



UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS - MOSTAGANEM.

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE.

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

N° D'ORDRE : M /

MEMOIRE

POUR OBTENIR

LE DIPLOME DE MAGISTER

SPECIALITE : GENIE DES PROCEDES

OPTION : chimie appliquée et développement durable

Par :

AMERI BILLEL

**Impact Environnemental sur l'Etude Physico-chimique Durant les Etapes de
Traitement de Sable**

(ADWAN, Mostaganem)

Soutenu le : le..../...../2012

Devant le JURY composé de :

Pr. N. BENDERDOUCHE

Président

Pr. A. GHOMARI

Examineur

Pr. A. BELOUATEK

Examineur

Pr. M. DJENNAD

Rapporteur

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2011-2012

REMERCIEMENTS

Au nom de dieu le tout puissant, et le salut sur le prophète Mohamed messenger, que la paix soit sur lui.

Je tiens à remercier, en tout premier lieu, Monsieur M. Djennad, Professeur à l'Université de Mostaganem pour l'intérêt constant qu'il a porté à ce travail en acceptant de diriger cette étude, pour sa disponibilité, ses orientations.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur N. Benderdouche Professeur à l'université ABD ELHAMID IBN BADIS de MOSTAGANEM qui m'a fait l'honneur de présider le jury du présent mémoire.

Je tiens à remercier le Professeur A. Ghomari (Professeur à l'université ABD ELHAMID IBN BADIS de MOSTAGANEM) pour avoir accepté de faire partie des membres du jury.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur A. Belouatek, Professeur au centre universitaire de RELIZANE qui à bien voulu accepter d'examiner ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent à l'équipe de travailleurs de l'unité (ADWAN, Mostaganem), l'équipe de laboratoire GL1Z à Arzew, et à l'équipe de laboratoire de sciences de la terre à l'université (USTHB, Alger) pour l'accueil que m'ont réservé.

Pour finir, j'adresse mes remerciements à ma famille, tous mes amis. Merci pour votre soutien.

Introduction	1
<u>Chapitre I</u> .Les étapes de traitement de sable.	
I. Sable	5
I.1.Définition	5
I.2.Formation	5
I.2.1.Altération et érosion	5
I.2.1.1.Attaque chimique	6
I.2.1.2.Attaque mécanique	6
I.2.2.Transport	6
I.3.Impuretés susceptibles d'exister dans les sables à verre	7
I.4.Traitement du sable	8
I.4.1.Lavage	8
I.4.1.1.Fonctionnement	9
I.4.1.2.Avantages et inconvénients d'un laveur de sables	12
I.4.2.Séchage	13
I.4.2.1.La déshydratation mécanique	13
I.4.2.2.Le séchage chimique	13
I.4.2.3.Le séchage thermique	13
I.4.2.3.1 Séchage par conduction	13
I.4.2.3.2 Séchage par convection	13
I.4.2.3.3 Séchage par rayonnement	14
I.4.2.4.Modes de séchage	14
I.4.2.4.1.Séchage par ébullition	14
I.4.2.4.2.Séchage par entrainement	14
I.4.2.5.Approche énergétique	15
I.4.2.6.Etats de l'Eau dans les Milieux Poreux	16
I.4.2.6.1.Eau libre	16
I.4.2.6.2.Eau liée	16
I.4.2.6.3.La vapeur d'eau	16
I.4.2.7.Aptitude de séchage	17
I.4.2.8.Transport de l'Eau lors du Séchage	17
I.4.2.8.1.Migration du liquide	18

I.4.2.8.2.Migration de la vapeur	18
I.4.2.9. Loi de transport macroscopique	18
I.4.2.10.Evaporation à la surface	18
I.4.2.11.Description technique des sécheurs thermiques	19
I.4. 3.Tamissage	20
I.4. 3.1. Définition et représentation	21
I.4. 3.2.Le tamiseur centrifuge	22
I.4. 3.2.1.Principe de fonctionnement	22
I.4. 3.2.2.Performances d'un tamiseur	23
I.4.4.Le broyage	23
I.4.4.1.Principe	24
I.4.4.2.Modes de broyage	25
I.4.4.3.Systèmes utilisés pour le broyage	26
I.4.4.4.Conditions expérimentales du broyage	28

Chapitre II .Impact environnemental.

II. Impact environnemental des industries	29
II.1.Introduction	29
II.2.Evaluation environnementale	29
II.2.1.Les principaux fondamentaux du code environnemental	29
II.2.1.1.Le principe de précaution	30
II.2.1.2.Le principe d'action préventive	30
II.2.1.3.Le principe pollueur-payeur	30
II.2.1.4.Le principe de participation	30
II.3.La pollution industrielle	30
II.3.1.Définition	30
II.3.2.Classification de la pollution selon le milieu qu'elle contient	30
II.3.2.1.La pollution de l'air	30
II.3.2.2.La pollution de l'eau	31
II.3.2.3.La pollution du sol	31
II.3.3.Classification de la pollution selon sa nature	32
II.3.3.1.La pollution chimique	32
II.3.3.2.La pollution biologique	32

II.3.3.2.1.Les agents biologiques pathogènes	32
II.3.3.3.La pollution physique	32
II.3.3.3.1.Poussières	33
II.3.3.3.2.Bruit	35
II.4.Impact environnemental généré par les différentes étapes de traitement du sable (unité ADWAN)	36
II.4.1.Le lavage	36
II.4.1.1.L'eau de lavage	37
II.4.1.2.Les boues	37
II.4.1.2.1.Les argiles	37
A) Définition	37
B) Microstructure des argiles	38
C) Propriétés	40
D) L'effet des argiles sur l'écosystème (la faune et la flore)	41
II.4.1.2.2.Propriétés physiques des terres	41
A) Porosité	42
B) Capacité de rétention d'eau	42
C) Capacité de rétention d'air	43
II.4.1.3.Le bruit	43
II.4.2.Le séchage	43
II.4.3.Le tamisage et le broyage	43
II.4.3.1.Problématique de santé au travail	43
II.4.3.1.1.Caractérisation des aérosols dégagés au poste de travail en vue de l'évaluation des risques pour la santé	43
II.4.3.1.2.Définition	44
II.4.3.2.Les différentes formes de silice	44
II.4.3.3.Comportement des particules dans l'atmosphère	45
A) Fraction inhalable(ou inspirale)	45
B) Fraction alvéolaire	45
II.4.3. 4.Voie d'entrée dans l'organisme et conséquences	45
II.4.3. 4.1.Caractérisation physico-chimique	45
A) La nature des particules	46

B) La taille des particules	46
C) La quantité de particules inhalées	46
II.4.3. 5.Effets sur la santé	46
A) Toxicité aiguë	47
B) Toxicité chronique	47
II.4.3. 6.Les moyens de défense	48
II.4.3.7.Le bruit	48

Chapitre III. Partie expérimentale.

III. Le sable	49
III.1. Le sable brut	49
III.1.1.Caractérisation physique	49
III.1.1.1.L'aspect	49
III.1.1.2.Analyse granulométrique	49
III.1.1.3.Analyse chimique	50
III.1.1.3.1.Principe	50
III.1.1.3.2.Mode opératoire	51
A) Préparation de l'échantillon de (SAA)	51
III.1.1.3.3.Le taux de silice	51
A) Mode opératoire	51
III.2.Le sable lavé	53
III.2.1.Analyse physique	53
III.2.2.Analyse chimique	54
III.3.Autres paramètres à mesuré	54
III.3.1.Le pH	54
III.3.1.1.Mode opératoire	54
III.3.2.Taux d'argile	55
III.3.2.1.Mode opératoire	55
III.3.2.2.Statique	56
III.3.3.L'humidité	57
III.3.4.Les matières organiques	58
III.3.4.1.Mode opératoire	58
III.4.Caractérisation de l'eau de lavage	58

III.4.1.L'eau de lavage avant l'utilisation	58
III.4.2.L'eau de lavage après l'utilisation	59
III.4.3.L'eau de lavage après décantation.....	59
III.5.La boue	61
III.6.Contamination du sol	62
III.6.1.Description	63
III.6.2.Sol contaminé	63
A) Prélèvement à la surface	63
B) Prélèvement à 5 cm de profondeur	65
III.6.3.Sol non contaminé	66
A) Prélèvement à la surface	66
B) Prélèvement à 5 cm de profondeur	66
III.7.Evaluation le risque de poussière	68
III.7.1.Mesure la quantité de poussière dans le lieu de travaille	69
III.7.1.1.Effet de la sédimentation	69
III.7.1.2.Boîtes de mesure	69
III.7.1.3.Description	69
III.7.2.Analyse chimique	72
III.7.3.Analyse de la poussière par DRX -Analyse minéralogique	73
Conclusion et perspectives	76
Abréviations	81
Références bibliographiques	82
Annexe A	86
Annexe B	91

Introduction

L'environnement de l'homme est important, sa protection relève donc de l'intérêt de tous. Cependant, par notre industrie, nos habitudes de vie, notre agriculture, et plus généralement par toute notre activité, nous menaçons le monde dans lequel nous vivons. En effet, l'activité humaine produit, de nombreux polluants qui peuvent nuire aux milieux dans lesquels ils sont absorbés. L'environnement est aussi très affecté par d'autres conséquences du développement humain telles, l'urbanisation ou l'accroissement des surfaces agricoles. Bien que, certains problèmes environnementaux soit naturels, la plupart sont liés à l'activité humaine.

Quelles sont les pollutions et les autres conséquences engendrées par le développement fulgurant de l'homme sur son environnement et quelles sont les solutions envisagées afin d'enrayer les problèmes suscités par ces changements?

L'homme est une partie de l'écosystème de la terre .Il influence son environnement et réciproquement : l'homme utilise l'environnement et le transforme à travers l'économie, la technique, etc. Ainsi il crée son espace vital et assure ses besoins.

Dans un contexte de timide relance de l'activité économique, les actions des industries fortement polluantes en Algérie restent limitées, la prévention de l'environnement dépendra des actions à mener à l'avenir et qui doivent être prévues et décidées aujourd'hui.

De nos jours, il est universellement admis qu'aucun développement économique n'est possible sans une gestion rationnelle de l'environnement .Depuis la conférence de Stockholm sur « l'environnement humain »réunie en 1972, le concept de développement durable ou "viable" s'est peu à peu dégagé, affiné, puis imposé sur le plan international, les questions liées à l'environnement constituent déjà les enjeux du 21^e siècle [1].

A ce jour, l'Algérie n'a pas encore réussi à concilier développement et prévention du milieu, les problèmes d'environnement auxquels est confronté notre pays sont liés à son niveau de développement économique et social.

L'industrialisation rapide qui a caractérisé les deux décennies de l'indépendance est à l'origine de graves déséquilibres écologiques compromettant ainsi la qualité de la vie. En outre, l'absence de croissance économique réelle et durable est la cause de la dégradation accélérée des écosystèmes, fragilisée par une exploitation et une gestion irrationnelle.

*H*ier, comme aujourd'hui, le sable est le produit qui a accompagné l'homme depuis la nuit des temps, besoin de s'abriter, du soleil comme de la pluie, l'homme a toujours voulu construire son logement, après les carrières et les gisements de sable, ont devenu des matériaux de construction et des outils industriels par excellence, spécialement les produits verrières et céramiques.

*L'*Algérie possède des gisements importants de sable siliceux et grès quartzeux exploités par différents secteurs d'industrie. Le gisement de sable de Sig est une des carrières les plus importantes dans la région ouest. Il est exploité en grande partie pour les besoins de l'industrie du verre, parmi celles l'unité ADWAN, qui fait un traitement pour le sable brut (lavage, séchage, tamisage, broyage), pour obtenir la farine de silice. Cette dernière considérée comme une matière première pour plusieurs secteurs industriels (verrières, céramiques ...etc.).

Sous le concept d'impact environnemental, on entend l'ensemble de tous les facteurs qui perturbent l'environnement. De telles perturbations environnementales ont lieu, quand l'environnement naturel- l'état « normal »-est influencé par des interventions physiques, chimiques, biologiques.

Ce manuscrit se compose de 3 chapitres principaux :

*D*ans le premier chapitre, nous présenterons succinctement les différentes étapes de traitement du sable (lavage, broyage, séchage, tamisage,)

*L*e second chapitre, présente une étude bibliographique sur le type d'impact environnemental répondant aux exigences requises.

*L*e troisième et dernier chapitre, est consacré à la description du matériel et des méthodes expérimentales ayant permis la réalisation pratique de cette étude. Les modes opératoires, les réactifs, les appareils de mesure et d'analyse chimique utilisés y seront présentés et aux résultats expérimentaux et à leur interprétation, en essayant de proposer des solutions aux différentes étapes afin de préserver notre environnement.

Problématique

A l'origine de l'état actuel, il y a une conjonction de facteurs imputables essentiellement à l'explosion démographique, à l'urbanisation anarchique ainsi qu'aux effets pervers d'une industrialisation accélérée qui a rarement pris en compte la donnée environnementale.

*L'*importance de thème de l'environnement commence à prendre une importance en 1992 lors de la conférence des Nations Unies pour l'environnement et qui a donné lieu aux cours des dernières années à une évolution des attitudes et de la réflexion, et les différents débats ont dégagés un consensus sur la

nécessité d'intégrer à la croissance économique la protection de l'environnement, sur la base d'un concept nouveau (*le développement durable*).

L'Algérie après l'indépendance a été marquée par une croissance démographique rapide selon les chiffres, cette dernière estimée pour la période 1977 à 1987 à presque 5.40%. La concentration de la population dans les zones du Nord du pays avec une densité de 235 habitants /Km² et 44% de cette population sont regroupées sur le littoral "[2], en outre, près de la moitié de la population agglomérée dont l'essentiel est localisée dans les grands métropoles (Alger, Oran, Annaba.....) la surpopulation en zones agglomérées est due principalement aux grands mouvements de migration successifs à l'indépendance liés à la réalisation des grands centres industriels qui ont drainé une main d'œuvre massive de la campagne vers les villes, cette activité industrielle telle que (la fabrication, l'agriculture, l'exploitation minière, la foresterie, la sidérurgie et le caoutchouc ...) qui méprisent les dangers pour l'homme et la nature (pollution, air, sol, eau), la consommation des ressources naturelles et surtout la prolifération des déchets industrielsetc.

Dans un contexte de développement durable concernant le secteur des éco-industries et la gestion écologique des déchets industriels, on entend la capacité des producteurs et fabricants à satisfaire à la demande immédiate de produits sans compromettre la possibilité de répondre aux besoins futurs; plus particulièrement, le développement durable vise à réduire le taux d'utilisation des ressources naturelles, à fournir suffisamment de produits, à restreindre le volume de pollution engendré par les déchets industriels.

Mais, malgré tous les efforts, l'activité industrielle continue de proliférer les déchets industriels et contribue à la dégradation de la qualité de l'environnement (air, sol, eau) dans le voisinage des localités où se trouvent implantées certaines grandes industries telles que les cimenteries, les centrales électriques, les complexes chimiques, pétrochimiques.....etc.

Un certain nombre de questions relatives à cet état de fait surgit à l'esprit :

- Quels sont les effets des déchets industriels sur l'environnement ?
- A quoi incombe cette situation ?
- Est-ce qu'il y a un manque d'application de la réglementation ?

Domaine d'étude et Motivation du Choix de Sujet

Au niveau de la plupart des zones industrielles algériennes, il a été constaté une dégradation environnementale due en particulier par l'absence totale de gestion des déchets solides industriels, parmi ces zones industrielles, on trouve dans l'ouest de notre pays la zone industrielle de Fornaka dans la wilaya de Mostaganem. Fornaka est une commune dépendante de la wilaya de Mostaganem, située à 23,3 km au

nord de Perrégaux, 5km de Debrousseville, 27 km à l'ouest de Mostaganem, et de 60 km à l'est d'Oran. Elle est située légèrement à l'ouest sur le méridien de Greenwich. Cette zone comporte plusieurs entreprises d'activité diverse parmi eux l'unité ADWAN pour le traitement de sable.

On peut résumer les raisons pour lesquelles nous avons opté pour ce thème parmi beaucoup d'autres traitant un aspect de l'environnement comme suit :

- C'est un sujet d'actualité de fait qu'il prête aux conditions de réalisations d'une industrie durable efficace.
- C'est un sujet qui touche la protection de l'environnement, le confort du citoyen, la santé publique et l'amélioration de son cadre de vie en Algérie.

Hypothèses

- Une absence de données sur les modes de traitement du sable et leur déchet (flux, composition, les conditions de leur gestion et les techniques de traitement) et une incertitude quant à l'évaluation des impacts environnementaux évités ou générés et un manque de la mise en œuvre de la durabilité.
- Une réglementation insuffisante et inappliquée provoque une mauvaise gestion des déchets solides industriels.

Objectifs

Les objectifs de cette recherche sont :

- Améliorer les connaissances sur la nature des impacts industriels en générale et durant les étapes de traitement du sable de l'unité (ADWAN, Mostaganem) en particulier, sur l'environnement et la santé publique.
- proposer des solutions, afin de limiter ces impacts et de préserver la vie des êtres vivants.

I. Le sable

I.1.Définition

Au sens courant ,nous pouvons dire que le sable est un matériaux meuble formé de grains de quartz qui est constituant le plus courant de la silice dont la propriété la plus intéressante d'être un bon vérifiant.

Son apport en silice et son abondance dans la nature fait qu'il soit le plus recherché pour la fabrication du verre d'oxydes, car c'est un minéral très fréquent des roches magmatiques, plutoniques et volcaniques et des roches métamorphiques saturées en silice [3].

De plus, sa dureté et son insolubilité en fait un élément résistant très fréquent dans les roches sédimentaire détritique (sables, grés...)

I.2.Formation

Le sable est une roche sédimentaire qui s'est formée par accumulation des minéraux à la surface du globe suivant des modalités très diverses [4].

Donc le sable est une matière minérale de composition variable ,résultant soit de l'altération sur place de certaines roches à la suite de l'action des agents atmosphériques soit du dépôt de particules meubles transportés à des distances plus ou moins grandes par, le vent, l'eau, ce sable est généralement composé de silice ,alumine, carbonate de calcium, carbonate de magnésium,phosphate de calcium,composé ferreux et ferriques et quelques éléments oxydes des métaux lourds.

Ces roches, par leur disposition stratifiée en lits successifs, résultent de leur mode de dépôt qui est confirmé par la présence fréquente en leur sein de débris animaux ou végétaux, fossiles.

D'une manière générale, le sable résulte de l'attaque par l'érosion des roches préexistantes du transport des débris arrachés et de leur dépôt (sédimentation) dans un bassin, enfin de la transformation du sédiment par la diagénèse [3].

I.2.1.Altération et érosion

Les silicates qui affleurent à la surface du sol, sont soumis aux agents atmosphériques qui les attaquent et tendent à les détruire.

Ces agents sont d'ordre chimique ou mécanique, la résultante de leur action est l'érosion.

I.2.1.1.Attaque chimique

Les eaux météoriques attaquent les minéraux. Ceci d'augmentant plus que leur agressivité est accrue par la pression d'un gaz carbonique dissous, que celui-ci provienne directement de l'atmosphère du lessivage des sols.

Les roches solubles, sulfates, carbonates, sont mises en solution. Les silicates (mica feldspath en particulier) sont assez facilement hydrolysés. Les ions les plus mobiles (Na, K) sont mis en solution, ainsi qu'une part de la silice.

Alors des modifications minérales importantes se produisent, chloritisation etc.

Il en résulte :

- l'élimination assez rapide des produits solubles.
- la désagrégation des produits insolubles au moins solubles réduit en grains plus ou moins gros. Ils entrent dans la composition des sols.

I.2.1.2. Attaque mécanique

Une partie des produits d'altération peut rester piégée sur place pendant un temps plus ou moins long, c'est en particulier le cas des sols retenus par la végétation, une grande partie, surtout dans les régions dénudées ou à relief marqué est enlevé mécaniquement.

Les agents mécaniques qui entraînent les débris sont susceptibles également de déterminer les roches, ce son en particulier :

- La pesanteur qui, par écoulement, glissement sur les reliefs important et aidée par le gel qui éclate les roches, donne naissance à des éboulis sensibles aux autres agents.
- L'eau courante, le vent, la glace qui usent la roche saine, la bombardent avec les débris transportés puis éliminent les débris en les transportant ailleurs.

I.2.2. Transport

Les débris de l'attaque chimique et mécanique des roches sont entraînés loin des lieux de destruction vers le lieu de sédimentation.

L'eau courante des torrents, des rivières et des fleuves représentent le principal agent de transport.

Les matériaux sont placés en solution vraie, en solution colloïdale et se forme de débris de taille différente suivant la vitesse du courant. A l'eau courante s'ajoutent, à un degré moindre, le vent et le glace.

En mer et surtout sur les côtes, là où la mer est peu profonde, les vagues, les courants marins contribuent à l'érosion et au transport [4].

I.3. Impuretés susceptibles d'exister dans les sables à verre

Globalement, les groupes d'impuretés ferreuses ou colorantes se distinguent comme suit :

- ✚ Les impuretés finement dispersées s'identifient pour la plupart dans les argiles et les grains très fins de sable.
- ✚ La fraction lourde est constituée par les grains isolés des minéraux ferreux dont le poids spécifique est plus grand que 2.9.
- ✚ La pellicule des minéraux est constituée d'hydroxyde de fer, qui recouvrent la surface des grains de quartz et occupent les fissures.
- ✚ Le feldspath mica et autres silicates.
- ✚ Les minéraux métallifères ou métalliques à l'intérieur des grains de quartz.
- ✚ Les solutions solides du fer dans la silice.

Les minéraux chromophores particulièrement l'oxyde de fer, titane et de chrome, sont responsables de la coloration du verre et des céramiques et altèrent la qualité.

Les teneurs de ces impuretés sont limitées par les utilisateurs. Le minéral zircon, ilménite etc. Ne sont pas admis à cause de leur température de fusion élevée.

Les carbonates à cause des dégagements gazeux ne sont acceptés qu'à des faibles teneurs, il en est de même pour les corps organiques.

La présence de ces grains mentionnés ci-dessus limite l'utilisation du sable dans la fabrication du verre, c'est pourquoi il est nécessaire de les éliminer par l'étape de traitement [3].

I.4. Traitement du sable

Vu la présence d'impureté dans le sable, il est nécessaire de passer par des traitements afin d'améliorer la qualité de ce sable, plusieurs méthodes du traitement sont utilisées et varient selon la composition de ce sable.

I.4.1.Le lavage

Le lavage à l'eau est une procédure courante d'enrichissement, économique et donnant souvent de bons résultats. Il a pour but d'éliminer les argiles, les particules organiques et quelques éléments solubles dans l'eau [3].

Le lavage ; débourber, laver ou dépoussiérer permet d'obtenir des granulats propres. La propreté est une nécessité industrielle. La présence de boues, d'argiles ou de poussières mélangées aux matériaux ou enrobant les grains, empêche leur adhérence avec les liants (ciment, chaux, laitier ou bitume), ce qui interdit alors leur utilisation. Dans tous les cas, les eaux de lavage sont ensuite décantées dans des bassins spéciaux, de façon à resservir ou à être restituées propres à la rivière ou au lac. Les opérations de criblage et de lavage sont souvent réalisées conjointement, une rampe de jets étant disposée au-dessus du crible.

Du point de vue électrique, les argiles sont chargées négativement à leur surface, si bien que l'eau contenue dans le sol est soumise à un champ électrique près de la surface des grains. Les molécules d'eau (qui sont dipolaires) sont attirées par les grains et s'arrangent autour d'eux pour former des couches adsorbées. On peut se représenter simplement les couches adsorbées comme des films visqueux de l'ordre de (5 à 10 Å) d'épaisseur entourant les grains. L'épaisseur des couches est d'autant plus importante que les grains sont fortement chargés négativement, ce qui est le cas des argiles. L'eau des couches adsorbées possède les propriétés d'un matériau semi-solide, elle ne peut partir qu'après dessiccation totale et complète du matériau [5].

