme. Colloque Après-mines 2003, Nancy, 5-7 février 2003, Groupement de Recherches sur l'Impact et la Sécurité des Ouvrages Souterrains, p 12.

[40] Godbout, J., Bussière, B., Aubertin, M., Belem, T. et Benzaazoua, M. (2004). Évolution des propriétés de rétention d'eau des remblais miniers cimentés en pâte durant le curage. In École polytechnique de Montréal. Dissertations et thèse. <http://www.enviro-geremi.polymtl.ca/pdf/articles/G11.416.pdf> (Page consultée le 1er mai 2014).

[43] Québec. BAPE (2013). Projet d'ouverture et d'exploitation d'une mine d'apatite à Sept-Îles. Rapport d'enquête et d'audience publique. Rapport 301. In BAPE. Rapport des commissions.Rapports-Mines. <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/rapports/publications/bape301.pdf> (Page consultée le 1er mai 2014).

[42] Benzaazoua, M. et Kongolo, M. (2003). Physico-chemical properties of tailing slurries during environmental desulphurization by froth flotation. International Journal of Mineral Processing, vol. 69, p. 221-234.

[43] Deschamps, T., Benzaazoua, M., Bussière, B., Aubertin, M., Bouzahzah, H. et Martin, V. (2009) Les effets d'amendements alcalins sur des résidus miniers sulfureux entreposés en surface : Cas des dépôts en pâte. Revue francophone d'écologie industrielle, Avril-Mai-Juin, no 54, p. 9-30.

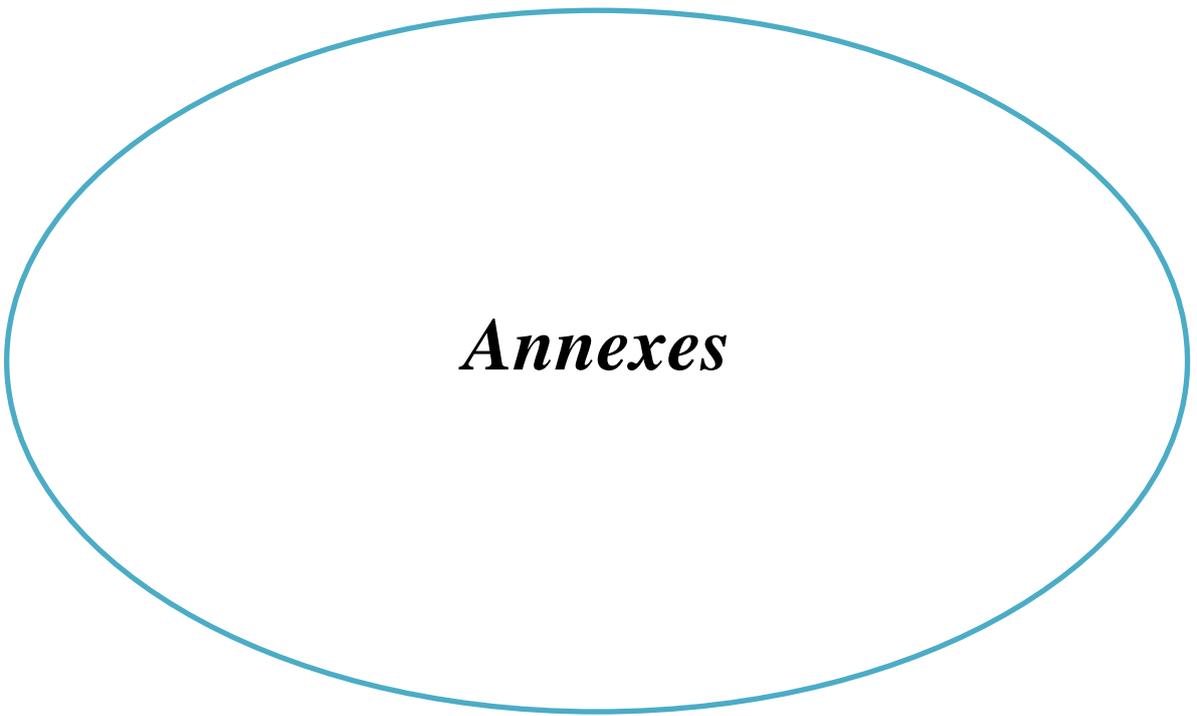
[44] : Demers, I., Benzaazoua, M., Bussière, B., Mbonimpa, M., Fried, E. et Blier, A. (2009). Évaluation de l'application de la gestion intégrée des résidus à la mine Doyon. Revue francophone d'écologie industrielle, Avril-Mai-Juin, no 54, p. 31-40.