Donc la fonction du laveur de sable est d'effectuer une séparation physique entre le sable (partie valorisable principale) et les autres matériaux constituant les déchets sableux bruts (eau, éléments grossiers, matière organique,...) [6].

Avec la centrale de lavage de sables COANDA, la classification et le lavage de sables est effectué dans un seul équipement. En utilisant l'effet COANDA, le processus permet d'obtenir de manière continue et simultanée une capacité de séparation et une efficacité de lavage importantes [7].

I.4.1.1.Fonctionnement

L'eau et le sable sont collectés dans la cuve REP 1. La pulpe, transportée au moyen d'une pompe centrifuge REP 2, alimente tangentiellement le cyclone REP 3. Le mouvement centrifuge à l'intérieur de

celui-ci provoque la séparation liquide-solide par dépression, les argiles, les déchets et les ultra-fins sont évacués par la surverse REP 4.

Les solides et les éléments lourds, de par la force centrifuge, descendent en spirale le long du cône et sont rejetés sur l'essoreur REP 5. De pente ascendante, équipé de 2 moteurs vibrants et de grilles à fissures, le couloir d'essorage fait avancer le sable sur toute sa longueur. La goulotte de sortie REP 6 récupère les sables égouttés. Les passants de l'essoreur retournent dans la cuve.

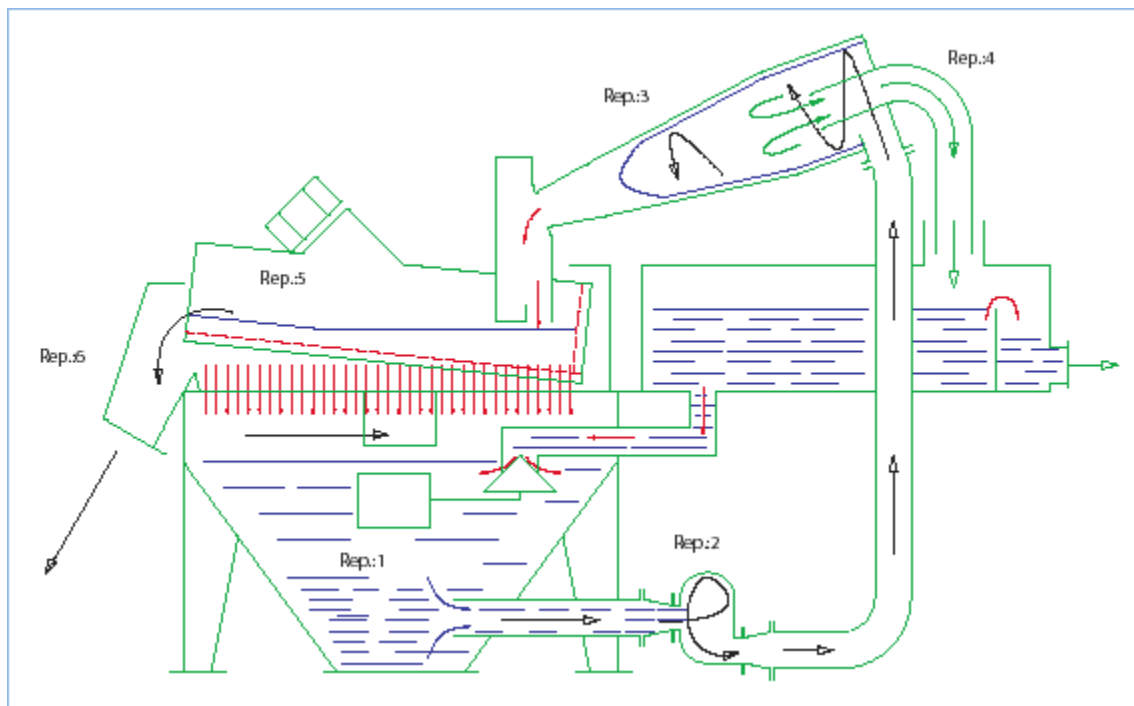


Figure I.1.

Schéma de principe du laveur –

classificateur de sable COANDA [7].

Le hydrocyclone pour sables est utilisé en aval des dispositifs de dessablage pour le drainage plus important des eaux, du sable en sortie. Il a plusieurs applications industrielles qui vont du dessablage au criblage, au filtrage, à la mouture. L'hydrocyclone est constitué d'une volute d'entrée de l'eau, d'un corps tronc-conique et d'une soupape manuelle en correspondance de la décharge des sables. L'eau, à travers la volute, entre tangentielllement à l'hydrocyclone et, créant un tourbillon, sort en direction axiale.

La trajectoire circulaire selon laquelle l'eau bouge, crée une poussée centrifuge qui étant proportionnelle à la densité du matériau, pousse le plus les sables sur les parois latérales du corps tronc-conique par rapport à l'eau. Par conséquent, les sables descendent, par gravité, vers le bas le long des parois de l'hydrocyclone, et l'eau remonte dans la partie centrale vers la sortie, sous la pression dynamique de l'eau en entrée. Un exemple d'application voit l'hydrocyclone monté en entrée de l'extracteur des sables ; dans ce cas, l'hydrocyclone effectue une première séparation du sable-eau d'égout et l'extracteur des

sables suivant résulte de puissance mineure. Un soin spécial est apporté au travail des surfaces internes de la machine, ainsi qu'au choix du rapport entre la section d'entrée, le diamètre du cyclone et le diamètre de la volute. Plus précisément, ces dimensions géométriques sont définies chaque fois sur la base du débit d'exercice, afin de maximiser les rendements. La simplicité de la construction de cette machine, l'absence de parties mécaniques en mouvement et l'absence du moto-réducteur garantissent de bas coûts d'installation et d'entretien et le fonctionnement durable. Les parties qui composent l'hydrocyclone sont réalisées en acier spécial anti-abrasion ou revêtues intérieurement avec des matériaux anti-abrasion [8].

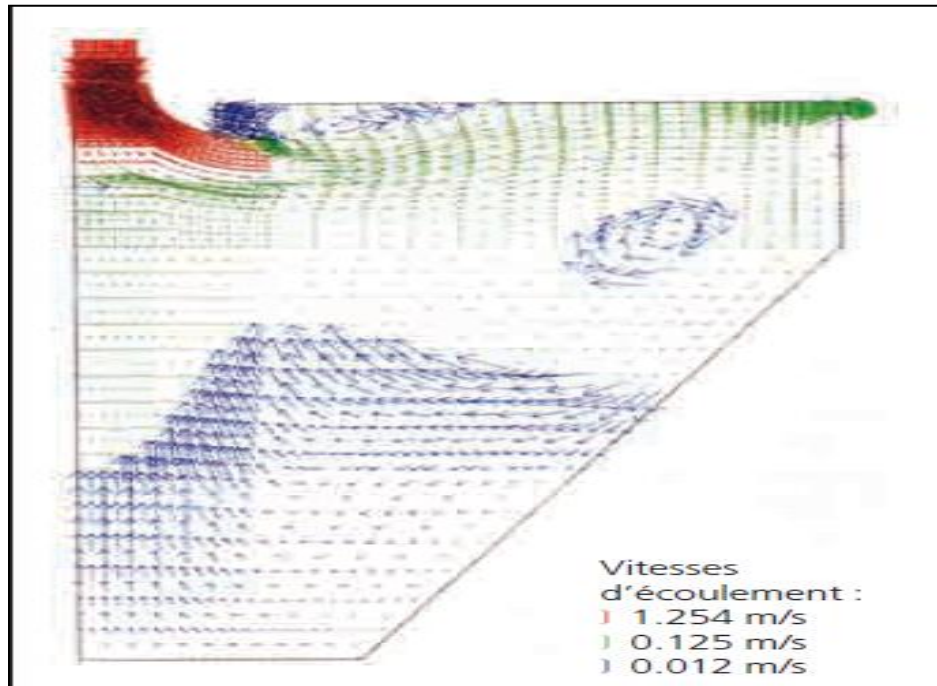


Figure I.2. Vitesses d'écoulement générées par une tulipe Coanda [8].

Les particules décantent alors en fonction de leur dimension et de leur vitesse de descente et quittent le flux généré par la tulipe pour arriver dans une zone où les vitesses d'écoulement sont extrêmement faibles. Ces conditions hydrodynamiques particulières permettent d'atteindre un degré de séparation de plus de 95 % des grains de sable d'une granulométrie de 200 μm .

La décantation des particules dépend de la vitesse de descente des solides à séparer (influence de la densité et de la dimension des particules - avec pour conséquence la décantation des matières minérales et organiques malgré des vitesses d'entraînement parfaitement maîtrisées).

La glissière en spirale est conçu pour classer les matériaux fins dans une gamme de 0.02mm à 0.3mm incluant minerai d'or, minerai d'argent, tungstène, tantale, niobium, charbonnage, monazite, rutile, zircon, le sable de silice, minerais de cuivre, etc. C'est une pièce clé de l'équipement de concentration par gravité pour une utilisation pour métaux non ferreux, métaux ferreux et minerais non métalliques aussi bien que dans les industries de métaux rares.

Figure I.3. Photographie d'un schéma du laveur –classificateur de sable.

As tec		
As		
As environnemental	<p>plus en centre de traitement.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Quantité faible de matières organiques dans le sable lavé. • Sable lavé à 90 % de siccité. •Pour les installations avec traitement d'eau, abattement important de la pollution sur site, pas de perturbation du fonctionnement des 	

	stations d'épuration.	
Aspect organisationnel	•équipements potentiellement mobiles.	• Appareillages encombrants.

I.4.1.2. Avantages et inconvénients

d'un laveur de sables

Tableau I.1. Avantages et inconvénients d'un laveur de sables [6].

I.4.2.Le séchage

Le séchage est une opération unitaire qui consiste à éliminer totalement ou partiellement un liquide imprégnant un matériau. Il permet de réduire considérablement la masse et le volume des produits ce qui facilite leur transport, stockage et manutention, Il est alors défini comme étant un double transfert de chaleur et de masse. Il sert aussi à stabiliser, transformer et à donner une texture ou une fonctionnalité particulière au produit. Le séchage est utilisé pour des produits très différents comme les matériaux granulaires, les produits liquides, les matériaux pâteux, etc.

Le choix d'une technologie de séchage résulte d'un compromis technique et économique. Il repose sur plusieurs critères comme le mode de fonctionnement du séchoir, le temps de séjour, l'état du matériau dans le séchoir, la structure du produit humide, etc. [9].

Les opérations de séparation liquide-solide peuvent être classées en trois types :

I.4.2.1.La déshydratation mécanique

Les techniques de séparation mécanique ignorent les effets thermiques. Ces techniques de séparation liquide-solide se classent en trois grandes familles :

- Décantation = séparation sous l'effet de la gravitation,
- Centrifugation = séparation sous l'effet d'une force centrifuge, la phase fluide s'évacuant en écoulement libre (décantation centrifuge) ou au travers d'un milieu poreux (essorage),
- Filtration = séparation par écoulement de la phase fluide au travers d'un milieu poreux, l'écoulement étant assuré par une force de pression.

I.4.2.2.Le séchage chimique

Le milieu sèche au contact d'un élément chimique hydrophile, ce dernier absorbe et retient l'eau.

I.4.2.3.Le séchage thermique

L'eau du produit s'évapore grâce au transfert de chaleur, l'apport d'énergie se fait selon trois modes différents :

I.4.2.3.1 Séchage par conduction

L'énergie thermique nécessaire au chauffage est apportées par contact avec une paroi chauffée ; les vapeurs dégagées par le produit durant le séchage sont aspirées ou entraînées par un gaz de balayage,

I.4.2.3.2 Séchage par convection

Il consiste à mettre en contact un gaz chaud avec le produit.

I.4.2.3.3 Séchage par rayonnement

L'énergie est apportée au produit à sécher par des ondes électromagnétiques. Les rayonnements utilisés sont du type infrarouges, hautes fréquences ou micro-ondes [10].

I.4.2.4. Modes de séchage

Quant à le séchage thermique, et ça le cas de notre unité, deux mécanismes peuvent être mis en œuvre pour éliminer l'eau d'un produit : l'ébullition ou l'entraînement. L'idée la plus simple consiste à porter le produit à la température d'ébullition de l'eau, qui alors se vaporise. Mais pour obtenir une élimination poussée de l'eau sans altération excessive de la qualité des produits, on préfère bien souvent opérer à température plus basse en utilisant l'air comme gaz d'entraînement. Quel que soit le mode de séchage, c'est la pression de vapeur d'eau dans le produit qui détermine les échanges entre l'air et le produit.

I.4.2.4.1. Séchage par ébullition

Dans ce cas, le mécanisme mis en œuvre pour vaporiser l'eau d'un matériau est l'ébullition. L'ébullition a lieu lorsque la température du matériau est à une valeur telle que la pression de vapeur d'eau en équilibre avec ce matériau P_v , est égale à la pression totale ambiante P_t :

$$P_v = P_t \quad (1)$$

Il découle de cette définition que, la température d'ébullition $T_{éb}$ dépend à la fois de la pression totale et de l'activité de l'eau, selon la formule :

$$P_v = a_e P_s(T) = P_t P_s(T) \quad (2)$$

Étant la pression de vapeur saturante de l'eau pure à la température T du matériau.

Ce mode de séchage est typique du séchage par contact à fort flux, ou en atmosphère de vapeur (ou à faible débit d'air), ou du séchage par vapeur d'eau surchauffée, et/ou d'autres situations où le flux de rayonnement est élevé [11].

I.4.2.4.2. Séchage par entraînement

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (air le plus souvent) suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle d'eau tel que :

- le gaz apporte au produit une partie au moins de l'énergie nécessaire à l'élimination de l'eau;
- l'eau est évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau. La vapeur d'eau est transférée par diffusion et convection du produit dans le milieu ambiant et est ensuite entraînée par le gaz.

La température de surface du produit reste toujours inférieure ou égale à celle de l'air et donc nettement inférieure à la température d'ébullition de l'eau [9].

I.4.2.5.Approche énergétique

La technique de séchage dépend souvent de la forme ou de l'état physique du produit à sécher. Cependant, plusieurs remarques doivent aider l'industriel quant au choix de cette dernière.

Cette opération nécessite un apport thermique important pour amener l'eau à se retirer du produit et pour assurer le transfert de masse. Généralement, le solvant évaporé est de **l'eau**. Aussi, la demande énergétique de ce procédé est à minima de 1 kg de vapeur par kg d'eau évaporée. Ce changement de phase liquide-gaz, complétée par la faible efficacité de ce type de procédé, rend l'opération **très coûteuse en énergie** (jusqu'à **plus de 1 000 kWh par tonne d'eau évaporée**).

Il est tout d'abord indispensable de bien connaître l'état de siccité final du produit à sécher. En effet, le séchage thermique ne se révélera pas indispensable dans le cas d'une faible siccité terminale (inférieure à 40 %). D'un autre côté, il s'avère souvent avantageux de diminuer la teneur en eau du produit par voie mécanique (séparation mécanique) avant tout séchage thermique, beaucoup plus coûteux. La maîtrise de l'énergie passe également par la substitution d'une forme d'énergie à une autre, ou l'utilisation simultanée ou alternée de plusieurs modes de transfert de l'énergie, notamment à travers l'utilisation des Energies Radiantes (qui peuvent également être utilisées pour le chauffage préliminaire du produit).

Afin de sécher un produit, liquide ou solide, il faut fournir de la chaleur, de l'énergie.

Globalement on considère que les opérations de séchage consomment environ 15 % de l'énergie industrielle dans les pays développés. Cette part est importante et il faut essayer de trouver les moyens d'optimiser les procédés, dans une démarche économique mais aussi écologique.

Toutes les parties d'un même produit n'ont pas le même comportement vis à vis de l'eau. Cela varie aussi d'un produit à l'autre, suivant sa composition biochimique : certaines structures ou molécules retiennent l'eau plus que d'autres. Lorsque le produit est très humide, l'eau qu'il contient est qualifiée de "libre". Lors du séchage, l'eau libre se comporte comme de l'eau pure. Il suffit pour la vaporiser d'environ 2250 kJ/kg. Lorsque le produit est plus sec, l'eau est davantage retenue par celui-ci et on la qualifie de "liée". L'évaporation de cette eau est plus difficile et demande plus d'énergie.

Au cours du séchage c'est d'abord l'eau libre qui va être évaporée, puis l'eau de plus en plus liée : aussi la quantité d'énergie nécessaire pour vaporiser la même quantité d'eau augmente au cours du séchage. Le dernier gramme d'eau évaporé coûte beaucoup plus d'énergie que le premier [12-13-11].

I.4.2.6. Etats de l'Eau dans les Milieux Poreux

L'opération de séchage s'applique aux produits qui ont une structure permettant la fixation de l'eau, ces produits sont souvent de nature capillaro-poreuse, c'est-à-dire, pendant que l'humidité est retirée ils deviennent fragiles, toujours incompressibles, et peuvent être transformés en poudre (sable, charbon de bois).

Pour caractériser un matériau poreux en termes de transferts, il est important de définir un certain nombre de paramètres physiques caractérisant la structure géométrique de la matrice de ce milieu et les interactions entre celle-ci et les phases fluides qu'elle contient.

Dans notre cas, ces phases sont au nombre de deux : l'eau liquide dont les interactions avec la matrice solide sont d'origine hydrodynamique ou capillaire (eau libre) et d'origine intermoléculaire ou chimique (eau liée), et une phase gazeuse (air humide) constituée d'un mélange d'air sec et de vapeur d'eau. L'ensemble regroupant l'eau libre, l'eau liée et la vapeur d'eau contenues dans un milieu poreux est communément appelé "eau titrable" et correspond aux molécules d'eau qui peuvent être évacuées du milieu considéré par déshydratation thermique (à l'opposé de l'eau dite de constitution qui ne peut être évacuée que lors d'une opération de calcination).

I.4.2.6.1. L'eau libre

Elle remplit la majeure partie des pores de la structure du milieu et est retenue sous forme de liquide par des forces d'origine capillaire.

I.4.2.6.2. L'eau liée

Elle est adsorbée physiquement en couche multimoléculaire par des forces du type Van Der Waals ou de nature électrostatique sur, et parfois dans, les parois de la structure. Elle peut aussi être retenue par des forces capillaires fortes ; c'est le cas dans des pores de dimensions caractéristiques d'ordre inférieur ou égal au micromètre environ, pour lesquels les forces internes engendrées par une opération de séchage ne suffisent pas à surpasser les forces capillaires en présence.

I.4.2.6.3. La vapeur d'eau

Elle est mélangée avec l'air sec et occupent les espaces libérés par l'eau libre, l'eau liée et la matrice solide.

De façon à quantifier l'eau titrable locale présente dans un milieu poreux, le paramètre retenu est la *teneur en eau* (base sèche), définie par le rapport de la masse d'eau titrable sur la masse du produit sec.

$$X = \text{masse d'eau titrable} / \text{masse de produit sec} \quad (3)$$

Pour distinguer les différentes quantités d'eau libre, d'eau liée et de la vapeur d'eau, les trois paramètres suivants sont considérées :

- La **saturation** définie par le rapport entre le volume d'eau libre sur le volume de pore :

$$S = \varepsilon l / \phi \quad (4)$$

Où ϕ est la porosité du milieu et εl est la fraction volumique d'eau libre. Pour un milieu saturé en eau libre, la valeur de la saturation est l'unité et elle décroît jusqu'à zéro au cours de l'évacuation de cette eau par séchage.

- La **fraction massique de la vapeur** dans la phase gazeuse (air sec+vapeur). Elle est définie en base humide :

$$C v = \text{masse de vapeur} / \text{masse d'air humide} \quad (5)$$

Cette grandeur est définie à la fois dans le milieu poreux et dans son environnement. Il est couramment admis que pour des fortes teneurs en eau du milieu, la valeur de ce paramètre est égale à la concentration de la vapeur saturante C_{sat} qui dépend-elle-même fortement de la température.

- La **teneur en eau liée** définie par

$$X b = \text{masse de l'eau liée} / \text{masse du produit sec} \quad (6)$$

I.4.2.7. Aptitude de séchage

Du point de vue "aptitude de séchage", il peut être intéressant de classer les milieux poreux en termes de niveau d'hygroscopicité (fixation de l'eau liée sur la structure solide du milieu). Nadeau et Puiggali (1995) ont classé les matériaux suivants en trois catégories :

- Les milieux poreux non hygroscopiques** : les pores sont a priori de dimensions supérieures au micromètre et la matrice solide de ces milieux n'est pas hydrophile. La quantité d'eau liée est négligeable devant la quantité d'eau libre. Ce sont, par exemple, des lits de sable ou de billes de verre.
- Les milieux poreux hygroscopiques** dont les rayons des pores varient entre un nanomètre et quelques dizaines de micromètres et/ou dont la matrice solide est hydrophile. La quantité d'eau liée est non négligeable devant la quantité d'eau libre, les pores dont le rayon est inférieur au rayon d'action des forces de sorption étant même saturés d'eau liée. Ce sont, par exemple, le bois ou l'argile.
- Les produits à porosité nanométrique** dont la taille des pores ne permet pas la présence d'eau libre. Dans cette catégorie peuvent se classer de nombreux produits agroalimentaires tels que les gels [10-14-15].

I.4.2.8. Transport de l'Eau lors du Séchage

Le but du séchage est d'extraire le liquide du produit à sécher. Pour ce faire, le liquide se déplace tout d'abord de l'intérieur vers la surface du produit. Ensuite, il est arraché de la surface par le fluide séchant. Le déplacement de l'humidité dans le corps poreux se décompose en une migration de liquide et une migration sous forme de vapeur.

I.4.2.8.1. Migration du liquide

Dans l'absolu, le déplacement de l'eau libre dans le solide est dû au gradient de pression dans cette phase ainsi qu'à la gravité. Cet écoulement est régi par la loi de Darcy. Dans le cas de matériaux à faible perméabilité, les effets gravitaires peuvent être négligés.

I.4.2.8.2. Migration de la vapeur

A partir d'un certain stade de séchage, l'humidité se déplace sous forme vapeur. Le mode de déplacement de la vapeur d'eau varie avec la nature et la concentration en humidité du corps à sécher.

- ✚ **Écoulement du gaz (vapeur + air sec)** : tout comme l'eau liquide, la phase gazeuse s'écoule sous l'effet d'un gradient de pression de cette phase (loi de Darcy),
- ✚ **Diffusion de la vapeur** : la diffusion de la vapeur dans l'air humide est provoquée par un gradient de concentration en vapeur d'eau ; elle obéit à la loi de Fick. Ce type de diffusion s'observe pour les solides à pores très larges. Dans le cas contraire, cette diffusion devient du type Knudsen. Elle intervient dans un milieu poreux possédant des pores très fins, de diamètre faible devant le libre parcours moyen des molécules de vapeur d'eau.

I.4.2.9. Loi de transport macroscopique

Beaucoup d'auteurs proposent de décrire la migration de l'eau titrable à l'aide d'une loi de Fick dans laquelle un coefficient de transport macroscopique est introduit. Par analogie avec la diffusion moléculaire le coefficient de transport est appelé coefficient de diffusion. Il intègre toutes les contributions des divers modes de transport de l'humidité.