[45] Gautier P. (2004). Valorisation des liants et des rejets industrielles dans les remblais miniers. Mémoire de DESS. Université du Québec en Abitibi Témiscamingue, Rouyn-Noranda, Québec, p 146.

[46] Chou, L.C. (2012). Caractérisation des propriétés mécaniques du remblai minier rocheux cimenté par des méthodes non destructives. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Montréal, Québec, p 204.

[47] Abdelghani, F.R. (2009). Analyse numérique des écoulements et du transport de contaminants dans les rejets miniers entreposés dans les massifs rocheux fracturés. Thèse de doctorat, École polytechnique de Montréal, Montréal, Québec, p 504.

- [48] Union européenne (2009). Management of tailings and waste-rock in mining activities. In Union européenne. Mining waste. BAT reference document. <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/> (Page consultée le 11 avril 2014).
- [49] Québec. BAPE (2009). Projet minier aurifère : Canadian Malartic. Rapport d'enquête et d'audience publique. Rapport 260. In BAPE. Rapport des commissions. Rapports – Mines. <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/rapports/publications/bape260.pdf> (Page consultée le 12 avril 2014).
- [50] Tremblay, N. (23 décembre 2013). Sujet d'essai – Maîtrise en environnement.
- [51] États-Unis. Federal Highway Administration (2012). User guidelines for waste and byproduct materials in pavement construction. In Department of transportation. Report. <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/mwst1.cfm> (Page consultée le 26 avril 2014).
- [52] Québec. MDDEP (2002). Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction, p 47.
- [53] Laura Sigg, Philippe Behram, Werner Stumm, (2014)"Chimie des milieux aquatiques" 5eme édition
- [54] Khedrouche Delal & djidjeli Lamia, 2004 Mémoire ingénieurat thème "Etude physico-chimique et spectroscopique d'une argile kaolinique Tamazert ".



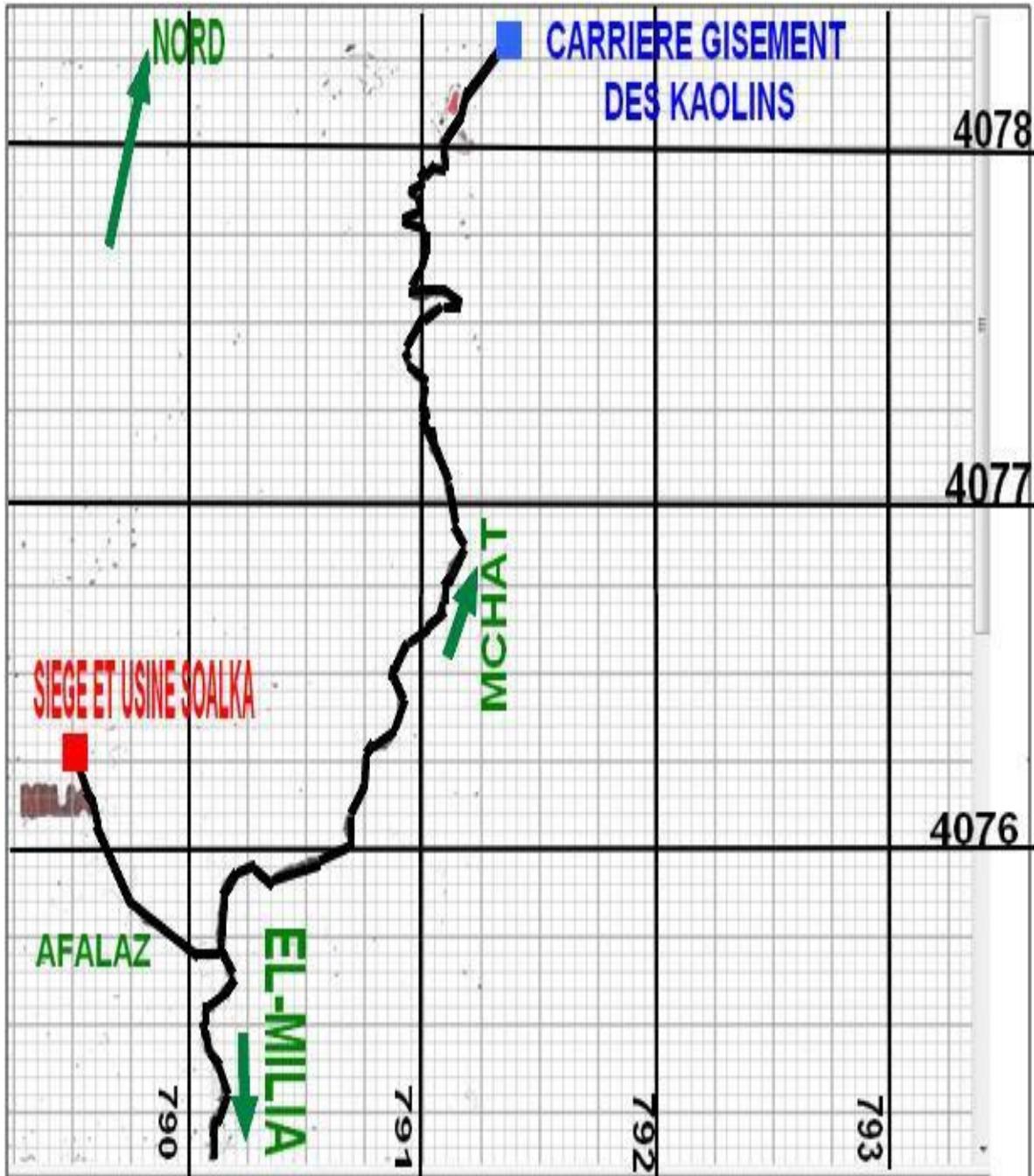
Annexes

ANNEXE A

FICHE TECHNIQUE DES REJETS DU KAOLIN DE TAMAZERT.

Sables		GOO	GO	GW1	GW2	
Analyse Chimique	% En Poids	SiO ₂	93.3	82.83	62.35	57.82
		Al ₂ O ₃	3.53	10.7	23.73	27.73
		Fe ₂ O ₃	0.14	0.86	1.49	1.44
		TiO ₂	0.10	0.33	0.63	0.58
		CaO	0.08	0.15	0.12	0.16
		MgO	0.77	0.27	0.54	0.58
		K ₂ O	0.33	2.44	5.22	4.11
		Na ₂ O	1.02	0.02	0.28	0.05
		P.A.F	1.02	2.25	5.50	6.96
Analyse Minéralogique	% En Poids	Quartz		62.5	31.0	29.0
		Feldspath		14.0	10.0	7.0
		Kaolinite		10.5	26.5	29.5
		Muscovite		10.5	32.5	34.5
Analyse Granulométrique	% En Poids	> 1 mm	92.5	33.0	0.2	0.1
		0.5 -1 mm	3.0	19.6	0.5	0.1
		0.2 – 0.5 mm	1.3	21.0	1.8	0.7
		0.1 - 0.2 mm	0.8	16.0	30.6	5.7
		0.04 - 0.1 mm	0.7	6.8	44.6	49.2
		< 0.04 mm	1.7	3.6	22.3	44.2