I.4.2.10. Evaporation à la surface

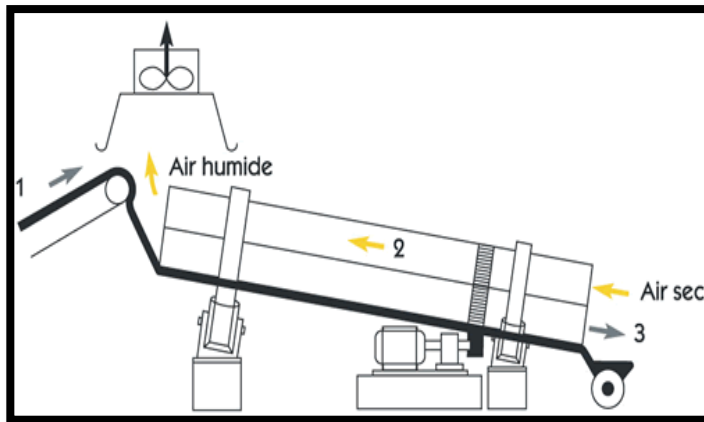
L'eau, ayant rejoint la surface par les divers moyens exposés ci-dessus, doit être entraînée par l'écoulement de l'air. Les échanges massiques et thermiques entre la surface du milieu poreux et le gaz d'entraînement, régissent tout le déroulement du séchage ; ils sont à l'origine de la migration de l'eau vers la surface. Leur influence est particulièrement importante dans la phase où les forces capillaires acheminent suffisamment de liquide pour que le front d'évaporation coïncide avec l'interface entre le corps poreux et l'air de séchage. Le passage de la matière de la surface au fluide se fait par diffusion et par convection.

Tous les modes de migration de l'eau dans le corps et à la surface, exposés ci-dessus, interviennent dans le processus de séchage soit simultanément, soit successivement et avec plus au moins d'intensité [14].

I.4.2.11. Description technique des sècheurs thermiques

Le nombre très important de produits à sécher (forme, état initial ...) a pour conséquence l'existence dans l'industrie de nombreux procédés industriels (dispositifs, type d'énergie ...).

La figure I.4, représente quelque types de sècheurs et leur destination ;



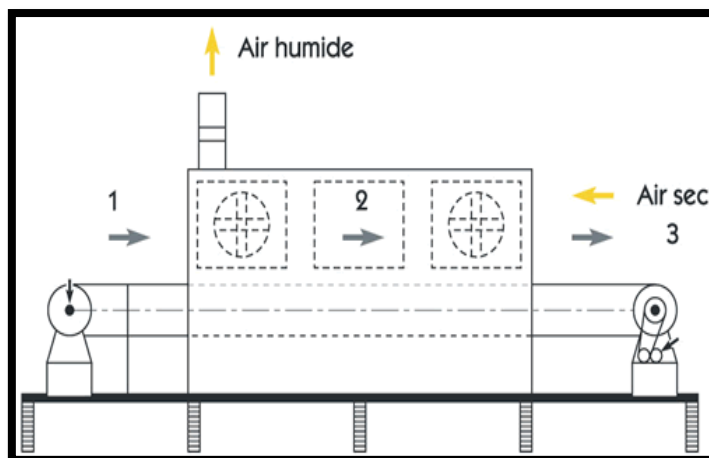
Cylindre chauffant

- 1. Entrée du produit humide
- 2. Produit demi-sec
- 3. Sortie du produit sec

Type de produit

Etat initial Produit **liquide, pâteux** ou **en bande**

Etat final Produit **pulvérulent** (flocons) ou **en bande**



Tambour rotatif

- 1. Entrée du produit humide
- 2. Produit en défilement

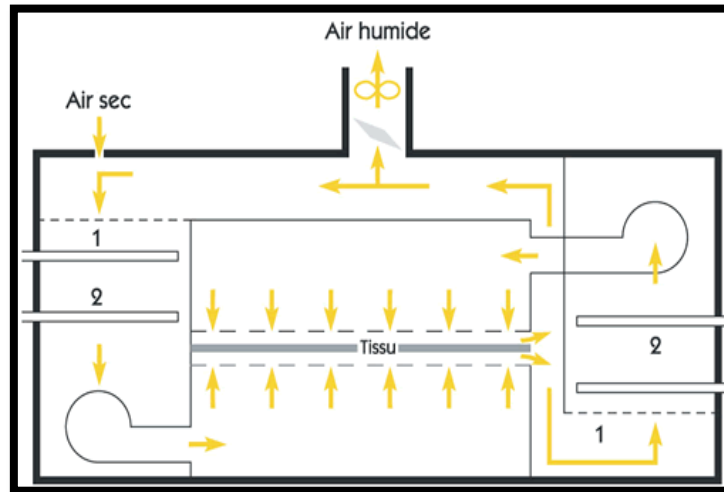
3. Sortie du produit sec

Type de produit

Produit **fibreux**

Produit **pulvérulent, granulaire**

Produit **pâteux**



Sécheur à bande

Séchage sur rame

1. Filtration de l'air

2. Chauffage de l'air

Type de produit : Produit en bande

Figure I.4. Représente quelques types de sécheurs et leurs destinations [12].

I.4. 3. Tamisage

Le tamisage est l'opération qui consiste à séparer un matériau en différentes fractions au moyen d'une série de tamis de caractéristiques connus.

On appelle tamisat (ou passant) la partie de matériau qui passe au travers du tamis et refus celle qui y est retenue.

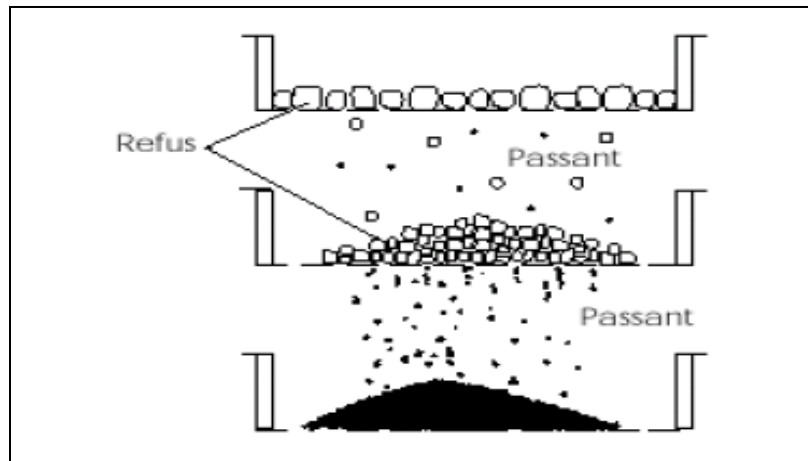


Figure I.5. Schéma représente le refus et le passant dans une opération de tamisage [5].

I.4. 3.1. Définition et représentation

On appelle analyse granulométrique l'opération permettant de déterminer :

- ❖ La granulométrie : c'est-à-dire la détermination de la grandeur des grains.
- ❖ La granularité : c'est-à-dire la répartition dimensionnelle des grains dans un granulat.

L'analyse granulométrique consiste à fractionner le matériau en différentes coupures au moyen de tamis. Les masses des différents refus sont rapportés à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de graphique (courbe d'analyse granulométrique).

Les tamis sont définis par la norme [EN 933-2]. Les ouvertures de mailles carrées permettent un classement granulaire. Les dimensions successives des mailles (carrées) suivent des progressions géométriques :

- ❖ De $^{10}\sqrt{10} \approx 1.25$ pour l'ancienne série française.
- ❖ De $10^{\frac{1}{20}} \approx 1.12$ pour la nouvelle série européenne.

Le module d'un tamis, dans le cas de l'ancienne série française, est le produit par 10 du logarithme décimal de l'ouverture exprimé en micron augmenté d'une unité (ex : le tamis de 5mm a pour module $10 \cdot \log(5000) + 1 = 38$).

On désigne par classe granulaire la fourchette de calibre comprenant 'le plus petit' et 'le plus gros' grain d'un même granulat d/D .

On désigne par coupure la fraction d_i/D_i d'un granulat de classe granulaire d/D . Ce terme est essentiellement employé par les carriers et en technique routière. Il permet de caractériser les opérations de criblage, mais est également souvent substitué au terme d'appellation d/D .

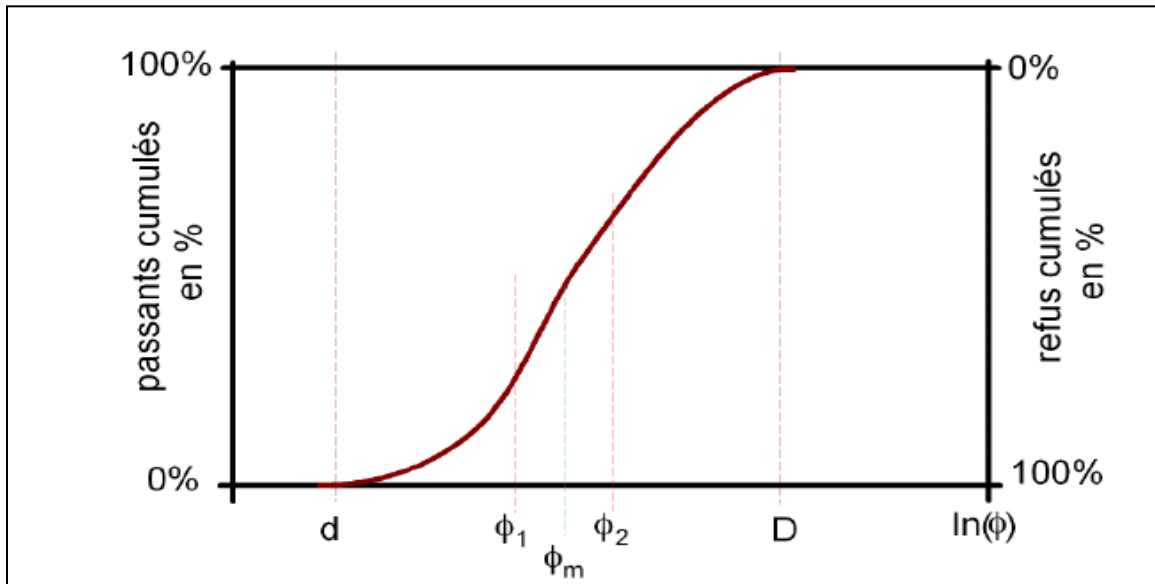


Figure I.6. L'effet de la taille des particules sur le rapport refus /passant [5].

Pour une coupure donnée on peut définir le diamètre moyen :

$$\phi_m = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \quad (7)$$

Une surface de criblage d'ouverture d_0 laissera passer le produit appelé « passant » et retiendra le produit appelé « refus », (on détermine la surface d'un crible en divisant le tonnage à passer par la capacité d'un m^2 de maille). Cette capacité dépend, de la densité, de la proportion de refus, de la proportion de matériaux fins, de l'arrosage, de la position de l'étage de criblage). Il est important de remarquer que :

- ✚ Le passant ne contient aucun élément supérieur à d_0 .
- ✚ Le refus contient des éléments inférieurs à d_0 appelés « déclassés » qui n'ont pas « eu le temps de passer ». Or, il n'y a pas de raison que seul le refus contienne des déclassés. Aussi on considère que la coupure effective s'est faite à une maille d inférieure à d_0 et telle qu'il y ait autant de déclassés dans le passant que dans le refus.

Ceci explique pourquoi la maille à disposer sur un crible est toujours supérieure à la coupure que l'on désire faire [5-16].

I.4. 3.2. Le tamiseur centrifuge

I.4. 3.2.1.Principe de fonctionnement

Le produit, dosé régulièrement dans l'équipement, est transféré dans la chambre de tamisage par une vis de convoyage. Un rotor, muni de pales, projette le produit contre le tamis tubulaire.

Les fines particules passent au travers de la toile et sont collectées en sortie du tamiseur. Les particules, dont la granulométrie est supérieure à l'ouverture de la toile du tamis, sont acheminées par les pales vers la sortie refus.

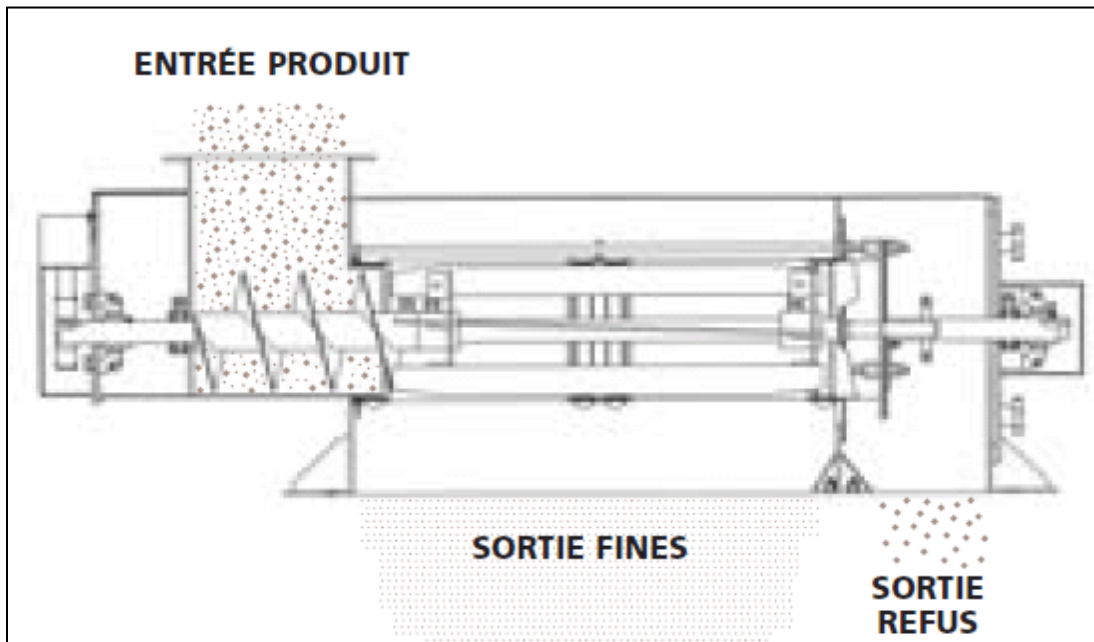


Figure I.7. Tamiseur centrifuge [16].

I.4. 3.2.2.Performances d'un tamiseur

Le débit d'un tamiseur dépend de sa taille, de la maille du tamis et de son application : tamisage de sécurité ou coupe granulométrique. De plus, selon la nature des tamis, la surface passante sera différente pour une même ouverture. On peut classer par ordre décroissant les surfaces passantes des tamis synthétiques, des toiles inox et des tamis perforés en inox. Les débits sont proportionnels aux surfaces passantes [16].

I.4.4.Le broyage

Le broyage a comme but de réduire des morceaux de roches inférieurs à 5mm en une poudre moyennement fine ou très fine. Une poudre moyennement fine (granulométrie de sable fin).

Par très fine, on entend une poudre dont le grain, inférieur à 80 μm , n'est plus perceptible au toucher (entre le pouce et l'index). La perception tactile est identique à celle de la farine de blé. Une telle granulométrie est nécessaire pour la préparation d'une analyse chimique.

Depuis une trentaine d'années, les matériaux nanostructurés (ou nanomatériaux) connaissent un intérêt grandissant, en raison de leurs propriétés physiques souvent plus intéressantes que celles des matériaux massifs de même composition, en raison de la taille nanométrique des cristallites et du volume important d'interfaces (jusqu'à 50 %), qui confèrent au matériau des propriétés physico-chimiques particulières et ouvrent des champs d'application nouvelles. Parallèlement, le développement de nouveaux procédés de synthèse de ces nanomatériaux, tels que le broyage à haute énergie, a connu un véritable essor. En effet, sous l'action de chocs répétés, les solides broyés peuvent développer une structure d'équilibre métastable dépendant, outre de la composition du matériau, de la température et de l'intensité de la sollicitation.

Afin d'améliorer le rendement énergétique des opérations de broyage, des actions au niveau mécanique sur l'installation sont réalisées. D'autres procédés sont mis en œuvre et consistent à ajouter des produits appelés agents de mouture à la matière au moment du broyage. Ces produits sont largement utilisés dans l'industrie minérale en général pour améliorer le rendement énergétique des opérations de broyage. Cependant, bien que leur mode d'action ait été cerné en partie grâce à des études spécifiques, leur utilisation reste empirique [17-18-19].

I.4.4.1.Principe

Le broyage à haute énergie consiste à agiter plus ou moins violemment, une poudre et des billes contenues dans une enceinte étanche. Sous l'effet des collisions, les grains de poudre sont alternativement déformés plastiquement, fracturés et recollés les uns aux autres, conduisant à un mélange des différents constituants. C'est le rapport des fréquences de fracture et de collage qui fixe la taille finale des agrégats de poudre. Ces trois phénomènes sont à l'origine de l'obtention d'une structure nanocristalline.

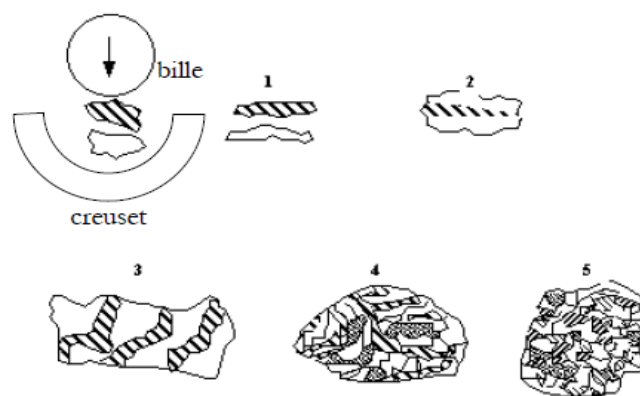


Figure I.8. Schéma de principe du broyage à haute énergie : alternance de déformations plastiques, fractures, collages [18].

La poudre subit donc, au cours du broyage, de sévères déformations plastiques qui engendrent la formation de nombreux défauts ponctuels (lacunes, interstitiels...), ainsi que des bandes de cisaillement constituées de réseaux de dislocations. Les dislocations se réorganisent en parois par annihilation et

recombinaison afin de former des sous-joints, et donc des sous-grains. On parle alors de polygonalisation des grains. , la taille des sous-grains diminue au cours du temps de broyage. Or, la contrainte minimale σ_p nécessaire pour déformer plastiquement un matériau peut s'écrire :

$$\sigma_p = S_0 + K/\sqrt{d} \quad (\text{Loi de Hall-Petch}) \quad (8)$$

Où S_0 et K sont des constantes dépendant du matériau, et d la taille des (sous)-grains. Lors du broyage, la contrainte de déformation plastique σ_p augmente au fur et à mesure de la diminution de d . Lorsque σ_p devient supérieure à la contrainte appliquée lors des chocs, cette dernière est alors insuffisante pour plastifier le matériau : la taille des sous-grains atteint alors une valeur limite, comprise usuellement entre 6 et 30 nm [20].

Cette valeur limite dépend de la nature du matériau broyé ; en particulier, pour un métal pur, on observe qu'elle est une fonction monotone de la température de fusion.

Au cours du broyage, quand la taille limite de (sous)-grains est atteinte, de nouvelles interfaces (sous-joints) ne peuvent plus se former. Pour les temps plus longs, le broyage entraîne alors une désorientation des (sous)-grains les uns par rapport aux autres par flux diffusionnel d'atomes le long des interfaces cristallines [18].

I.4.4.2. Modes de broyage

Les modes de broyage qui sont le plus connus sont la percussion, l'impact et la pression ou écrasement.

Le mode de broyage par percussion met en jeu l'énergie cinétique du milieu de broyage (parois et projectiles constitués de billes par exemple) ou celle des grains de poudre « en vol » dans l'enceinte du broyeur. L'intensité de l'énergie cinétique du corps broyant sur un grain ou d'un grain projeté sur une paroi conditionne la capacité du choc produit à fragmenter le grain en question. Sous les sollicitations imposées par percussion ou par impact, les grains, sont sujets à un mécanisme de fragmentation par rupture globale de leur volume. Cela réduit substantiellement la taille des grains. Ces modes de broyage permettent de produire une distribution granulométrique monomodale avec une population de grains assez large.

Dans le mode par écrasement, les grains sont soumis à des forces normales. Les contraintes sont concentrées dans un volume partiel à la surface de la particule. Ainsi le grain initial s'arrondit, et beaucoup de fines particules sont produites. Les broyeurs basés sur l'écrasement compriment les particules entre deux surfaces dont l'écartement mutuel diminue.

Toutefois le mode de broyage par frottement de grains entre eux ou entre deux billes existe aussi dans les broyeurs classiquement utilisés (broyeurs à boulets). Dans ce cas, la force appliquée est majoritairement tangentielle à la surface de la particule. Cela mène à la production de beaucoup de fines

particules due à l'érosion progressive de la surface des grains. De cette manière, la poudre obtenue présente une distribution de grains bimodale, car elle contient des grains de poudre dont la taille est proche des grains initiaux, ainsi que des grains très fins [19].

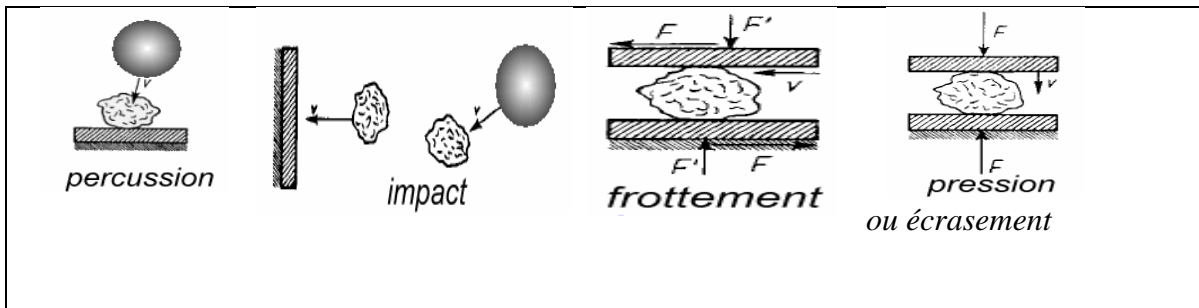
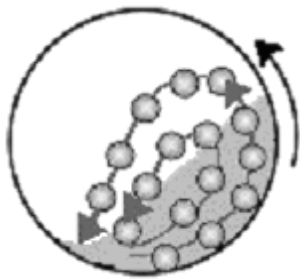


Figure I.9. Modes de broyage d'un grain de poudre selon Rumpf, lors de broyages mettant en jeu des boulets et/ou les parois d'un broyeur (source : Sté Fritsch) [19].

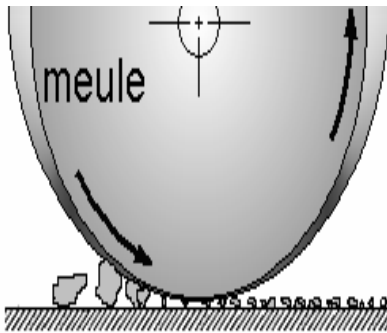
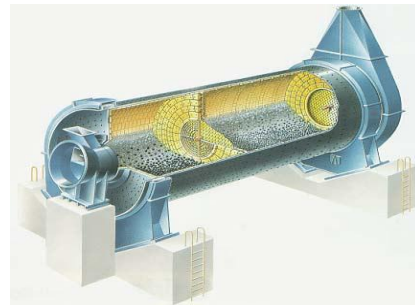
I.4.4.3. Systèmes utilisés pour le broyage

Plusieurs types de broyeurs sont employés : le tube-broyeur à boulets, le broyeur vertical à galets la broyeuse haute pression à rouleaux et le broyeur horizontal à rouleau. Chaque type de broyeur assure le broyage des grains de poudre grâce à la combinaison des modes de fragmentation cités dans la partie précédente : la percussion, l'impact, l'écrasement et le frottement. Ainsi le broyeur à boulets utilise les modes d'impact, de percussion et de frottement, les broyeurs à galets utilisent la pression et le frottement, les broyeuses hautes pressions à rouleaux et le broyeur horizontal à rouleau utilisent la pression.

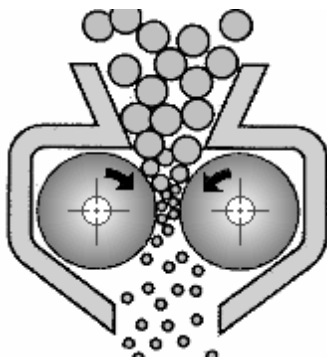
Le tube-broyeur à boulets est généralement divisé en deux compartiments recouverts de plaques de blindage en acier, le premier étant moins long que le deuxième. le premier compartiment, où des boulets en acier de tailles échelonnées ($\varnothing 80$ mm, $\varnothing 60$ mm et $\varnothing 50$ mm) sont utilisés comme corps broyants pour les grosses grains. Le deuxième compartiment assure le broyage fin à l'aide de boulets plus petits (inférieurs à 25 mm). Un diaphragme sépare les deux compartiments, et ne laisse transiter que les grains de taille suffisamment réduite pour procéder au broyage fin [21].



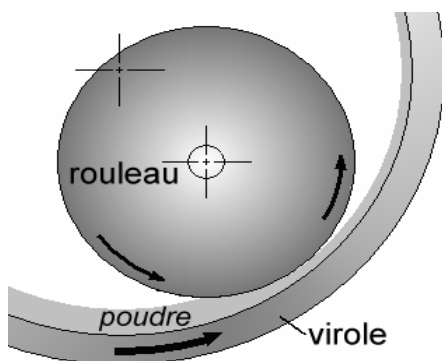
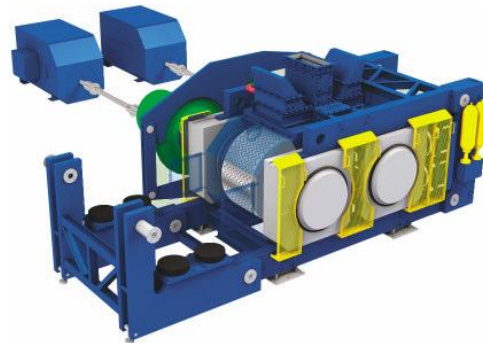
tube-broyeur à boulets à deux compartiments (source : Sté Fuller)



broyeur vertical à galets (source : Sté Fuller)



broyeur haute pression à rouleaux, « high pressure grinding rolls » (source : Sté FL Smidth)



broyeur horizontal à rouleau (Horomill ; source : Sté FCB)

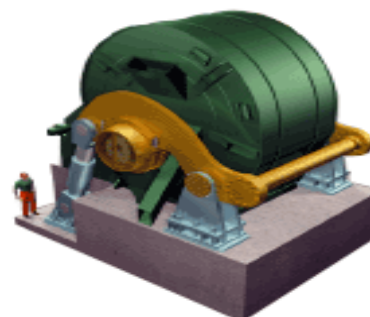


Figure I.10. Différents types de broyeurs utilisés pour le broyage de sable [19].

Dans le broyeur à boulets, les trois modes que sont la percussion, l'impact et le frottement sont plus ou moins mis en jeu selon la vitesse de rotation

utilisée. Il existe plusieurs états de broyage selon la vitesse de rotation. Parmi eux, si la vitesse est faible, un état de glissement de la matière donne lieu à un broyage par frottement. Lorsque la vitesse est trop importante, toute la matière est plaquée contre les parois du broyeur, et la fragmentation ne peut pas se produire. Dans un broyeur à boulets ayant une vitesse intermédiaire entre les deux précédentes, le régime de cascade est atteint.

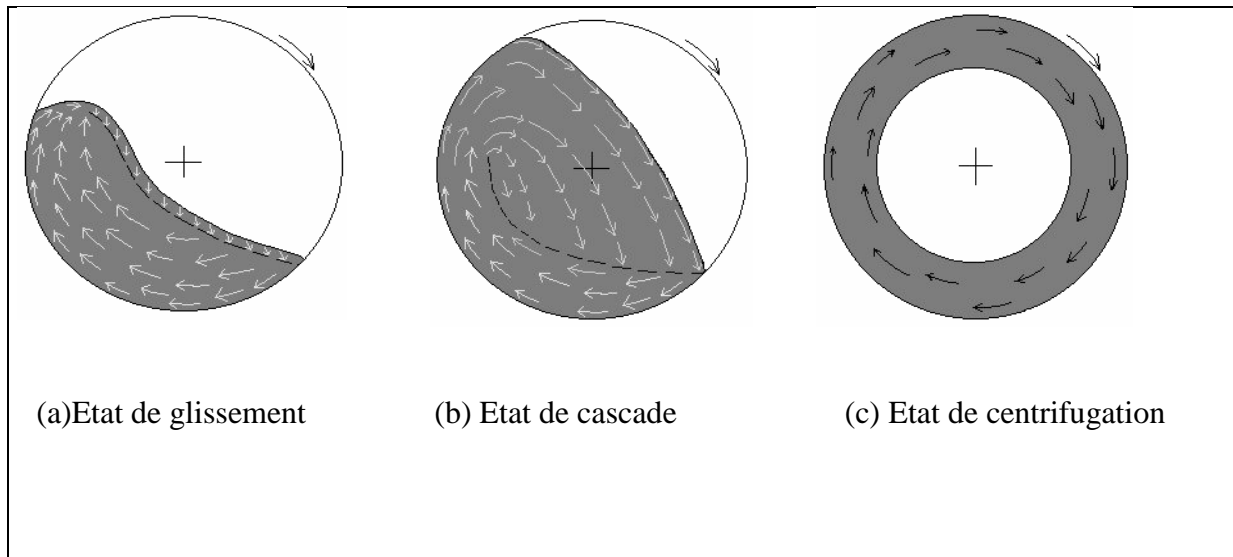


Figure I.11. Trois régimes différents possibles dans un broyeur à boulets : la vitesse de rotation croît de (a) à (c) [19].

Le rendement de broyage dans les broyeurs à boulets est faible, car une grande quantité d'énergie est libérée à cause de phénomènes inutiles pour la fragmentation. En effet, à cause des phénomènes de frottements entre les éléments dans le broyeur (corps broyant, revêtement, matière à broyer, air) une grande partie de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur dans l'enceinte du broyeur [19-22].

I.4.4.4. Conditions expérimentales du broyage

La qualité d'une analyse d'un produit ou matériau équivaut en règle générale à celle de la préparation d'échantillon qui l'a précédée. Lors du broyage des matières solides et pour une préparation optimale des échantillons, il faut par conséquent respecter divers paramètres: propriétés des matériaux, importance de la grosseur initiale des morceaux ou grains et du volume de l'échantillon, durée de broyage et finesse finale souhaitée, éventuelle usure des outils de broyage (sur le plan quantitatif et qualitatif), couts, etc. [22].

II. Impact environnemental des industries

II.1.Introduction

L'Algérie a connu un développement économique et démographique sans précédent .Le taux élevé d'accroissement de la population a engendré une urbanisation galopante et une croissance non contrôlée de l'industrie .Cela ne s'est pas fait sans conséquence sur l'environnement .De ce fait, le pays affronte aujourd'hui de nombreux problèmes liés à l'industrie et la protection de l'environnement et en particulier le problème de déchets solides industriels dans les grandes zones industrielles [23].

L'étude d'impact constitue l'outil privilégié de l'évaluation environnementale des travaux et projets d'aménagement.

II.2.Evaluation environnementale

L'évaluation environnementale dispose de nombreux outils. Parmi ceux-ci, l'étude d'impact sur l'environnement analyse les effets positifs et négatifs des projets de travaux et d'aménagement sur l'environnement et le cadre de vie.

Le droit de l'environnement oblige les maîtres d'ouvrage publics et privés à respecter l'environnement lorsqu'ils projettent des travaux et aménagements pouvant avoir des impacts sur l'environnement.

Le respect des préoccupations d'environnement est l'une des conditions du développement durable acté lors de la conférence de Rio-de-Janeiro en 1992.L'évaluation des risques majeurs doit être rédigée dans le cadre de l'élaboration du projet en conjonction avec l'évaluation des impacts sur l'environnement et se référer à celle-ci. Les objectifs de l'évaluation des risques majeurs prévus par les lignes directrices mentionnées ci-dessus se définissent de la manière suivante :

- ❖ préciser la nature des matières dangereuses employées dans l'usine ainsi que l'importance de cette utilisation;
- ❖ spécifier les dispositions prises pour assurer l'opération de l'usine en toute sécurité, le contrôle de tout écart important pouvant conduire à un grave incident ainsi que l'établissement de mesures d'urgence;
- ❖ déterminer la nature, les probabilités et les conséquences générales des accidents majeurs;
- ❖ faire la preuve que le promoteur a appréciée à sa juste valeur les principaux risques que représentent les activités de l'usine et a vérifié que les mesures de contrôle étaient satisfaisantes [24].

II.2.1.Les principaux fondamentaux du code environnemental

Le code de l'environnement pose le principe général de la protection de l'environnement en rappelant que:

- les espaces, ressources et milieux naturels, les sites et paysages, les espèces végétales et animales, la diversité et les équilibres biologiques font partie du patrimoine commun de la nation,
- leur protection, leur mise en valeur, leur restauration, leur remise en état et leur gestion sont d'intérêt général et concourent à l'objectif de développement durable qui vise à satisfaire les besoins de développement des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.

Il pose quatre principes fondamentaux qui s'appliquent directement à l'évaluation environnementale :

II.2.1.1.Le principe de précaution

L'absence de certitude, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable ;

II.2.1.2.Le principe d'action préventive

Et de correction, par priorité à la source des atteintes à l'environnement, en utilisant les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable ;

II.2.1.3.Le principe pollueur-payeur

Les frais résultant des mesures de prévention, de réduction de la pollution et de lutte contre celle-ci sont supportés par le pollueur ;

II.2.1.4.Le principe de participation

Chaque citoyen doit avoir accès aux informations relatives à l'environnement, y compris celles relatives aux substances et activités dangereuses [25].

II.3.La pollution industrielle

II.3.1.Définition

La pollution c'est l'introduction, directe ou indirecte, d'un polluant dans un milieu déterminé. Le résultat de cette action, présence de polluant dans le milieu, comme exemple, la pollution chimique, biologique et la pollution physique.

Ces trois types de pollutions, qui touchent l'air, l'eau, le sol, les aliments, sont le plus souvent la conséquence d'activités humaines [1].

II.3.2.Classification de la pollution selon le milieu qu'elle contient

II.3.2.1.La pollution de l'air

La pollution de l'air est due à la présence de polluants dans les plus basses couches de l'atmosphère. Ces polluants sont des gaz ou des particules. Cette pollution est néfaste pour l'environnement et pour tous les êtres vivants. À grande échelle, la pollution de l'air contribue au réchauffement de la planète par effet de serre, au trou de la couche d'ozone et à la formation de pluies acides. Par ailleurs, la pollution atmosphérique a des conséquences directes sur la santé des hommes (difficultés respiratoires, etc.), sur le bétail et sur les récoltes.

II.3.2.2. La pollution de l'eau

La pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade la qualité. La pollution dans l'eau inclut toutes les matières superflues qui ne peuvent être détruites par l'eau naturellement. Autrement dit, n'importe quelles matières ajoutées à l'eau qui est au-delà de sa capacité à le détruire sont considérées comme de la pollution. La pollution peut, dans certaines circonstances, être causée par la nature elle-même, comme lorsque l'eau coule par des sols qui ont un taux élevé d'acidité. Par contre, la plupart du temps ce sont les actions humaines qui polluent l'eau.

II.3.2.3. La pollution du sol

La pollution des sols résulte de plusieurs facteurs, tout d'abord, on trouve les micropolluants, d'origine organique qui sont absorbés par le sol et qui s'infiltrent jusqu'aux nappes phréatiques.

Par ailleurs les métaux qui dégradent le sol, sont d'origine naturelle ou sont issus de l'activité humaine, tout comme les pesticides employés dans l'agriculture [26].

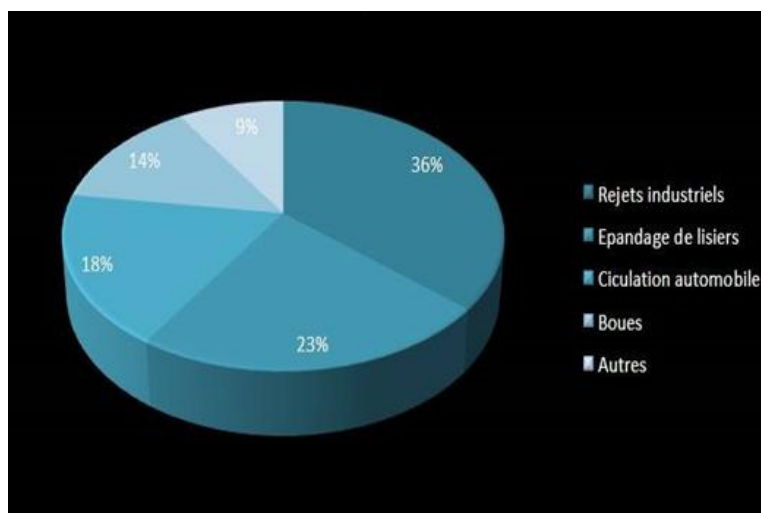


Figure II.1. Les causes de pollution du sol [23].

II.3.3. Classification de la pollution selon sa nature

II.3.3.1. La pollution chimique

Les risques chimiques constituent une famille particulièrement importante tant au niveau professionnel qu'à celui de l'environnement, par suite de l'emploi de plus en plus fréquent de produits chimiques qui, à des degrés divers, sont tous dangereux pour l'homme comme pour la nature tout entière.

Tout produit chimique crée un risque pour tous ceux qui, de près ou de loin, s'y trouvent exposés.

De nos jours, plus de 6 millions de produits chimiques sont fabriqués et utilisés de par le monde pour un tonnage de l'ordre de 400 millions de tonnes. Les États-Unis à eux seuls fabriquent plus de 1 200 nouveaux produits par an. Ces chiffres expliquent l'importance des risques chimiques dans le monde [27].

Les produits chimiques présentent deux familles de risques qui sont :

- les risques d'intoxication accidentelle ou chronique ;
- les risques d'incendies-explosions dus aux réactions chimiques dangereuses [23].

Parmi les polluants les plus dangereux et fréquemment trouvés sont :

- des composés inorganiques : monoxyde de carbone, ozone, oxydes d'azote, métaux lourds ;
- des composés organiques : solvants, benzène, toluène, xylène, éthers de glycols, pesticides, hydrocarbures aromatiques polycycliques [28].

II.3.3.2. La pollution biologique

Les risques biologiques sont les infections ayant pour origine les micro-organismes pathogènes rencontrés en milieu de travail. De nombreuses activités professionnelles exposent les salariés aux microbes pris dans un sens général et certains germes engendrent des pathologies qui sont considérées comme des maladies professionnelles et prises en charge comme telles.

II.3.3.2.1. Les agents biologiques pathogènes

Les agents biologiques ou micro-organismes, appelés également microbes ou germes, sont des organismes vivants de taille et de forme variables, qui ont la faculté de se multiplier par reproduction et qui engendrent des maladies par les toxines qu'ils peuvent sécréter.

Les différents micro-organismes rencontrés dans la nature appartiennent aux catégories suivantes, classées dans l'ordre des tailles moyennes croissantes. Parmi les agents biologiques le plus connus sont les virus et les champignons surtout au sein de l'industrie pharmaceutique [29].

II.3.3.3. La pollution physique

Ce titre regroupe un certain nombre de risques professionnels ayant pour origine des phénomènes physiques bien connus. Ces risques sont différents les uns des autres tant par l'origine que par leurs caractéristiques ainsi que les mesures de prévention qu'ils nécessitent.

Les risques physiques sont :

- les risques dus aux vibrations mécaniques transmises par les solides et les liquides. Ils sont à l'origine de plusieurs maladies professionnelles ; les accidents du travail existent seulement pour des vibrations de grande intensité. Les vibrations sont un phénomène très fréquent ;
- le risque de surdité, variante de la précedente ; les vibrations sont transmises par l'air et les atteintes se font essentiellement au niveau des oreilles. Un seul tableau de maladies professionnelles concerne ce risque très répandu ;
- les risques électriques bien connus mais qui, dans certaines conditions, peuvent être particulièrement graves ;
- les risques dus aux rayonnements ionisants, autrement dit la radioactivité. Par rayonnements ionisants, il faut entendre deux phénomènes différents, une émission de particules solides et un rayonnement électromagnétique ;
- les risques dus aux rayonnements électromagnétiques non ionisants, qui sont pour certains encore mal connus quant à leur effet sur l'organisme humain ;
- quelques autres risques professionnels dus aux travaux en atmosphère surpressée (hyperbare) ou en dépression (avions), aux rayonnements thermiques, etc.

La pollution physique de l'air est principalement due aux particules, au radon, élément radioactif, et aux champs électriques et magnétiques. On considère que l'effet sanitaire principal des particules est d  à leur taille ou à leur forme et non à leur composition chimique [28-30].

II.3.3.3.1. Poussières

Bien qu'elles soient un mélange complexe de substances organiques et minérales, les poussières sont classées en fonction de leur diamètre aérodynamique. On s'intéresse particulièrement aux particules dites grossières de diamètre compris entre 2,5 et 10 μm désignées par PM10, aux particules fines de diamètre compris entre 1 et 2,5 μm et aux particules ultrafines de 1 et moins de 1 μm . Comme mentionné précédemment, l'air extérieur est chargé de nombreuses particules de nature, de taille et d'origine très différentes représentant un risque sanitaire grave. Une relation significative entre les niveaux de PM10 et de PM2,5 et les variations du nombre journalier d'hospitalisation pour des problèmes respiratoires ou des troubles cardio-vasculaires a été mise en évidence.   ces aérosols de l'air extérieur s'ajoutent des poussières produites par des sources intérieures : tabagisme, activités de bricolage, cuisson, nettoyage, chauffage au bois, squames d'animaux, aérosols issus des réactions chimiques entre polluants gazeux.

Les concentrations particulières pondérales de l'air intérieur sont difficiles à quantifier et même à évaluer. Les teneurs sont influencées par les échanges d'air entre l'extérieur et l'intérieur et par les conditions de ventilation. Les particules ultrafines ne sont pas encore systématiquement évaluées, seuls quelques appareils permettent leur dénombrement [29].

Les poussières se déposent et sont remises en suspension dans l'air quand les individus se déplacent ou quand on ouvre une porte particulièrement la porte d'entrée. Des expérimentations menées dans une pièce sur des particules ($d \geq 0,5 \mu\text{m}$) produites *in situ* avec un renouvellement d'air régulier montrent que, pour une même vitesse d'air, la cinétique de déposition des particules augmente lorsque la pièce est meublée en particulier pour les particules les plus fines qui se déposent sur les surfaces horizontales et verticales alors que les particules plus volumineuses s'éliminent sur le sol par gravimétrie. Lorsque la vitesse de l'air augmente (de 5 cm/s à 19 cm/s), la cinétique de déposition augmente plus pour les particules les plus volumineuses. Selon leur diamètre, les poussières pénètrent plus ou moins profondément dans le système respiratoire. Plus les particules sont fines, plus elles pénètrent profondément dans les poumons et plus elles y restent longtemps, certaines toujours. Les poussières supérieures à 10 μm sont arrêtées par les poils du nez et par les muqueuses nasales et la partie qui se dépose dans les poumons est évacuée par les cils qui tapissent la surface intérieure des voies respiratoires. Les PM5 restent à 95 % dans les zones extrathoraciques, 5 à 10 % pénètrent dans la trachée et les bronches, moins de 5 % atteignent les alvéoles.

Les poussières fines peuvent parvenir jusqu'aux alvéoles et y rester donnant une coloration noirâtre de la surface externe du poumon, elles peuvent être à l'origine de pathologies telles qu'une limitation de la fonction pulmonaire, l'affaiblissement du système immunitaire, l'inflammation et la détérioration du tissu pulmonaire, l'inflammation des voies aériennes, l'augmentation de la viscosité du plasma, une vasoconstriction artérielle, l'exacerbation de l'asthme, des épisodes de toux, des troubles cardiovasculaire, le cancer du poumon. Le Pr Peter Gehr, directeur de l'institut d'anatomie de l'université de Berne, a montré que les poussières ultrafines inférieures à 0,1 μm peuvent pénétrer dans les globules rouges et les cellules et atteindre le noyau cellulaire dans lequel est stockée l'information génétique, elles peuvent donc se propager dans tout l'organisme des organes jusqu'au cerveau.

Les poussières par ailleurs contiennent des toxines, des spores, des champignons des agents pathogènes, des métaux lourds. Les PM inférieures à 2,5 μm contiennent 85 % de matière organique dont certaines substances dangereuses comme des pesticides, des hydrates de carbone aromatiques polycycliques.

D'après l'OMS, une augmentation de 10 µg/m³ du niveau des PM₁₀ augmente le risque de décès pour cause cardio-vasculaire de + 0,9 % et pour cause respiratoire de + 1,3 %, la même augmentation en PM_{2,5} conduisant à des augmentations de + 9 % et de 14 % respectivement. On estime ainsi que l'exposition aux PM_{2,5} réduit l'espérance de vie [29-28].

Des valeurs guides données par l'OMS correspondent à des objectifs acceptables et réalisables :

PM _{2,5}	PM ₁₀
10 µg/m ³ (moyenne annuelle)	20 µg/m ³ (moyenne annuelle)
25 µg/m ³ (moyenne sur 24 h)	50 µg/m ³ (moyenne sur 24 h)

Tableau II.1. Des valeurs guides de l'OMS [28].

Pour les PM₁₀ l'Union européenne a défini les valeurs limites suivantes :

Limite journalière moyenne	50 µg/m ³	
Nombre de jours de dépassement autorisés	Max 35 (depuis le 01/01/2005)	Min 7 (01/01/2010)
Limite annuelle moyenne	40 µg/m ³ (01/01/2005)	20 µg/m ³ (dès 01/01/2010)

Tableau II.2. Les valeurs limites pour la poussière [28].

Pour les particules PM_{2,5}, les députés et le conseil ont défini dans un premier temps une valeur cible de 25 µg/m³ valable dès 2010. À partir de 2015 cette valeur deviendra une limite contraignante. Le Parlement européen a proposé une deuxième valeur indicative de 20 µg/m³ à atteindre le 1er janvier 2020 qui sera révisée par la Commission en 2013. Par ailleurs le mesurage des poussières va intégrer l'analyse chimique [31].

II.3.3.3.2. Bruit

Le bruit est reconnu aujourd'hui comme un mal du siècle, pouvant avoir des effets particulièrement néfastes sur la santé humaine. Toutefois, le bruit est une perception très subjective. Son importance et la gêne causée ne peuvent jamais être déterminées avec une précision rigoureuse car elles dépendent de nombreux facteurs physiques (absorption, réflexion), physiologiques (acuité auditive), voire souvent psychologiques (répétition, durée, soudaineté, personnalité de l'auteur du bruit, etc.). Cette nuisance est à l'origine de très nombreuses plaintes et peut avoir des répercussions sur la santé, d'une part sur l'appareil auditif, d'autre part sur l'état général en provoquant différents symptômes (notamment l'insomnie, le stress) [32].

Il convient d'ailleurs de noter que, au vu des résultats des recherches qui démontrent la nocivité du bruit sur la santé et compte tenu du nombre de personnes exposées aux nuisances sonores, un avis du

Conseil supérieur d'hygiène publique de France estime que le bruit pose un problème de santé publique. Le Conseil demande que la prévention soit sous-tendue par une approche sanitaire et que le bruit soit si possible traité à la source. Il souhaite que les recherches soient orientées vers une évaluation des risques sanitaires et des coûts sociaux et estime indispensable une éducation du public sur ces problèmes.

Les principaux effets du bruit selon les personnes sont :

- La fatigue auditive (surdité possible) ;
- le changement du rythme respiratoire ou cardiaque ;
- la modification de la pression artérielle ou le rétrécissement des vaisseaux ;
- la diminution des réflexes ;
- la diminution des actions psychiques ;
- l'apparition de maux de tête ;
- la fatigue générale ; l'irritabilité ;
- la nervosité générale ;
- les troubles de la vision nocturne ;
- l'apparition de la contraction anormale des muscles de l'estomac ;
- des troubles du sommeil et des moments de détente.

La référence réglementaire en matière de niveau de bruit est l'arrêté du 23 janvier 1997 modifié qui fixe, comme on l'a vu précédemment, les seuils suivants en limite de propriétés pour les zones à émergence r glement e avec le site concerné :

— 70 dB A le jour ;

— 60 dB A la nuit ; [33].