ANNEXE B



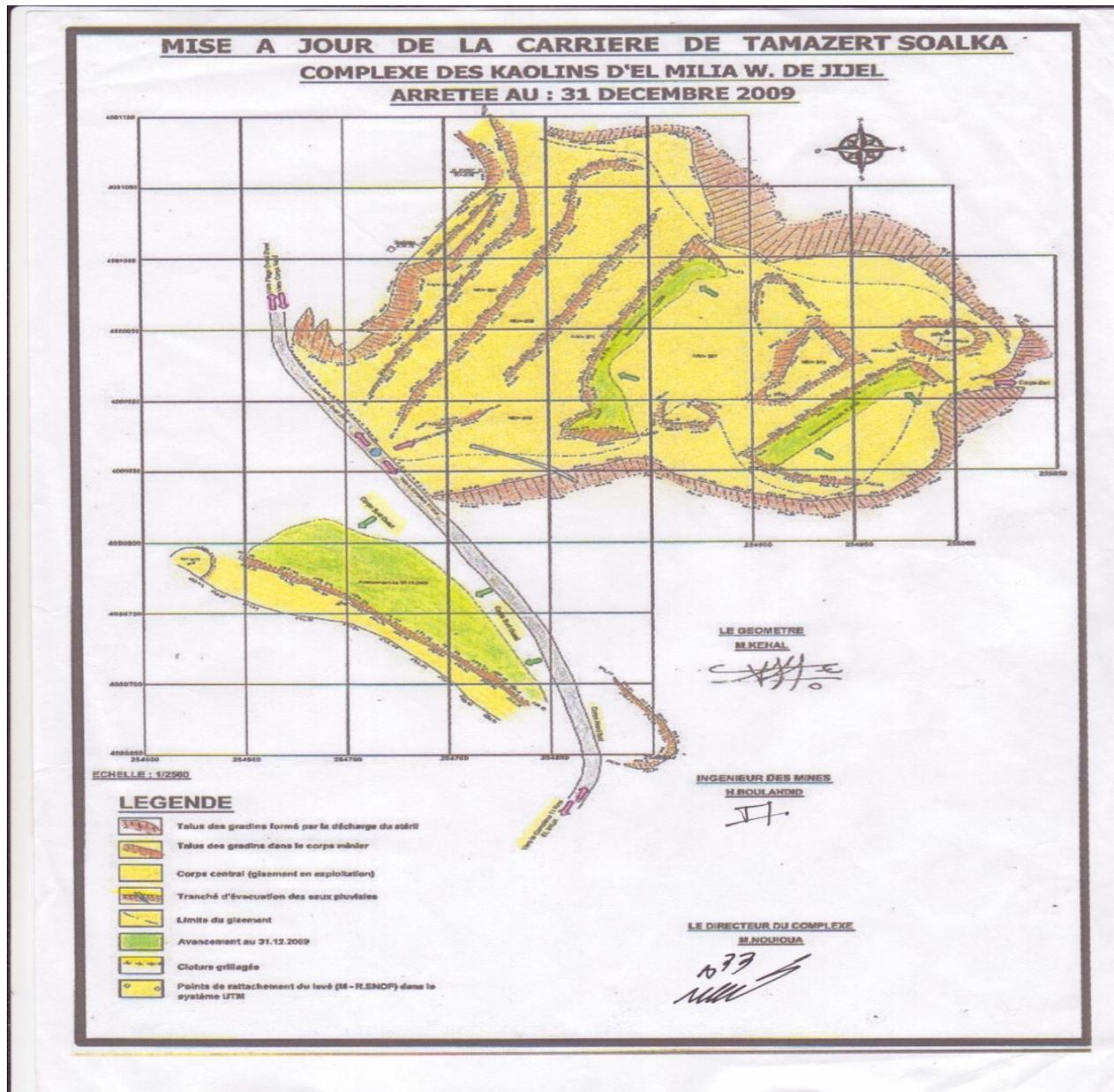
Plan de situation : Echelle 1/ 2000.

ANNEXE C



Plan de masse du siège et des ateliers de production.

ANNEXE D



Plan de mise à jour de la carrière au 31/12/2009.

ANNEXE E

Rapport annuelle de production(2004-2014)

Année	TV_{AB}	KT_{TR}	KT_V
2005	52490	23865	28625
2006	50900	40190	29945
2007	29550	21255	6542
2008	58400	50003	10410
2009	61000	42604	19760
2010	42800	24585	20590
2011	62350	40011	27510
2012	76950	45728	27531,33
2013	46800	28910 ,5	18432,584
2014	63300	35349,12	28348,925

Les proportions des produits et des rejets

Matière	Quantité (T)	Pondérale (%)
Kaolin (F2 + F3B)	3900 T/An	13 %
Sable GO	18000 T/An	60 %
Sable GOO	2100 T/An	7 %
Sable GW1	2400 T/An	8 %
Sable GW2	3600T/An	12 %
TOTAL KAOLIN TV	30000 T/An	100%

Résumé

L'étude des rejets issus de l'exploitation et de traitement du kaolin de Tamazert dans la société SOALKA spa, sont les sables GOO, GO et les argiles GW1 et GW2 de différente composition minéralogique, chimique et granulométrique nous avons calculé l'évolution de leur quantité pendant cette dernière décennie ainsi que leur qualité en vue d'une meilleure gestion. De ces résidus au sein de l'usine, Le GO et GOO trouvent leur utilisation dans plusieurs domaines, alors que les argiles GW1 et GW2 sont pas totalement commercialisées, ils peuvent être utilisé pour l'amélioration des sols, ou être stocker dans une plate-forme qui devra être nouvellement conçue.

Mots clés : rejet minier - mise à terril - stériles - tout-venant - teneur – gestion.

Abstract

The study of releases from mining and processing of kaolin Tamazert in the company SOALKA spa which are the quartz GOO, the sand GO, the clay GW1 et GW2 with different mineralogical and chemical composition, and particle sizes allowed us to calculate changes in their quantity during the last decade and their quality for better management of these residues within the plant. The releases GO, GOO and find their uses in many industries, while GW1 and GW2 clays are not fully commercialized, they are used for soil improvement. Or stocked in a platform.

Keywords: mining rejection - updated Bing - sterile - unsorted - content - manage