II.4.Impact environnemental généré par les déférentes étapes de traitement du sable (unité ADWAN)

Après avoir vu de manière générale quelques risques qui peuvent être engendré par les industries, maintenant on limite notre étude à déterminer et localiser les risques qui peuvent être résultat durant les étapes de traitement de sable siliceux et leur effet sur l'environnement (les travailleurs, la faune et la flore).

Le sable brut du gisement de Sig contient des éléments g n rants comme les argiles, la matière organique et les éléments solubles dans l'eau, qu'il faut les éliminer pour améliorer la qualité de ce sable.

II.4.1.Le lavage

Au niveau de station de lavage de sable brut qui a un couleur jaune brun, après son lavage il devient blanc clair, donc il y a une quantité importante d'impureté éliminer par l'eau. Ce dernier

transporté directement vers un système de décantation (décanteur gravitaire) de capacité insuffisante par rapport au débit d'entrée, ce qui influe sur son efficacité et sa rentabilité de décantation. Dans notre cas (L'unité ADWAN), l'eau issue et qu'il n'a pas le temps pour décanter, évacué directement au milieu extérieur.

II.4.1.1.L'eau de lavage

L'eau rejeté par la station de lavage est une eau très trouble de couleur jaune foncé, ça peut être revient à son contenu (les argiles et les métaux lourds).

La station de lavage rejette un volume important d'effluents liquides car la plupart des eaux utilisées ne pas réutilisés, donc on a un **gaspillage**, qui épuise les puits en même temps contamine les eaux sous terrains dans la nappe phréatiques.



Figure II.2. Photographie de L'eau de rejet à FORNAKA.

II.4.1.2.Les boues

La station de lavage au niveau d'unité ADWAN alimenté par un sable brut avec un débit de 50 tonne par heure, les débits de sable lavé et de boues éliminer à la sortie sont 40 t/h ,10 t/h successivement, donc on a une importante quantité de boue résultante.

Les matières en suspensions (les argiles, les matières organiques... etc.), sont déchargé aussi directement dans le milieu extérieur sans aucun traitement ou valorisation.

II.4.1.2.1.Les argiles

A) Définition

Il n'existe pas de définition unique du terme "argile". Le mot "argile" englobe deux connotations, l'une liée à la taille des grains et l'autre à la minéralogie. La définition dépend de la discipline concernée.

Le géologue ou le pédologue considèrent comme “ argile ” tout minéral de faible granulométrie, la limite étant fixée à 2 ou 4 microns selon les cas [34].

Il faut noter que les argiles possèdent des propriétés bien spécifiques quant à leur interaction avec l'eau.

B) Microstructure des argiles

➤ Terminologie

Avant d'entrer dans les détails de la minéralogie des argiles, il nous semble utile de rappeler la terminologie associée pour éviter toute confusion : un terme donné est parfois utilisé pour désigner plusieurs niveaux structuraux différents, et deux termes différents sont parfois employés pour désigner le même niveau.

La cellule de base des minéraux argileux est appelée **crystallite**. Elle est constituée d'un **feuillelet** et d'un **interfeuillelet** appelé aussi **espace interfoliaire**. Chaque feuillelet est lui-même formé de la superposition de deux ou trois **couches** cristallisées (c'est-à-dire dans lesquelles les atomes, solides à température ordinaire, sont régulièrement distribués). L'interfeuillelet est constitué de fluide (d'eau) assurant une liaison électrochimique entre les feuillelets. Il existe différents types de liaisons interfeuillelets, liées notamment à des phénomènes de substitutions isomorphiques à la surface des cristallites.

Une **particule** d'argile résulte de l'empilement face-à-face de quelques cristallites élémentaires ; elle n'est formée parfois que d'une seule cristallite. Il arrive aussi que le terme cristallite soit lui-même employé pour désigner un empilement de plusieurs feuillelets, c'est-à-dire ce que nous avons nous mêmes qualifiés de particule. Nous allons voir que ces cristallites peuvent s'assembler de manières très diverses. Des différentes possibilités d'empilement des couches dans les feuillelets, de substitutions isomorphiques, de liaisons interfeuillelets et enfin d'arrangement spatial des cristallites résulte la grande diversité de structures et de propriétés des argiles [35].

Ce sont des silicates d'alumine, plus ou moins hydrates, microcristallins a structure en feuillelets. Ces feuillelets sont constitués de couches de tétraèdres de silice et de couches d'octaèdres d'alumine. Les différentes argiles sont en fait des agencements différents de couches d'octaèdres et de tétraèdres ; du plus simple (Kaolinite) au plus complexe (chlorite), les espaces entre feuillelets, le nombres de charges négatives provenant de substitutions ioniques a l'intérieur des feuillelets vont expliquer des différences de comportement vis a vis des ions minéraux nutritifs, des molécules d'eau...Etc..., a l'échelle microscopique mais aussi a la parcelle!![36].

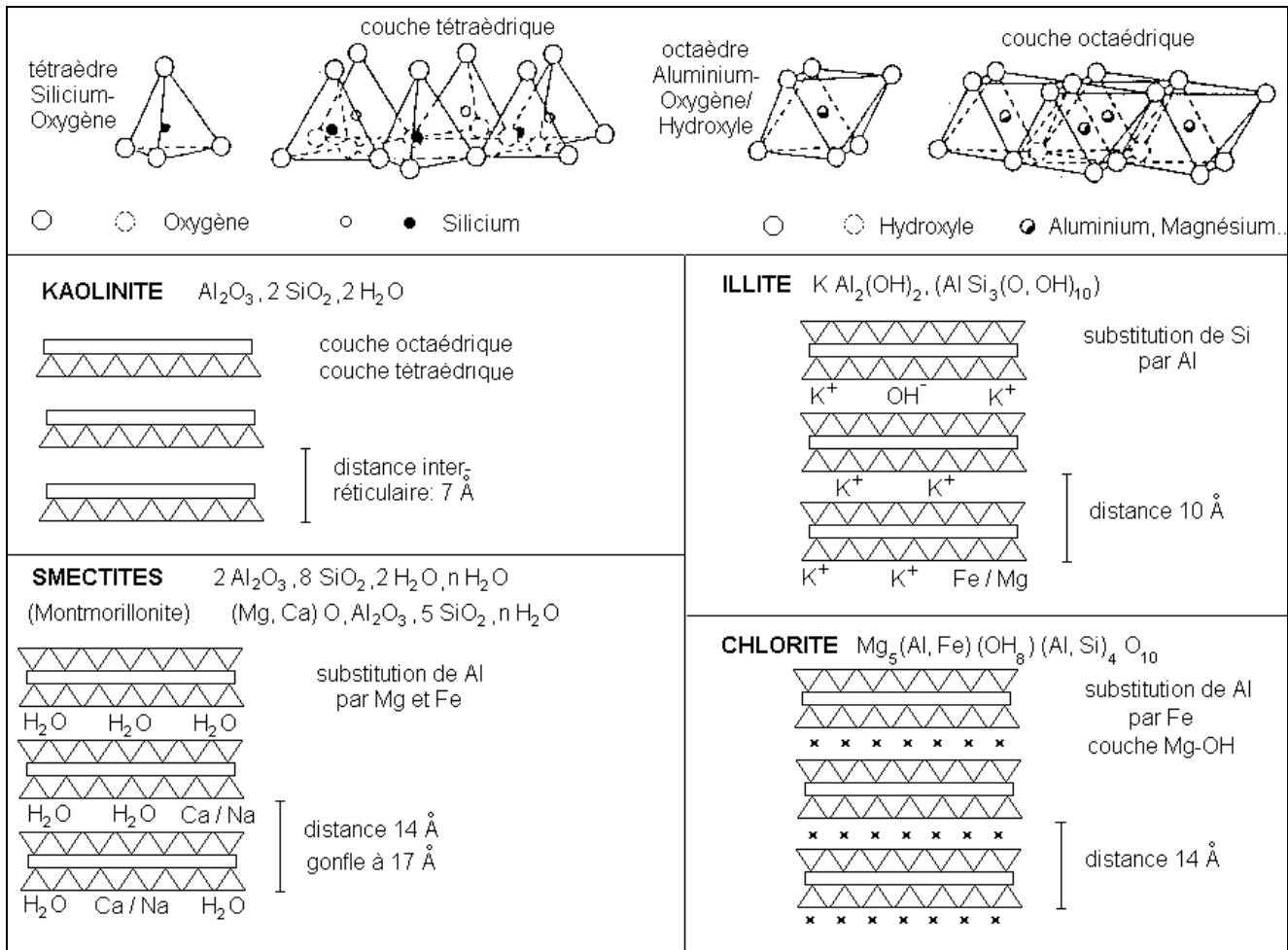


Figure II.3. Les différents types d' argiles [36].

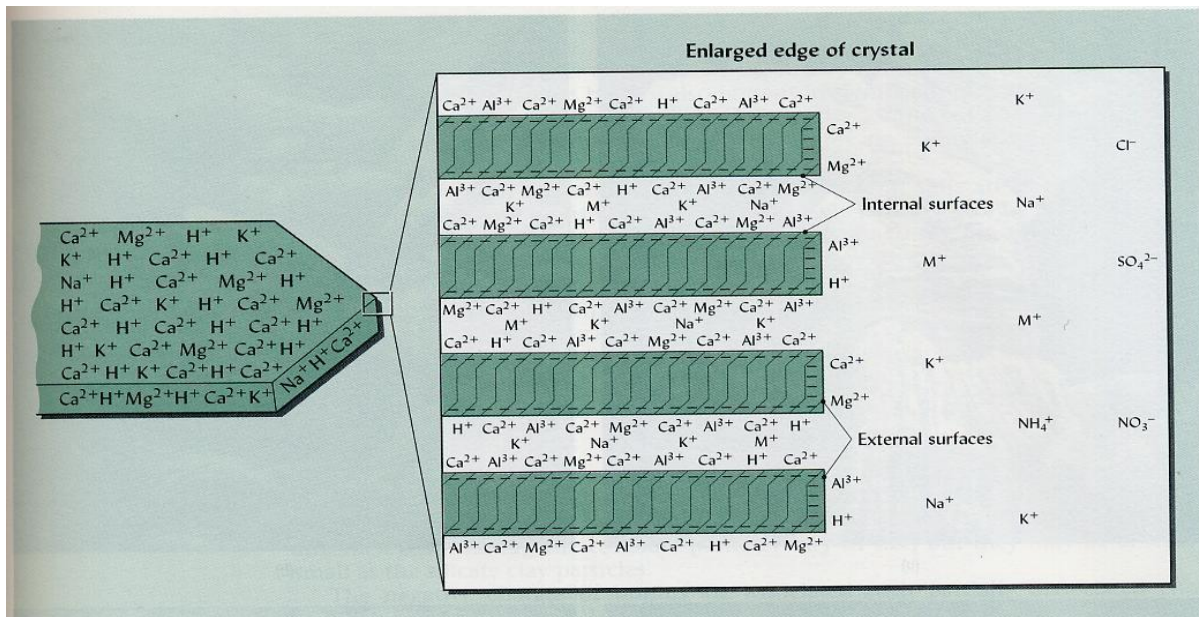


Figure II.4. Représentation des cations adsorbés à la surface des argiles [37].

C) Propriétés

Les argiles sont globalement électronégatifs (il existe quelques sites positifs aussi a leur surface) ; de ce fait ils sont réactifs, notamment avec une capacité à adsorber des ions positifs qui seront échangeables avec la solution liquide du sol. La quantité d'ions électropositifs qu'une argile peut adsorber est exprimée en meq/100 g (ou cmol+.kg-1) ; elle dépend de des surfaces internes et externes développées, de l'écartement entre les feuillets et du nombre de substitutions ioniques a l'intérieur des couches. Une partie des charges des argiles est fixe, une autre (faible) est variable et dépend du pH.

Les argiles ont des propriétés colloïdales : c'est une substance faite de particules très fines, non solubles dans l'eau qui y restent en suspension. Un colloïde peut être a l'état floccule ou dispersé.



Figure II.5. La propriété colloïdale des argiles [36].

Les argiles minéralogiques sont donc des colloïdes électronégatifs ; la floculation sera permise par la présence d'ions positifs : le Ca²⁺ est très flocculant, le sodium Na⁺ est dispersant.

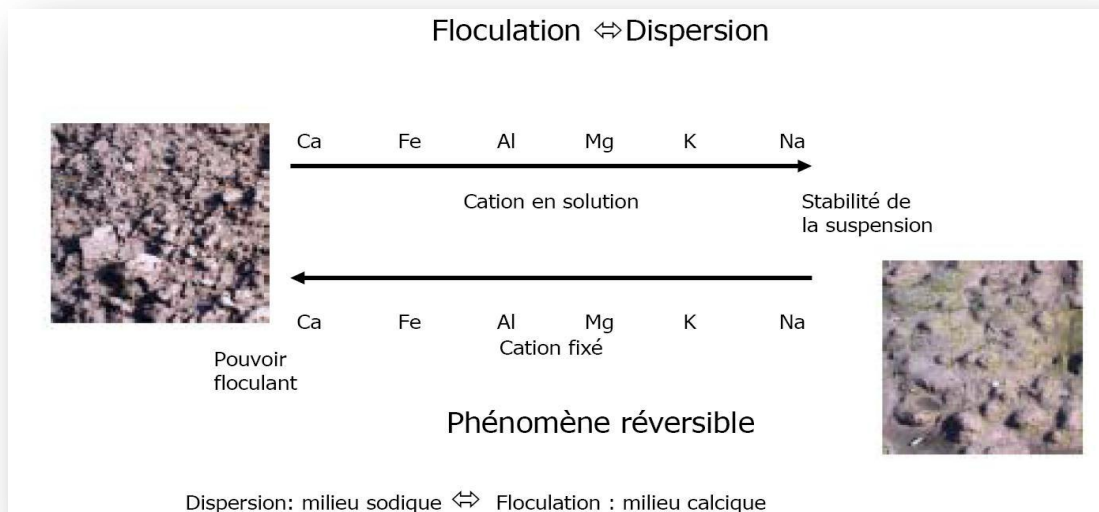


Figure II.6. La dispersion et la floculation des argiles. [36]

Les argiles ont la capacité de retenir des molécules d'eau (entre feuillets ou a la surface des feuillets) ; c'est donc un composant du sol qui va permettre de constituer une réserve en eau, utilisable par la biologie du sol [36].

Certaines agriles (smectites-montmorillonites) peuvent gonfler en présence d'eau et se rétracter par dessiccation, a l'échelle microscopique (passage de l'écartement de 14 a 17 Angstrom ; 1 Angstrom = $1,0 \times 10^{-10}$ mètres) mais aussi a une échelle macroscopique... [37].

D) L'effet des argiles sur l'écosystème (la faune et la flore)

Comme on a dit précédemment qu'il y a des quantités importantes d'argile évacuer en décharge non contrôlé soit se forme de boues ou en matières en suspension dans l'eau, et selon nos connaissances qui on a déjà cité antérieurement, sans doute ces argiles ont des effets sur la flore et aussi sur la faune généralement, notamment les microfaunes.

D'abord il faut rappeler que les argiles contiennent des quantités importante des métaux qui ils sont importante pour la terre mais le problème qui se pose la concentration de ces derniers et l'épaisseur de couche d'argile elle-même.

II.4.1.2.2. Propriétés physiques des terres

Ces propriétés physiques interviennent dans le fonctionnement du végétal par l'intermédiaire de la rétention de la solution nutritive (nutrition minérale, alimentation en eau) et de l'aération des racines. Les principales propriétés physiques sont la porosité, la capacité de rétention d'air et la capacité de rétention d'eau. Ce qui pourrait passer pour un matériau homogène, se révèle, à la loupe, un mélange de "grains" durs, d'eau, d'air, d'êtres vivants ou morts et d'humus. On peut donc décrire le sol comme un système polyphasique. Il comprend :

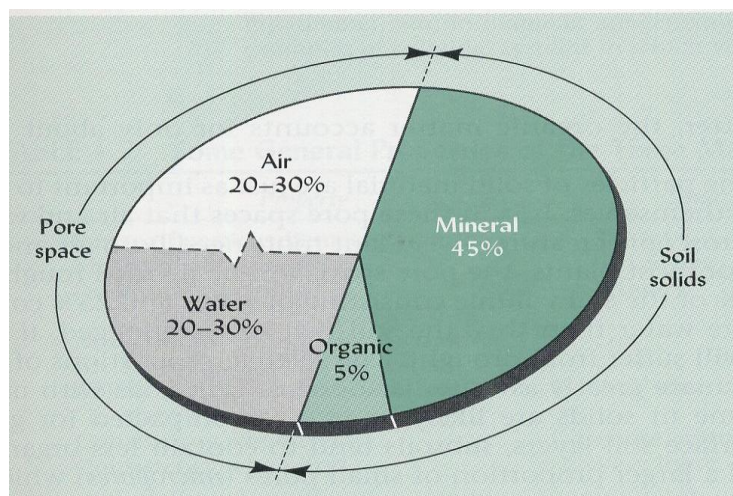


Figure II.7. Répartition moyenne en% des différentes phases du sol [38].

A) Porosité

Tous les substrats sont des corps poreux, comportant des cavités de diverses formes et dimensions "vides" dans lesquels se loge le fluide (liquide, gaz) sous l'effet de forces capillaires.

La porosité totale est le rapport du volume des vides existant dans un volume total (volume apparent) donné de matériaux, le terme total indiquant qu'il s'agit de la somme du volume de la phase solide (volume réel) et du volume des vides (phase liquide et phase gazeuse) ou volume poral. La porosité s'exprime en fraction ou en pourcentage du volume total

$$\varepsilon = \frac{V_{vides} = V_L + V_G}{V_{total} = V_S + V_L + V_G} \quad (9)$$

Où ε est la porosité.

V_S , V_L et V_G sont les volumes respectivement des phases solide, liquide et gazeuse.

A cause des actions capillaires, d'autant plus intenses que les pores sont plus fins, l'eau n'est retenue que dans les pores les plus étroits. Ceci a conduit à subdiviser la porosité totale en microporosité dans laquelle l'eau est retenue et en macroporosité pratiquement toujours occupée par l'air.

B) Capacité de rétention d'air

Les racines respirent de façon aussi importante qu'elles ont besoin d'eau, elles ont besoin d'air pour survivre et avoir une activité cellulaire.

La capacité de rétention d'air d'un substrat est déterminée par la grosseur des pores. On distingue deux types de pores, soit les micropores (petits pores) et les macropores (gros pores). On peut dire qu'au delà de 30 à 60 microns de diamètre les pores sont suffisamment gros pour faire partie des macropores. Dans un substrat, les macropores sont toujours occupés par l'air alors que les micropores sont occupés par l'eau.

La teneur en air est complémentaire de la teneur en eau, puisque ces deux fluides se partagent l'espace poral. On a donc la relation : Porosité totale (%vol) = humidité (%vol) + teneur en air (%vol). Elle sera de préférence supérieure à 5% pour les usages agricoles, afin d'éviter une asphyxie racinaire (l'oxygène est nécessaire à l'absorption hydrique et minérale par la plante). Tandis que l'eau est consommée en masse par les racines, la teneur en air modifie seulement l'atmosphère du milieu poreux en n'intervenant que sur deux de ses composants, l'oxygène qui est absorbé et le gaz carbonique qui est rejeté [36-37].

C) Capacité de rétention d'eau

La teneur en eau d'un substrat exprime le volume d'eau contenu rapporté au volume total du substrat. Cette teneur vaut 100% à l'état saturé et décroît au fur et à mesure que la plante prélève du liquide. Elle est assurée par la présence des micropores dans le substrat, qui sont responsables de la force de capillarité. Une très grande rétention d'eau est néfaste, car elle se fait au détriment de la capacité de rétention d'air, ce qui entraîne une asphyxie des racines et une perte de rendement [38].

Donc les argiles jouent un rôle significatif dans une gamme variée de problèmes environnementaux et les applications augmentent sans cesse. Elles ont le rôle :

- dans le transport des polluants organiques (pesticides, herbicides) dans les sols;
- dans le transport des éléments métalliques dans les sols ;
- dans le transport des isotopes radioactifs et leur réactivité vis-à-vis de ceux-ci.
- dans la conception de barrière d'étanchéité dans les décharges ;
- dans des problèmes de santé.

II.4.1.3.Le bruit

Au niveau de station de lavage, y a beaucoup de vibreur pour mobiliser les trémies de classification de sable se qui produise un fort bruit, être la cause d'une nuisance sur l'appareil auditif.

II.4.2.Le séchage

Concernant l'étape de séchage du sable, au niveau de l'unité ADWAN, y a aucune remarque de danger a constaté.

II.4.3.Le tamisage et le broyage

II.4.3.1.Problématique de santé au travail

Toute activité humaine, quels que soient sa nature et le lieu où elle s'exerce, présente des dangers pour l'homme, autrement dit, des atteintes possibles à sa santé et à l'intégrité de son corps.

Pendant les opérations de tamisage et de broyage à sec, comme le cas de sable, il y a des émissions importantes de poussières aux points d'alimentation des appareils et aux points de sortie. Ces deux opérations libèrent de fines poussières minérales qui, sans protection, nuisent assurément à la santé (accumulation irrémédiable dans le corps de particules indestructibles). Il est donc indispensable de faire une étude sur ces poussières et comment attaque le corps humain.

II.4.3.1.1.Caractérisation des aérosols dégagés au poste de travail en vue de l'évaluation des risques pour la santé

En hygiène du travail, l'exposition professionnelle aux aérosols était, dans le passé, évaluée en termes de concentration des particules totales en suspension dans l'air .Au fil des années, les

connaissances sur les relations entre exposition aux aérosols et effets sur la santé ont évolué, et l'évaluation de ce type d'exposition est devenue plus complexe, car il faut prendre en compte la nature des procédés mis en œuvre au poste de travail et les types d'aérosols qui se dégagent [39].

II.4.3.1.2. Définition

On considère comme poussière, toute particule solide dont le diamètre aérodynamique, d_{ac} (diamètre d'une sphère de masse volumique 1000 kg/m^3 dont la vitesse limite de chute dans l'air immobile est la même que celle de la particule), est au plus égal à $100 \mu\text{m}$. A cette limite supérieure correspond une vitesse limite de chute dans l'air immobile voisine de 25 m/s dans les conditions normales de température et de pression.

Pour un même produit, les particules plus fines restent plus longtemps en suspension en air calme. Le tableau II.3 donne les vitesses atteintes par les fines particules, notamment les poussières alvéolaires $d_{ac} \leq 10 \mu\text{m}$, sont très faibles [40].

Diamètre (μm)	Vitesse limite (mm /s)
100	250
50	70
20	10
10	3
1	0.03

Tableau II.3. Vitesse limites de sédimentation en air calme de particules sphériques de densité 1 [40].

Dans notre cas, c'est-à-dire, le tamisage et le broyage de sable a pour but d'obtenir la farine de silice (à l'unité ADWAN), quand on dit la poussière, on dit la silice en premier lieu, car le sable brut contient environ 96% de SiO_2 .

II.4.3.2. Les différentes formes de silice

L'élément chimique silicium (Si) est un composant majeur de la croûte terrestre (environ 25 %) [1]. Il existe principalement sous la forme : de silice libre (dioxyde de silicium, SiO_2) qui est un solide de grande dureté, blanc ou incolore dont le motif de base (la maille) est un tétraèdre de formule SiO_4 ; de silicates qui sont des minéraux contenant une combinaison de silice avec divers oxydes métalliques (fer, magnésium...) ; dans ce cas, les mailles sont également des tétraèdres SiO_4 mais entre lesquels sont insérés des oxydes métalliques. La silice et les silicates peuvent exister sous forme **crystalline** ou **amorphe**. Ils se trouvent à l'état naturel ou résultent d'un processus industriel. Le terme cristallin désigne le fait que l'élément de base (ici le tétraèdre SiO_4) se répète de façon périodique dans les trois dimensions

de l'espace. Au contraire, dans une structure amorphe, les tétraèdres SiO_4 n'ont pas de structure spatiale fixe. La figure II.8, résume les différentes formes de silice existantes et donne des exemples pour chacune d'elles [41].

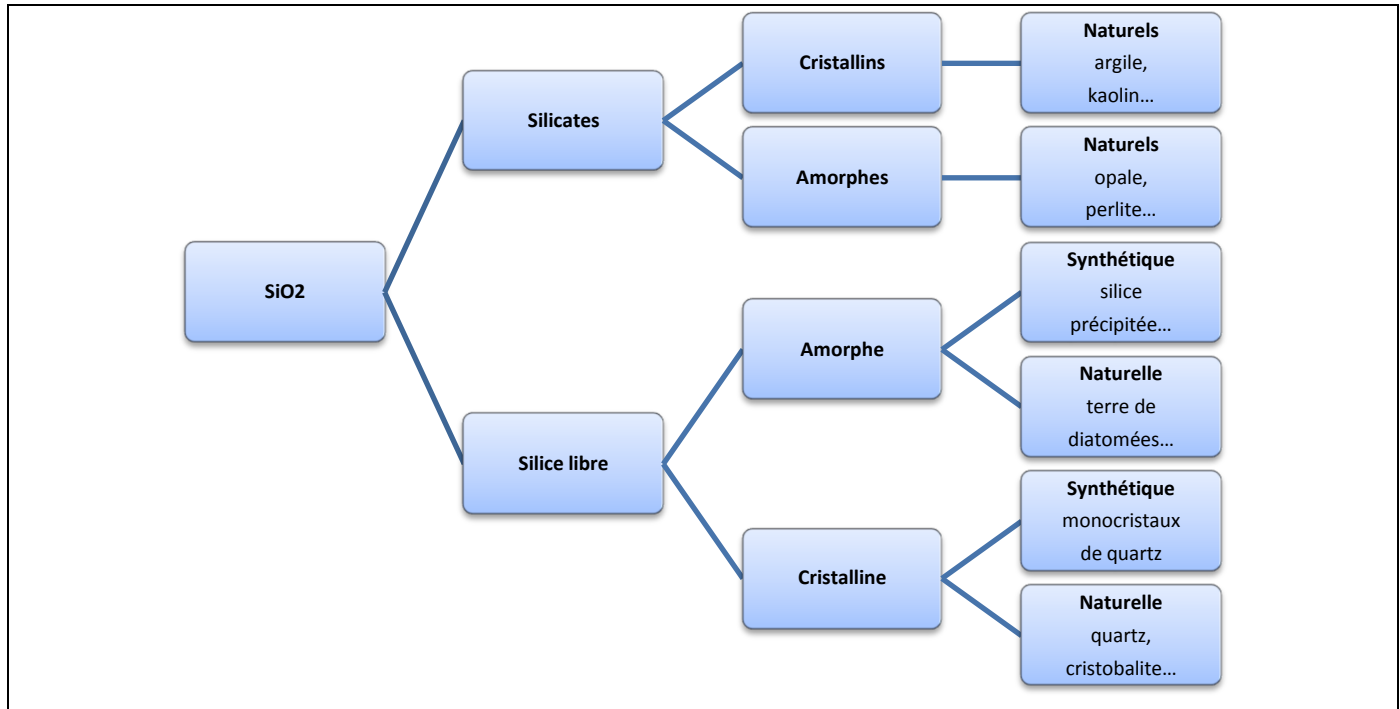


Figure II.8. Les différentes formes de silice [42].

II.4.3. 3.Comportement des particules dans l'atmosphère

En hygiène industrielle on est amené à distinguer différentes fractions granulométriques :

A) Fraction inhalable(ou inspirale)

Elle correspond à l'ensemble des particules pouvant être inhalées par le nez et la bouche .Les plus grosses (50 à 100 μm) ne pénètrent pas totalité dans les voies respiratoires durant l'inhalation.

B) Fraction alvéolaire

Toute poussière susceptible d'atteindre la région alvéolaire de l'arbre pulmonaire, des échanges gazeux, est considérée comme **poussière alvéolaire**.

La pénétration de ces particules dans la région alvéolaire décroît régulièrement jusqu'à un diamètre aérodynamique de 10 μm .Les effet dépôt passe par un maximum vers 3 μm .Les effets biologiques des poussières alvéolaires dépendent, par ailleurs, des mécanismes d'épuration [43].

II.4.3. 4.Voie d'entrée dans l'organisme et conséquences

II.4.3. 4.1.Caractérisation physico-chimique

L'inhalation de poussières minérales renfermant de la silice libre expose l'ensemble de l'appareil respiratoire. Les caractéristiques physico-chimiques influencent considérablement les effets, ainsi la nocivité des particules est fonction de plusieurs facteurs :

A) La nature des particules

Le pouvoir pathogène de silice varie en fonction de son organisation atomique : la silice amorphe (verre) possède un pouvoir fibrosant beaucoup moins important que les diverses formes cristallines (quartz tridymite cristobalite). La silice a également une action chimique toxique sur le tissu pulmonaire. De même, des sites actifs responsables de la toxicité cellulaire, ont été décrits à la surface de la silice.

B) La taille des particules

Pour ces particules grossièrement sphériques, l'effet pathogène est d'autant plus important que la dimension des particules est faible (moins de $5 \mu\text{m}$). En effet, seules les particules de moins de $5 \mu\text{m}$ atteignent les alvéoles pulmonaires (particules pulmonaires).

C) La quantité de particules inhalées

Elle dépend de leur concentration dans l'air au poste de travail et de la durée d'exposition. En outre, l'action des poussières sera modulée par des facteurs individuels (hyperventilation lors de l'effort musculaire, moyens de défense de l'organisme ...), ceci explique l'inégalité des effets pour une même exposition [46].

II.4.3. 5. Effets sur la santé

L'exposition professionnelle à la silice cristalline est un problème universel. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) conjointement avec le Bureau international du travail (BIT) gère depuis 1995 un *Programme mondial pour l'élimination de la silicose*, alors que le NIOSH aux États-Unis a initié en 2005 un programme intitulé *Elimination of Silicosis in the Americas* [44].

L'Union européenne a reconnu l'importance de cette problématique dans plusieurs secteurs, dont celui du BTP en publiant en 2006 dans son journal officiel un guide de bonnes pratiques pour la manipulation de la silice cristalline et des produits qui en contiennent.

Une exposition prolongée aux poussières respirables contenant de la silice cristalline peut causer la silicose, une maladie pulmonaire qui se caractérise par une fibrose progressive des poumons. De plus, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classifié la silice cristalline comme un cancérigène pour l'humain, lorsqu'elle est inhalée en milieu de travail sous forme de quartz ou de cristobalite, alors que l'ACGIH et le Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec (RSST) classifient le quartz comme cancérigène soupçonné chez l'humain. En mars 2009, le CIRC a réaffirmé la cancérigénicité de la silice cristalline [42].

La silice cristalline libre pénètre dans le corps humain par voie respiratoire. Les poussières de diamètre supérieur à 5 µm se déposent dans la région nasopharyngée puis sont éliminées. Les poussières alvéolaires (diamètre inférieur à 5 µm) atteignent les zones plus profondes des poumons:

A) Toxicité aiguë

Les poussières de silice cristalline peuvent provoquer une irritation des yeux et du tractus respiratoire ;

B) Toxicité chronique

Trois sortes d'atteintes chroniques sont liées à l'exposition aux poussières de silice cristalline :

- ◆ **Atteinte pulmonaire** : la silicose. Il s'agit d'une pneumoconiose fibrosante secondaire à l'inhalation de particules de silice. Les manifestations sont tardives (jusqu'à 30 ans de latence) et sont fonction de la durée d'exposition et de la concentration de la silice cristalline dans l'air ;
- ◆ **Cancérogénèse** : la silice cristalline inhalée sous forme de quartz ou de cristobalite de source professionnelle est classée cancérogène avéré pour l'homme (groupe 1) par le Centre international de recherche contre le cancer (Circ) depuis 1997 [45].

La silice n'est pas inscrite à ce jour dans le classement CMR européen (cancérogène, mutagène ou reprotoxique) ;

- ✓ **Atteintes auto-immunes** : il peut s'agir de glomérulonéphrite extra capillaire proliférative ou non chez les personnes dont l'exposition à la silice a été longue et importante, du syndrome de Caplan-Colinet, du syndrome d'Erasmus... Certaines de ces affections peuvent être observées avant le développement d'une silicose et peuvent régresser dans certains cas à l'arrêt de l'exposition [42-25].

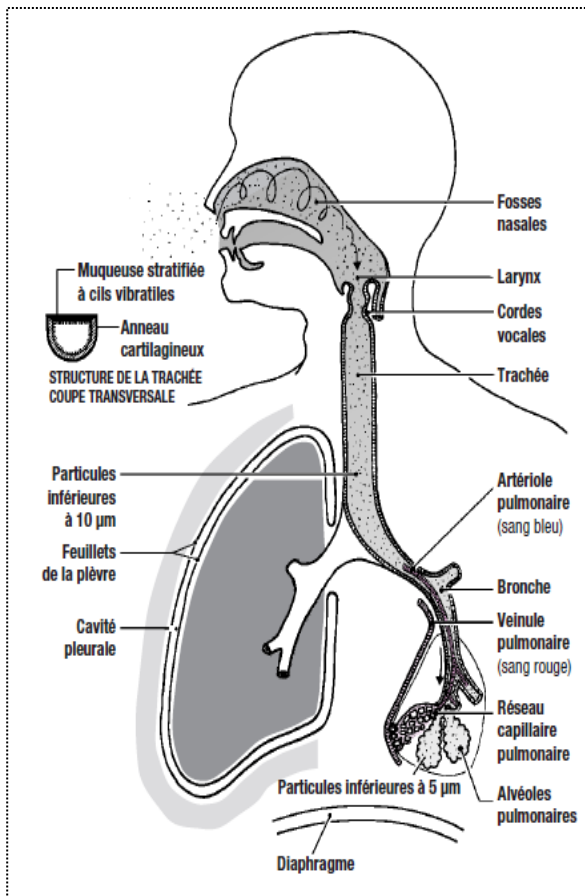


Figure II.9. Arbre respiratoire [46].

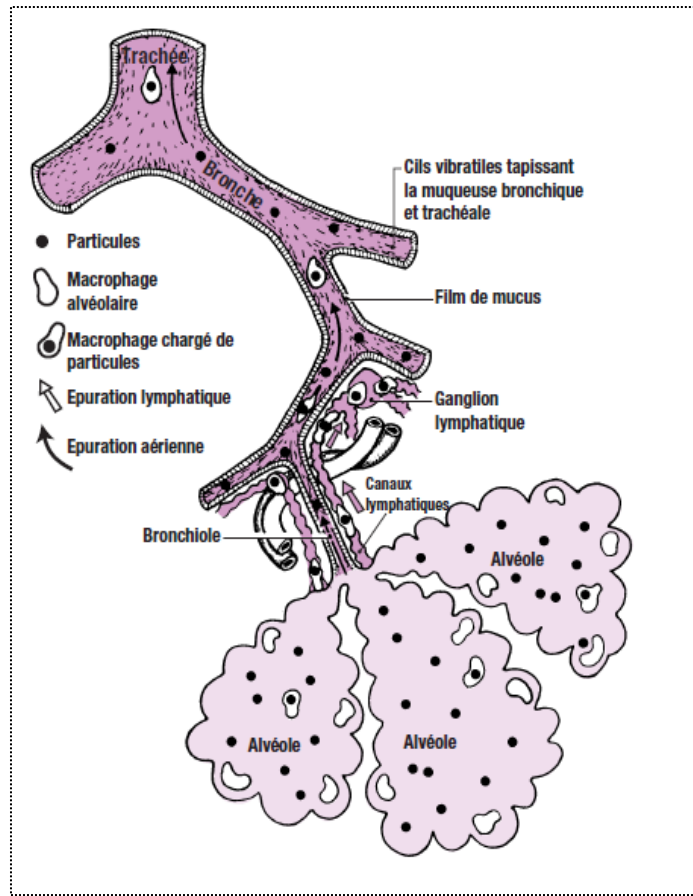


Figure II.10. Mécanisme d'épuration [46].

II.4.3. 6. Les moyens de défense

Le poumon comporte différents systèmes de défense, complémentaire (mécaniques, immunitaires et bioenzymatiques). Les plus grosses particules sont éliminées par l'éternuement, la toux, les sécrétions muqueuses, l'épuration microciliaire.

La pénétration de poussières de silice dans l'alvéole entraîne de multiples interactions avec les macrophages, lymphocytes, polynucléaires... les macrophages alvéolaires restent le principal moyen de défense. Toutes ces interactions vont concourir à expliquer l'apparition de lésions pulmonaires, surtout si les moyens de défense sont dépassés. Ainsi, l'atteinte initiale est une alvéolite macrophagique précédant la constitution de granulomes silicotiques dans les cloisons intralvéolaires évoluant inexorablement vers la destruction du tissu pulmonaire (schéma) [45].

II.4.3.7. Le bruit

A l'étape de tamisage, y a pas de bruit, par contre dans le broyage, ou les bulles bouge en frottant avec la paroi et entre elle, se engendre pas male de bruit, ce dernier suffisant pour provoquer des nuisances auditif et de stress.

Dans le cadre de notre travail nous avons fait des mesures de quelques paramètres physique et chimique ou bien une caractérisation sur le sable brut et ses dérivés, durant les étapes de son traitement (lavage, séchage, tamisage, broyage), au niveau de l'unité ADWAN.

Cette caractérisation a fait pour but de déterminer l'impact de ce traitement sur l'environnement de manière globale (la faune, la flore, et les travailleurs).

Parmi ces paramètres on cite (les métaux lourds, les matières en suspension, les poussières... etc.).

III. Le sable

III.1. Le sable brut

III.1.1. Caractérisation physique

La connaissance des propriétés d'un matériau passe par la détermination des phases qui le constituent, quant aux, sa forme, sa distribution granulométrique,...etc.

III.1.1.1. L'aspect

Le sable siliceux de Sig caractérisé par une couleur jaune brune, se qui donne une prévention à la présence des impuretés, comme les métaux.

III.1.1.2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique s'effectue à laide d'une tamiseuse, suivant des tamis d'ouvertures différents, classé par ordre croissant de bas vers haut, donc l'opération consiste à fractionner le sable en différents coupure au moyen de tamis.

On appellera tamisat le poids du matériau passant à travers un tamis donne et refus le poids de matériau retenu(P) par ce même tamis. Le refus tamis (RT) est calculé selon la formule :

$$RT(\%) = (P/P_0) \times 100 \quad (10)$$

$$\text{Le tamisat (passant cumulé)} = T(\%) = 100 - RT \quad (11)$$

Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés dans le tableau III.1.

Taille en (mm)	5,000	3,150	2,000	1,000	0,710	0,600	0,500	0,300	0,212	0,125	0,090	0,040	pan
Refus en (%)	3,40	0,81	0,76	1,46	2,11	2,51	5,78	37,23	26,62	15,97	1,82	1,34	0,19

Tableau III.1. le refus du sable brut en (%).

Les résultats sont aussi représentés graphiquement par une courbe granulométrique cumulative donnée dans la figure III.1.

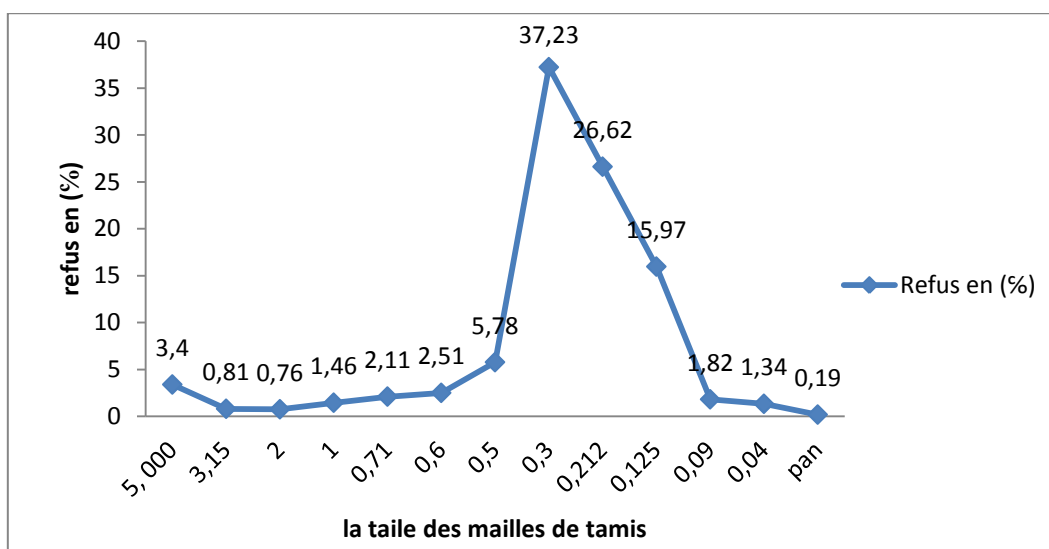


Figure III.1. Le (%) de refus de sable brut en fonction de taille des tamis.

D'après la figure III.1, il est clair que la majorité de tailles de sable brut situent entre 0,5 et 0,09mm avec un pic de 37,23(%), pour les grains de la taille 0,3mm. Alors que 87,42 % de particules ont la taille de 0,075 à 0,5mm, donc le sable de Sig est fin selon la classification granulométrique ASTM (voir le tableau 01 de l'annexe A).

III.1.1.3. Analyse chimique

Concernant l'analyse chimique on se base sur les impuretés de sable qu'il contient. Parmi les impuretés qui nous intéressons, les minéraux métalliques à l'intérieur des grains de quartz, à l'aide du spectre d'absorption atomique (SAA).

III.1.1.3.1. Principe

L'absorption des radiations électromagnétiques des régions visibles et UV du spectre par les atomes libres résulte d'un changement dans la structure électronique. On l'observe lorsque la radiation caractéristique (de résonance en général) d'un élément passe dans un nuage de vapeur atomique de l'échantillon. L'échantillon est vaporisé par aspiration de la solution dans une flamme ou par évaporation d'une surface chauffée électriquement. L'émission de flamme et l'absorption atomique (analyse quantitative des éléments à faibles teneurs).

III.1.1.3.2.Mode opératoire

A) Préparation de l'échantillon de (SAA)

On prend une masse de 1 g de sable broyé de taille de 0,1 mm dans un petit bécher en plastique dur(car le verre réagit avec l'acide fluorhydrique) de poids connu, on ajoute 15 ml d'acide fluorhydrique (HF) concentré et 05ml d'acide nitrique (HNO₃) concentré aussi, et on laisse le sur une plaque chauffante de température basse jusqu'à l'évaporation totale de contenu, ensuite on ajoute 05ml d'acide chlorhydrique (HCL) ,en chauffant jusqu'au bouillé ,après ça on laisse reposer ,puis filtrer.

On introduit le filtra dans une fiole de 100ml et diluer le avec l'eau distillé jusqu'au atteindre 100ml de volume.

Notre solution est testée par le spectre d'absorption atomique pour détecter les minéraux comme (oxyde d'Aluminium(Al₂O₃), oxyde de Fer(Fe₂O₃), oxyde de Magnésium(MgO), oxyde de Calcium(CaO), dioxyde de Titane(TiO₂), oxyde de Cuivre(CuO), Plombe(Pb), Cadmium(Cd)).

Les résultats obtenus sont regroupé dans Tableau III .2.

III.1.1.3.3.Le taux de silice

Concernant le taux de silice (SiO₂), il y a une mode opératoire spécifique pour la détecter ;

A) Mode opératoire

On prend un gramme de sable broyé, et on l'introduit dans un creuset en plastique dur de poids connu, puis on verse un volume de 20 ml d'acide fluorhydrique (HF), en chauffant à basse température jusqu'à l'évaporation totale, après ça on ajoute une autre fois 10 ml de même acide et laisse le jusqu'à l'évaporation totale.

Et finalement on introduit le creuset dans un four de température, de 1000 C° pendant une heure, et puis on le peser.

$$\text{SiO}_2 (\%) = \frac{(\text{le poids de l'éch} + \text{le poids de crucible}) - (\text{le poids de crucible après le séchage})}{\text{le poids de l'éch}} \times 100 \quad (12)$$

Le résultat obtenu est affiché aussi dans le Tableau III .2.

composés	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	CuO	Pb	Cd
(%) massique	96,98	0,725	1,15	0,0071	0,0055	0,313	0 ,14	0,5	0,115

Tableau III .2. Les valeurs de quelques minéraux de sable brut en (%).

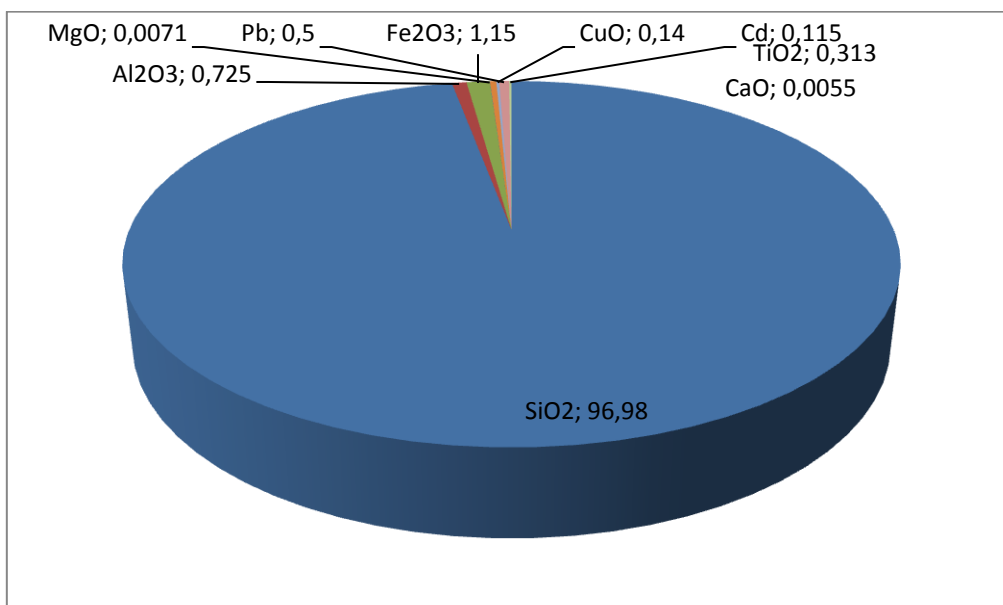


Figure III.2. Les minéraux de sable brut en (%).

On remarque que le constituant prédominant de sable de Sig, est la silice avec une valeur de 96,98 en pourcentage massique ,mais ce taux reste inacceptable pour la fabrication de verre de bonne qualité, ou de verre transparent, car il contient des teneurs élevées en métaux chromophores, particulièrement le fer qui apparait sous forme des pellicules recouvrent le quartz ,et donne la couleur jaune et rouge au verre, ainsi que la teneur en ces éléments augmente la viscosité à haute température en particulier l'alumine, d'où la nécessité de faire un traitement pour éliminer ces impuretés, en augmentant le taux de silice.

Donc il faut réfléchir à éliminer ces impuretés, en tenant compte de préserver les caractéristiques de sable. Au niveau de l'unité ADWAN, le mode utilisé pour purifier ce sable est le lavage par l'eau, car il donne une efficacité remarquable. Cependant ces impuretés

qu'on veut les éliminer, une grande quantité d'elles sont portés par l'eau qui lui-même évacue dans l'environnement sans aucun traitement.

III.2. Le sable lavé

On fait même analyses et on suit les mêmes modes opératoires qui déjà faite sur le sable brut.

III.2.1. Analyse physique

Les résultats sont regroupés dans le tableau III.3.

Taille en (mm)	5,00	3,150	2,00	1,00	0,71	0,60	0,50	0,30	0,212	0,125	0,09	0,04	pan
Refus en (%)	0,00	0,00	0,01	0,08	0,20	0,49	2,07	30,98	34,81	27,15	2,72	1,32	0,16

Tableau III.3. Le refus du sable lavé en (%).

Les résultats sont aussi représentés graphiquement par une courbe granulométrique cumulative donnée dans la figure III.3.

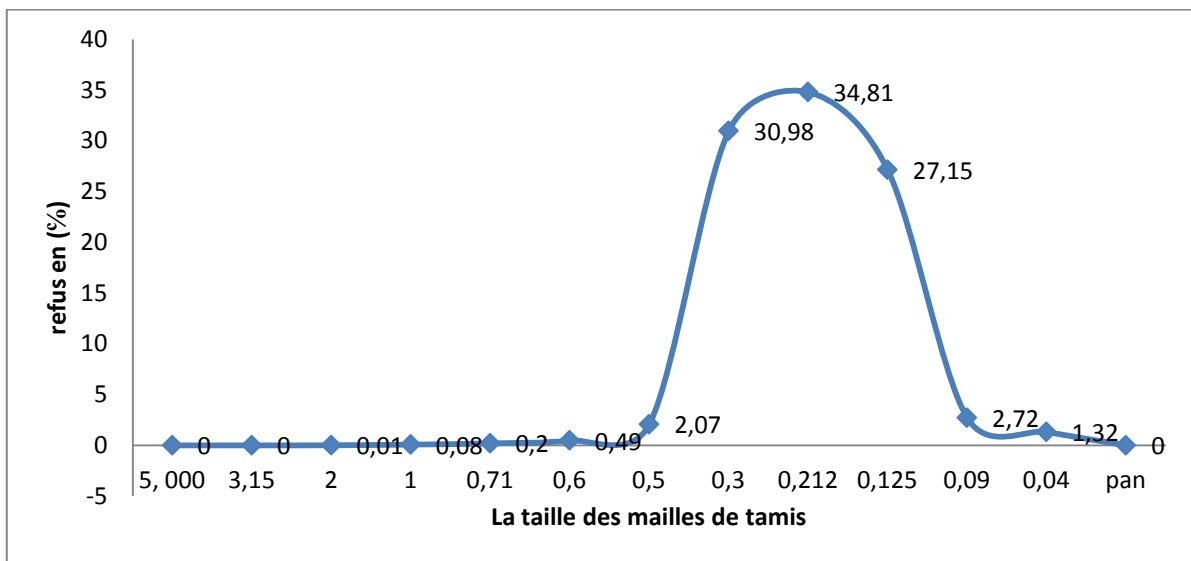


Figure III.3. Le (%) de refus de sable lavé en fonction de taille des tamis.

Comme peut être vu dans la figure III. 3. il est clair que la majorité de tailles de sable lavé situent entre 0,5mm et 0,09mm avec un pic 34,81(%) pour les grains de taille de 0,212mm. On constate que la valeur de pic a diminué de 0,3 mm dans le sable brut à 0,212mm dans le sable lavé, et selon la norme ASTM la fraction de sable fin atteint à 97,73% ce qui nous a donné une indication sur l'efficacité du lavage.

III.2.2. Analyse chimique

Le résultat des éléments chimiques de sable lavé sont le suivant :

composés	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	CuO	Pb	Cd
(%) massique	98,24	0,449	0,08	0,0038	0,0049	0,292	0,0014	0,1	0,009

Tableau III.4. Les valeurs des éléments chimiques de sable lavé en (%).

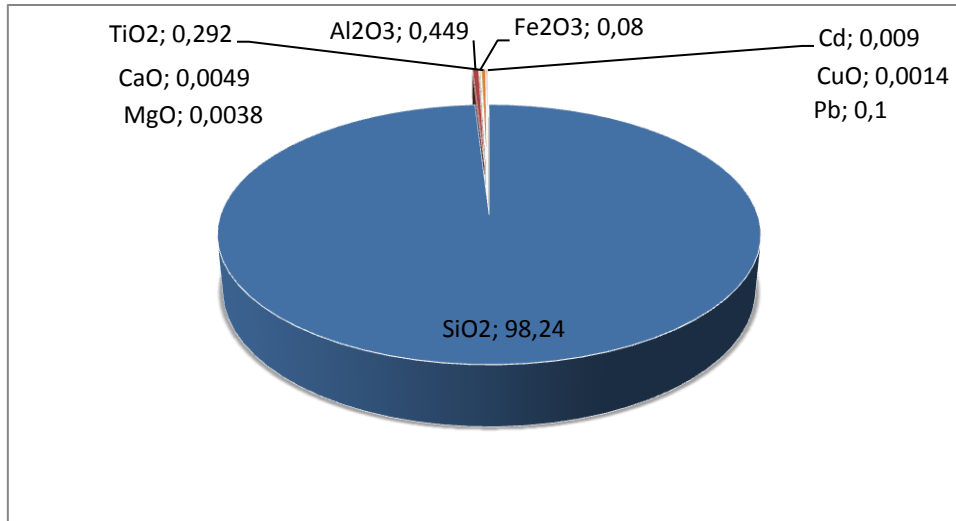


Figure III.4. Les minéraux de sable lavé en (%).

Suite au résultat de l'analyse granulométrique, l'analyse chimique vient de confirmer l'efficacité de lavage qui a augmenté la teneur en silice de 96,98 % dans le sable brut à 98,24% pour le sable lavé, en même temps les teneurs en éléments chimiques ont diminué à des valeurs convenables pour satisfaire le besoin de l'industrie verrière.

III.3. Autres paramètres à mesuré

III.3.1. Le pH

Le pH est défini comme le logarithme négatif de l'activité de l'ion hydrogène. La mesure du pH étant fonction de la température de l'échantillon

$$\text{pH} = -\log_{10} a_{\text{H}^+} \quad (13)$$

III.3.1.1. Mode opératoire

Pour mesurer le pH de sable, l'échantillon doit être subir des étapes comme suit :

- a) Sécher des échantillons dans une étuve à environ 37 C° jusqu'à ce qu'ils soient secs (2 à 5 jour).
- b) Tamis les échantillons à 2 mm.
- c) Mesurer à l'aide d'une cellule calibrée 10cm³ de sol tamisé à 2mm.
- d) Ajouter 10 ml d'eau, et laisse reposer 30miutes en prenant soin d'agiter 5à6 fois au cours de cette période.
- e) Agiter et plonger l'électrode dans le mélange sable-eau et prendre la lecture après stabilisation du pH.
- f) Rincer abondamment l'électrode après chaque échantillon.

Les résultats obtenus pour des échantillons de sable, brut et lavé sont représentés dans les tableaux suivants :

Sable brut

L'échantillon	1	2	3	4
Date	01/04/2012	02/04/2012	03/04/2012	04/04/2012
pH	8,5	7,97	8 ,23	8 ,45
Moyenne	8,235			

Tableau III.5.pH de sable brut.

Sable lavé

L'échantillon	1	2	3	4
date	01/04/2012	02/04/2012	03/04/2012	04/04/2012
pH	8,9	8,55	8 ,83	8 ,95
Moyenne	8,725			

Tableau III.6.pH de sable lavé.

D'près ces résultats il est remarquable que le pH de sable lavé soit toujours supérieur à celui du sable brut, ça peut être expliqué par l'élimination des impuretés telles que les oxydes métalliques qui influent sur la valeur de pH.

III.3.2.Taux d'argile

III.3.2.1.Mode opératoire

On prend un bécher contient une quantité de sable de poids connu, on fait le laver 2 à 3 fois jusqu'à ce que l'eau de lavage devient clair, ensuite on met le bécher dans l'étuve de température 105C° pendant 2 heure pour bien sécher, et détermine son nouvelle poids.

$$\text{Taux d'argiles}(\%) = \frac{\text{les poids de sable avant lavage} - \text{le pois de sable après lavage}}{\text{les poids de sable avant lavage}} \times 100 \quad (14)$$

Taux d'argile pour le sable brut (%)=8,2.

Taux d'argile pour le sable lavé(%)=0,6.

Les résultats montrent que le sable brut de Sig contient un taux d'argile important, environ 8,5 % en masse. Mais après le lavage ce taux a diminué largement ce qui nous a donne un sable de couleur blanc avec des grains assez homogènes.

III.3.2.2. Statique

La station de lavage de l'unité ADWAN fonctionne avec un débit de 50 t/h, et ça pour 6 heures par jour de travail ce qui permet de traiter une quantité importante de sable, d'environ 300 tonne par jour. Les tableaux (III.7, III.8) illustrent quelques donnés sur les quantités de boue (argile, et fine) et d'éléments chimiques résultent par l'unité .

La quantité de sable brut consommé	(t /h)	50
	pour 6h /J	300
La quantité d'argile résulte (pour un taux de 8, 5%)	(t /h)	4 ,25
	pour 6h /J	25

Tableau III.7. Les débits massique de sable brut consommé et de l'argile résulte.

D'après le tableau III.7 la quantité de boue résulte égal à 25t/J, une quantité importante qu'il faut réfléchir comment la valoriser, d'une autre manière comment réduire son volume, qu'il doit noter que ces argiles caractérisées par une grande capacité d'absorption pour l'eau et forment des surfaces pâteuses dans les lieux de décharge ce qui cause la détérioration du paysage et sa métamorphose. Malheureusement l'unité ADWAN évacue ces boues directement dans l'environnement sans aucune valorisation.

Composés	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	CuO	Pb	Cd
La masse en (%) dans le sable brut (m _b)	0,725	1,15	0,0071	0,0055	0,313	0,14	0,5	0,115
La masse en (%) dans le sable lavé (m _l)	0,449	0,08	0,0038	0,0049	0,292	0,0014	0,1	0,009
La masse (m _b -m _l) en (g) pour 100g de sable	0,276	1,07	0,0033	0,0006	0,021	0,1386	0,4	0,106
La masse (m _b -m _l) en (kg) pour 50 tonne de sable (50t/h)	13,8	53,5	0,165	0,03	1,05	6,93	20	5,3
La masse (m _b -m _l) en (kg) pour 300 tonne de sable (300t/J)	82,8	321	0,99	0,18	6,3	41,58	120	31,8

Tableau III.8. La quantité des éléments chimiques éliminés.

Concernant le tableau III.8 les résultats montrent la quantité importante d'éléments chimiques engendrés par le lavage, particulièrement les teneurs en fer, plomb et aluminium de 321, 120, 82,8 kg /j successivement, ces quantités se partagent en trois parties, l'une est éliminé par les spirales sous l'effet de la force centrifugeuse et le reste se porter par l'eau et la boue qui ont résulté.

Par ailleurs ces métaux ont des dangers sur l'environnement de manière générale, du fait de sa dégradation pour le sol et pour les eaux sous terrains, ce qu'ils doivent les éliminer au lieu de les vidanger dans le milieu extérieur.

III.3.3.L'humidité

A l'aide d'un hygromètre (humidimètre), les taux d'humidité pour le sable brut et le sable lavé sont 1.05 ,1.02% respectivement.

Selon les deux valeurs, on remarque que, le taux d'humidité de sable brut est supérieur à celui de sable lavé et séché, car ce dernier est moins d'argile, qui est lui considéré comme une bonne réserve d'eau, ajoutant aussi que ces résultats donnent une indication sur la performance du sécheur.

III.3.4. Les matières organiques

III.3.4.1. Mode opératoire

On prend 20gramme de sable broyé dans un creuset de poids connu, l'ensemble mettre dans une étuve de 105 C°, pendant 2 heures pour bien sécher. Après on remettre dans un four de 1000C°, pendant une heure en notant son nouvel poids.

$$\text{MO (\%)} = \frac{\text{poids de crucible avant le séchage} - \text{poids de crucible après le séchage}}{\text{poids de crucible avant le séchage}} \times 100 \quad (15)$$

Et voici les résultats, présentent dans le tableau III.9.

échantillon	1	2	3
MO dans le sable brut en (%)	0,5	0,8	0,7
Moyenne(%)	0,75		
MO pour le sable lavé en (%)	0,35	0,2	0,3
Moyenne(%)	0,28		

Tableau III.9. Taux de MO du sable brut et du sable lavé.

Quant aux les résultats du tableau III.9, on peut dire que le lavage a une efficacité pour éliminer les matières organiques, malgré leurs présence au début en faible quantité.

III.4. Caractérisation de l'eau de lavage

III.4.1. L'eau de lavage avant l'utilisation

- ✚ L'aspect : l'eau de lavage a une couleur transparence.
- ✚ pH =5,50.
- ✚ TDS (taux des solides)=2650 mg /l.

(TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques).

L'eau utilisée au niveau de l'unité ADWAN est une eau de puits, de FORNAKA, à 9Km de coté de mer, cette eau a un goût salé, un pH faible (acide), et un taux des solides

élevé par rapport au eau douce, tel qu'une eau de valeur en TDS supérieur à 1200 mg/l considéré comme une eau de goût inacceptable ,même pour l'agriculture(voir le tableau 02 de l'annexe A).

Le TDS dans notre cas est égale à 2650 mg /l donc à-peu-près le double de la valeur limite cité précédente. Les valeurs de pH et de TDS sont assez loin de la norme, ce qui influe sur l'écosystème du milieu ambiant de la zone FORNAKA, car l'eau de lavage est évacuée directement dans le milieu extérieur.

- ✚ MES (matières en suspension) $\cong 0$ g/l. (la matière en suspension c'est la quantité de matière retenu par une simple filtration de l'eau, mais il faut noter que la quantité retenu sécher dans l'étuve pendent deux heures à 105C° avant de la peser).

III.4.2.L'eau de lavage après l'utilisation

- ✚ L'aspect : l'eau de lavage après l'utilisation, a une couleur jaune foncé (trouble), ça revient à la quantité importante d'impureté qu'elle contient, qui il faut penser à la traiter afin de réutiliser.
- ✚ pH =6,82.
- ✚ TDS (taux des solides)=2800 mg /l.
- ✚ MES= 35,66 g /l.

III.4.3.L'eau de lavage après décantation

- ✚ L'aspect : l'eau de lavage après la décantation, garde toujours sa couleur jaune, mais moins troublante
- ✚ pH=7 ,2 .
- ✚ TDS=2750 mg/l.
- ✚ MES= 3,52g /l.
- ✚ Les métaux lourds : concernant les métaux lourds de l'eau de rejet, les résultats sont affiché dans le tableau III.10.

composés	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	CuO	Pb	Cd
(%) massique	0, 23	0,08	0,001	0,003	0,15	0 ,11	0,12	0 ,07

Tableau III.10.Les valeurs des oxydes métalliques de l'eau de rejet.

Les résultats sont aussi représentés graphiquement par un histogramme dans la figure III.5.

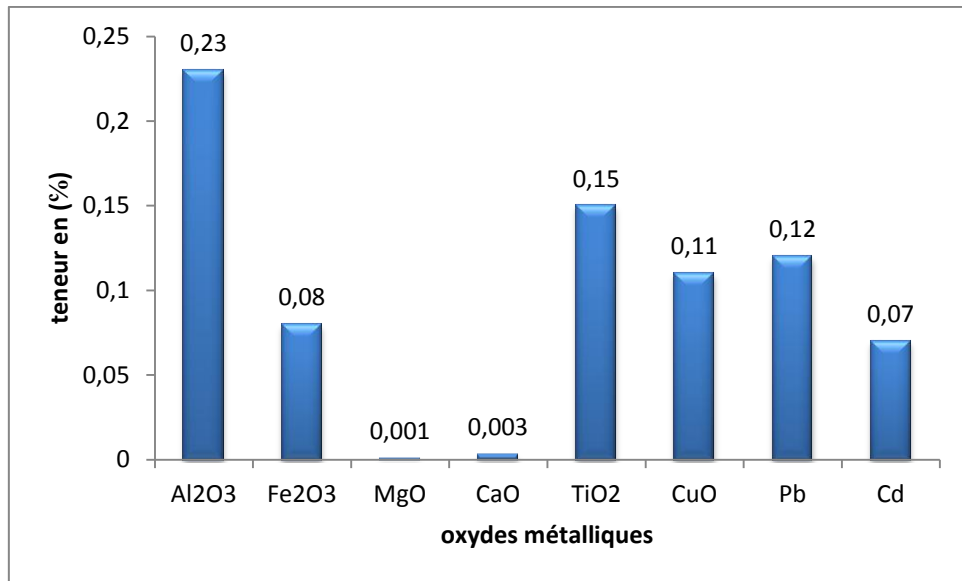


Figure III.5. Les teneurs des métaux lourds dans l'eau de rejet en(%).

Si on fait une comparaison pour les valeurs de pH entre les différents échantillons de l'eau, on remarque que l'eau de puits, possède un pH de 5,5, mais après le lavage cette valeur va neutraliser par les sels qui déjà existent dans le sable vers un pH de 7,2, donc dans ce côté l'eau est conforme à la norme algérienne des rejets industrielle (voir le tableau 3 de l'annexe A).

Concernant les valeurs de TDS, initialement sont élevés comme le montre la valeur de l'eau avant l'utilisation, environ 2650 mg /l, mais cette valeur va augmenter vers 2800 mg /l après le lavage, ça sûrement revient à la quantité de sels qui arrivé depuis le sable, ces derniers vont concentrer dans l'eau et augmente son taux en solides.

Après la décantation la valeur de TDS a diminué légèrement vers 2750 mg/l, mais la quantité majeure est transporté par l'eau vers le milieu extérieur ce qui provoque la salinité du sol et automatiquement la détérioration de l'écosystème.

Finalement, l'eau sortant par la station est pleinement trouble de fait de présence des matières en suspension, environ 35,66 g/l, une quantité importante d'elles va décanter au niveau de décanteur et le reste, environ 3,52 g/l va abandonner vers le milieu extérieur car le temps de décantation est insuffisant à cause de débit de l'eau élevé ainsi le faible volume de décanteur, ce qui est alors non conforme aux normes (voir le tableau 03 de l'annexe A).

Quant aux les résultats de l'analyse chimique, selon les normes algériennes des rejets industriels liquides, les teneurs en Plomb et en Cadmium sont élevé mais ils restent toujours au-dessous les limites destiné par le décret, par contre la teneur en cuivre est supérieur à la valeur limite, donc elle est non conforme à la norme (voir le tableau 03 de l'annexe A), ce qui nécessite la réalisation d'une station d'épuration des eaux au niveau de site.

III.5.La boue (fraction argileuse)

À la voisine de l'unité du lavage, il y a un décanteur dans le but d'empêcher les matières en suspension, donc c'est une première étape de traitement, mais cette dernière reste insuffisante pour faire un traitement approprié.

Le décanteur au niveau de l'unité ADWAN, n'a pas la capacité suffisante pour donner un bon résultat, ainsi que le temps de séjour de l'eau est très court, car le débit de ce dernier est supérieur par rapport au volume du décanteur, donc la boue se divise en deux partie, l'une évacuer avec l'eau et le reste va décanter. Ces boues à un certain niveau sont évacuées, en les déchargeant directement à l'environnement extérieur, sans aucun traitement ou bien sans aucune valorisation. En outre, la plupart de celles-ci ont été accumulés sur des vastes surfaces de terres agricoles, cette accumulation inappropriée a eu des effets néfastes sur l'environnement en raison de sa nature pâteuse qui provoque l'asphyxié du sol.

L'aspect : la boue apparaît sous forme de pâte de couleur jaune.

✚ pH=8,8.

✚ Les métaux lourds : les résultats de l'analyse chimique sont regroupés dans le tableau III.11.

composés	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	CuO	Pb	Cd
(%) massique	0,514	0,15	0,003	0,0 015	0,07	0 ,03	0,041	0 ,07

Tableau III.11. Les valeurs d'oxydes métalliques existants dans la boue.

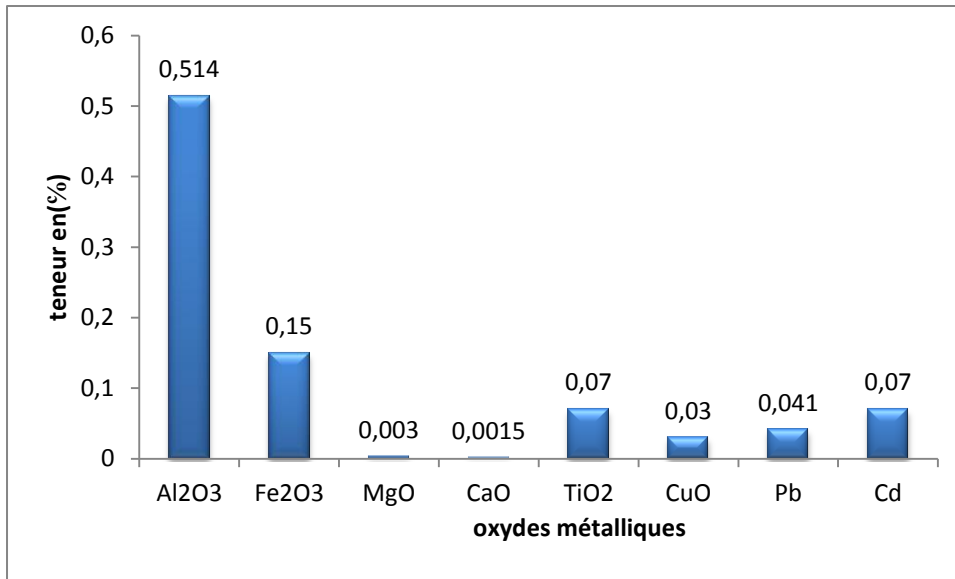


Figure III.6. Les teneurs de métaux lourds dans la boue(%).

D'après le résultat de l'analyse chimique, on voit que la composition chimique de la fraction argileuse ne possède pas des teneurs élevées en métaux, par contre la fraction siliceuse et les fines particules sont le principal composant de celle-ci, par conséquent les effets néfastes de cette boue est d'asphyxier le sol, et créer des surfaces pâteuses non convenables pour la vie des êtres animés (la flore et la microfaune).

III.6. Contamination du sol

L'unité ADWAN située dans un environnement vierge, les terrains qu'ils entourent sont considérés comme des surfaces très fertiles destinées à l'agriculture, mais ça avant le démarrage de l'unité, car maintenant plusieurs hectares de terre sont touchés par l'eau de rejet et par la décharge des boues, ce qui excite les habitants de ces environs pour exiger le responsable de l'unité de faire une station d'épuration des rejets au niveau d'unité (voir l'annexe B).

L'absence de traitement des effluents (l'eau de lavage et l'eau du laboratoire, la boue) a conduit à une accumulation de ces derniers dans le milieu naturel. Le sol et les eaux ont, pendant longtemps, supporté une charge de pollution en manifestant des signes de déséquilibre, dès que leur pouvoir auto-épurateur s'est détérioré. C'est le cas notamment des nappes d'eaux situées dans la partie Nord du pays où sont concentrées des implantations des complexes et des ensembles industriels. Les barrages ne sont pas eux, non plus, à l'abri de la pollution d'origine industrielle.

En faveur de comprendre la source de la nuisance, on a fait prendre des prélèvements de sols, à la place c.-à-d. au lieu de déversement, et les examiner à laboratoire.

III.6.1.Description

Notre travail dans cette partie consacre à faire des prélèvements comme suit :

- ✚ On prend deux échantillons de sol à la surface, l'un contaminé et l'autre non contaminé.
- ✚ On fait même prélèvement mais cette fois-ci à 5cm de profondeur.

Les prélèvements sont fait dans un jour où le temps est un peu nuageux .Les résultats de différents tests sont rassemblés dans le tableau III.12.

Paramètres \ Sols	Sol contaminé		Sol non contaminé	
	A la surface	A 5 cm de profondeur	A la surface	A 5 cm de profondeur
Aspect	Gris, pâteuse	Marron brun	Marron clair	Marron brun
pH	9,57	9,3	6,92	6,67
Taux d'humidité (%)	20 ,06	16 ,5	11 ,75	10 ,55

Tableau III.12.Caractérisation des sols (aspect, pH, taux d'humidité).

III.6.1.1.Sol contaminé

A) Prélèvement à la surface

L'eau de lavage rejeté dans le milieu extérieur porte une quantité importante de particules fines (fractions argileux-siliceux), quand ces eaux absorbe par le sol, les fines particules reste sur la surface en formant une couche de 2 à 5 cm d'épaisseur, cette dernière va solidifier au moment où elle perd tout sa contenant en eau, de manière à donne une plate forme dure, ce qui rend la terre inaptitude pour la plantation, comme il représentait dans les figures (III.7, III.8).



Figure III.7. Photographie apparaît l'eau de rejet du lavage de sable à FORNAKA.



Figure III.8. Photographie apparaît la couche d'argile formée après l'évaporation de l'eau à FORNAKA.

Les résultats de l'analyse chimique sont représentés dans le tableau III.13.

composés	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	CuO	Pb	Cd
(%) massique	0,9351	0,3316	0,351	0,1592	0,7699	0,0022	0,031	0,075

Tableau III.13. Les valeurs d'oxydes métalliques du sol contaminé (échantillon à la surface).

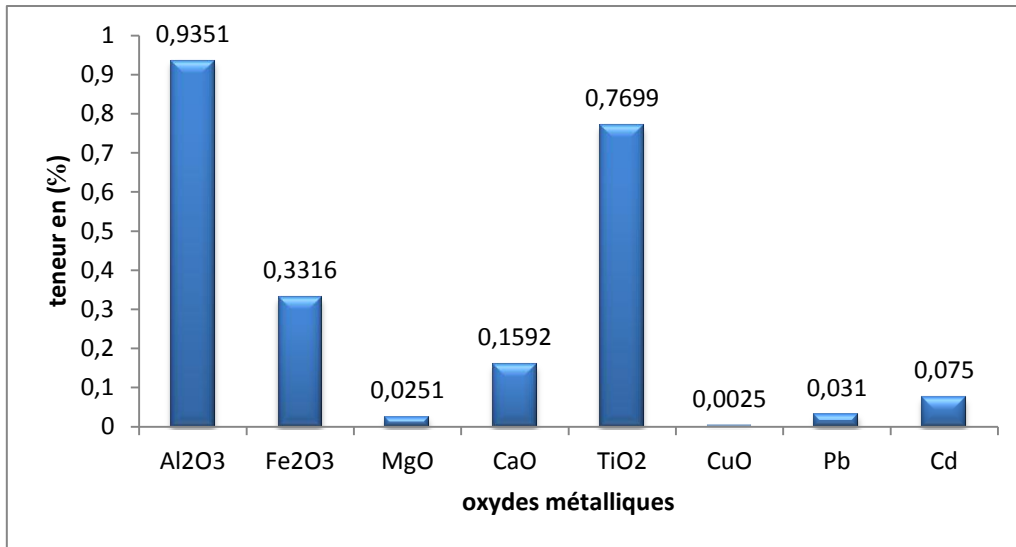


Figure III.9. Les teneurs d'oxydes métalliques dans le sol contaminé (prélèvement à la surface) en (%).

B) Prélèvement à 5 cm de profondeur

Les résultats de l'analyse chimique sont représentés dans le tableau III.14.

composés	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	CuO	Pb	Cd
(%) massique	0,7414	0,2311	0,202	0,1322	0,7324	0,0017	0,022	0,056

Tableau III.14. Les valeurs d'oxydes métalliques du sol contaminé (échantillon à 5 cm de profondeur).

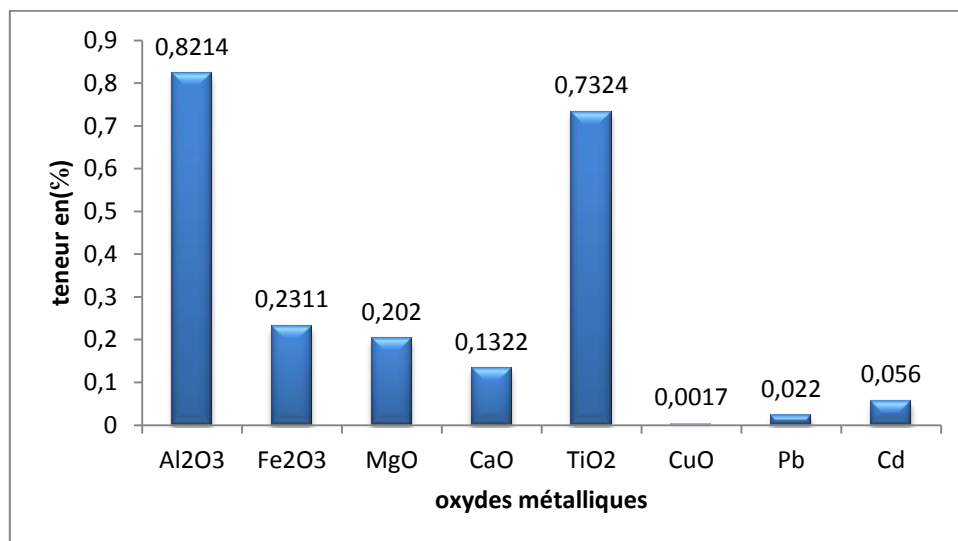


Figure III.10. Les teneurs des oxydes métalliques dans un sol contaminé (échantillon à 5 cm de profondeur) en (%).

III.6.1.2.Sol non contaminé

- Prélèvement à la surface

Les résultats des oxydes métalliques sont représentés dans le tableau le tableau III.15.

composés	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	CuO	Pb	Cd
(%) massique	0,7955	0,32	0,0186	0,2445	0,6187	0 ,0013	0,002	0 ,006

Tableau III.15.Les teneurs des oxydes métalliques dans un sol non contaminé (prélèvement à la surface) en (%).

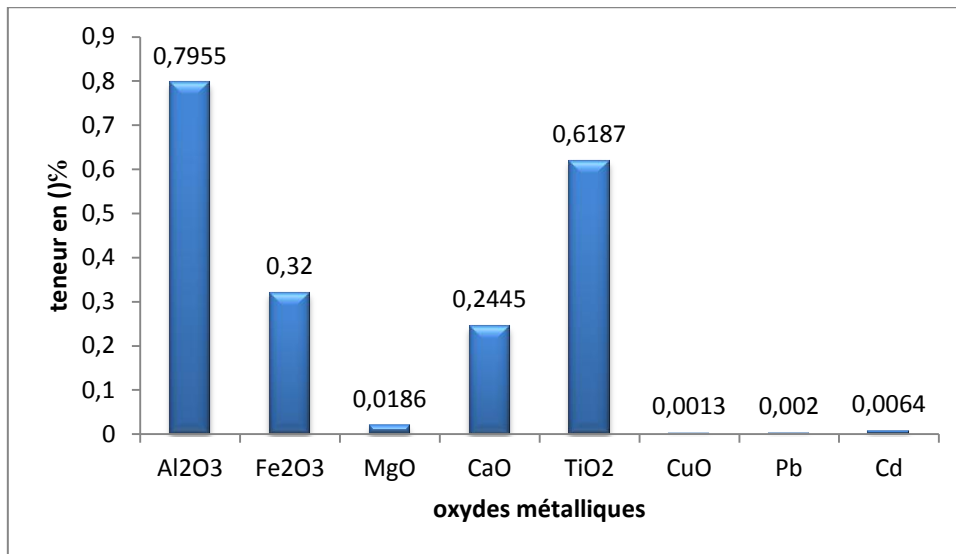


Figure III.11.Les valeurs des oxydes métalliques du sol non contaminé (prélèvement à la surface) en %.

- Prélèvement à 5 cm de profondeur

Les résultats des oxydes métalliques sont représentés dans le tableau le tableau III.15.

composés	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	CuO	Pb	Cd
(%) massique	0,7973	0,2587	0,0124	0,2174	0,6335	0 ,0014	0,001	0 ,003

Tableau III.16.Les teneurs des oxydes métalliques dans un sol non contaminé (Échantillon à 5 cm de profondeur) en (%).

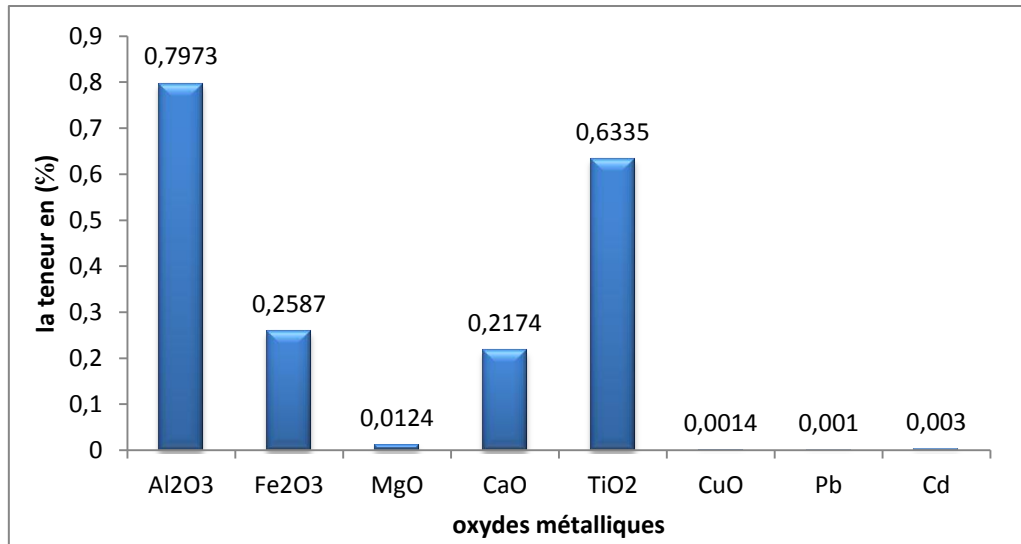


Figure III.12. Les valeurs des oxydes métalliques du sol non contaminé (échantillon à 5 cm de profondeur) en %.

Comme une première observation, quant aux les figures (III.9, III.10, III.11, III.12) les résultats signalent que, les valeurs en minéraux dans le sol contaminé sont toujours supérieurs à celles de sols non contaminé, quelques soient leurs natures de prélèvement, à surface ou à 5cm de profondeur, à l'exception pour les valeurs du calcium.

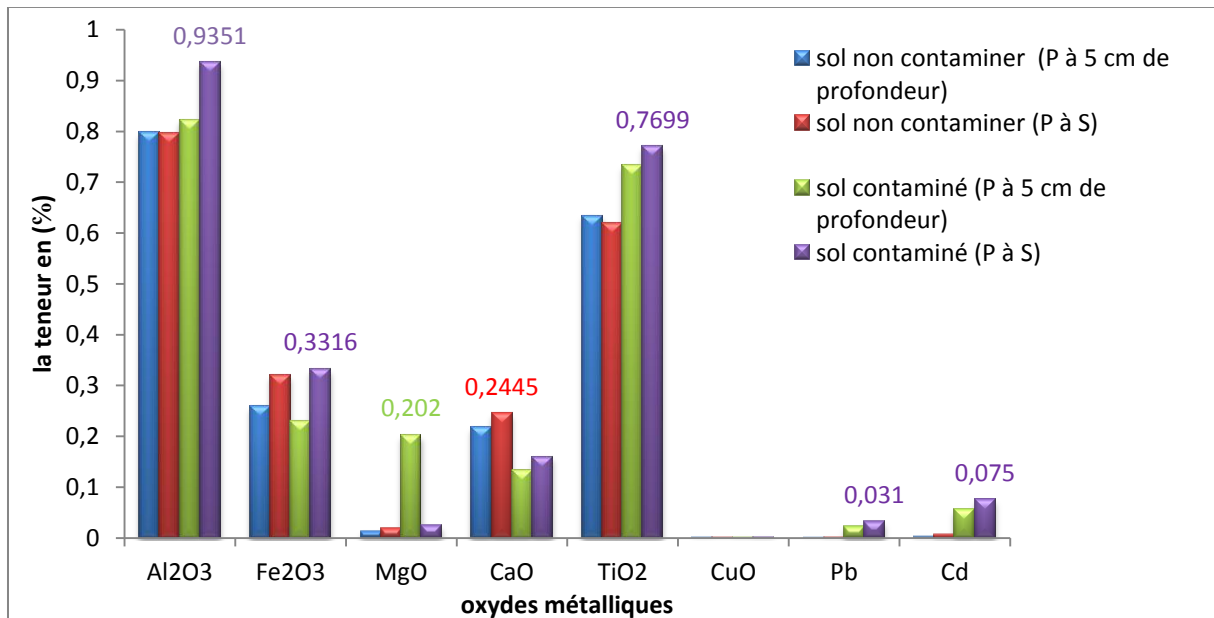


Figure III.13 Comparaison entre les quatre échantillons du sol.

D'après la figure (III.13) nos lecture est comme suite :

Concernant le sol contaminé, l'échantillon de surface ayant des taux privilégiés pour l'aluminium, le titane, le fer avec des pourcentages de 0,9351;0,7699;0,3316% successivement. Et 0,8214 ; 0,7324 ; 0,2311% pour l'échantillon à 5 cm de profondeur, ce qui nous informe que une grande quantité de minéraux qui sont portés par l'eau, reste à surface imprégné par les particules argileux.

Quant à le sol non contaminé du prélèvement de surface et à 5cm de profondeur, les deux valeurs en minéraux sont assez semblables afin que nous a permis de dire que, ce sol on peut l'utiliser comme référence pour estimer la situation du sol touché par l'eau du lavage.

En ce qui concerne les métaux les plus dangereux comme le cadmium et le plomb, leurs présences sont faibles par rapport aux autres minéraux. Donc les minéraux que nous voyons, influent sur la nature du sol, sont l'aluminium en premier lieu suivi par le titane, vu leurs teneurs élevées dans le sol contaminé, ce qui confirme leurs taux élevés dans l'eau de rejet.

Mais le problème s'apparaît quand on analyse les résultats du tableau III.12, tel que le sol contaminé a des valeurs de pH et d'humidité supérieures à celles de la terre non contaminée. Un pH de 9,57 et un taux d'humidité égal à 20,06% pour le sol contaminé (prélèvement à surface) et 9,3 et 16,5% respectivement pour le sol contaminé (prélèvement à 5cm de profondeur). Donc cette terre est imperméable pour l'oxygène même pour l'eau en ajoutant sa basicité ce qui la rend comme une terre inappropriée pour l'agriculture.

III.7.Evaluation le risque de poussière

Depuis longtemps, on sait que la pollution atmosphérique peut tuer, on peut se demander, s'il est vrai que le risque existe depuis toujours sur les lieux de travail et ne s'est pas massivement traduit par des maladies, plaintes ou absentéisme, s'il n'y a pas de question plus prioritaire.

Au niveau de l'unité ADWAN, et au cours de traitement du sable, il y a beaucoup de poussières qui génèrent, notamment dans les étapes de broyage et de tamisage et surtout au lieu d'ensachage de produit final (farine de silice), on ajoute aussi les poussières engendrées par les mouvements des camions et les travailleurs au-dedans de l'unité, ce qui forme un nuage de poussière rend la vie des travailleurs en risque .

Si on a pu mettre en évidence la réalité d'un effet de la taille de la particule, ou de sa surface, cela signifie-t-il pour autant que toutes les particules ultrafines de tailles comparables vont présenter les mêmes dangers.

La pollution par les particules fines est un problème vaste et complexe, malheureusement dans notre cas, il y a beaucoup de poussières au milieu de travail de l'unité (ADWAN), mais nous n'avons pas les moyens ou bien les appareils nécessaires pour faire des prélèvements sur site, donc il suffit de faire une estimation sur la quantité de poussière générée dans les endroits que nous les voyons plus adaptés pour la produire.

III.7.1. Mesure la quantité de poussière dans le lieu de travail

III.7.1.1. Effet de la sédimentation

Le principe de la sédimentation est essentiellement utilisé dans la mesure de la pollution particulaire de l'atmosphère. Les retombés de la pollution atmosphérique, c'est-à-dire les particules qui, dues à la pesanteur, retombent sur la terre, peuvent être mesurés par différentes méthodes qui ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients. Aussi, le vent intervient plus ou moins fortement sur les résultats.

Une autre difficulté réside dans le problème de quantifier les retombées. On peut les expliquer en masse de matières par unité de surface par jour, semaine ou par mois.

III.7.1.2. Boîtes de mesure

III.7.1.3. Description

Si l'on veut faire des mesures des retombés de poussières, on peut se servir des boîtes comme, les boîtes de pétri. Elles sont en plastique, d'un arrêtes de 20 mm de côté, avec un bord de 7 mm (voir la figure III.14). On les utilise exclusivement par temps sec.



Figure III.14. Photographie de boîtes de mesure.

Après leurs durées d'exposition (un, deux à 5 jours), on pèse leur contenance. Et pour faire une bonne mesure, on choisit trois lieux comme suit :

- ✚ On met 5 boîtes auprès le tamiseur (classification de sable).
- ✚ 5 boîtes auprès le broyeur.
- ✚ 5 boîtes auprès l'ensachage (c'est-à-dire le lieu où, on met la farine de silice dans des sacs d'une tonne, pour la vendre)

On a mis 5 boîtes à chaque lieu, car nous voulons faire une estimation sur la quantité de poussières retombés pendant 5 jours, donc chaque jours on enlève 3 boîtes.

Les résultats obtenus sont regroupé dans le tableau III.17.

le temps de sédimentation (jours)	1 J	2J	3J	4J	5J
Lieu de sédimentation	La masse de poussière (g /cm ²)				
Auprès le tamiseur	0,007	0,011	0,021	0,032	0,044
Auprès le broyeur	0,0095	0,017	0,029	0,041	0,053
Auprès l'ensachage	0,01	0,022	0,034	0,056	0,077

Tableau III.17.La quantité de poussières retombé.

Les résultats de mesure sont portés par les figures (III.15, III.16, III.17).

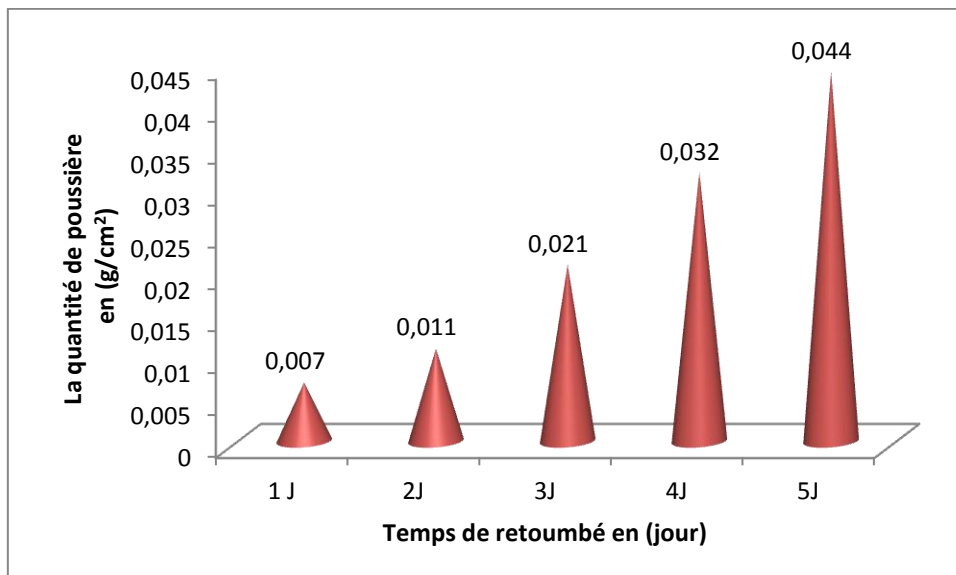


Figure III.15.La quantité de poussière accumulée auprès le tamiseur en (g/cm²).

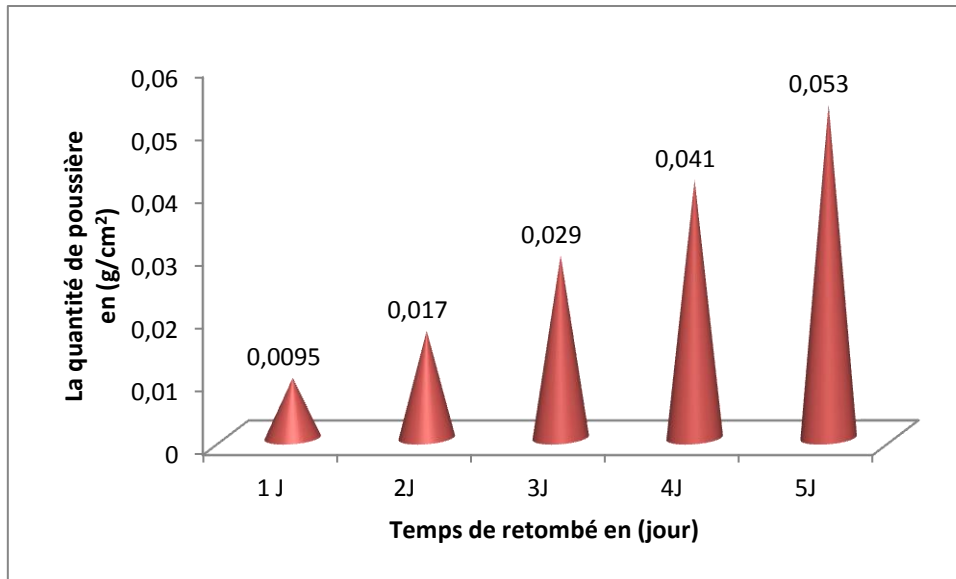


Figure III.16. La quantité de poussière accumulée auprès le broyeur en (g/cm²).

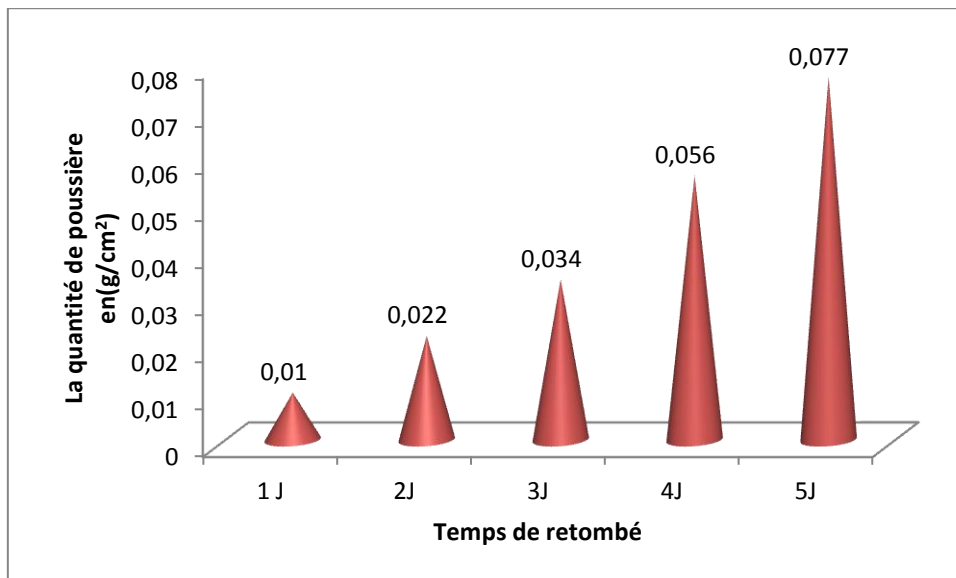


Figure III.17. La quantité de poussière accumulée auprès l'ensachage en (g/cm²).

Comparativement entre les trois figures, nous constatons que les résultats obtenus, ayants une même allure de croissante pendant les 5 jours de l'expérience.

Vu l'hétérogénéité des quantités collectés d'un lieu à un autre, il est évident que la source principale d'émission de poussières est lieu de l'ensachage suivi par les lieux de broyage, et de tamisage. Il faut noter que la quantité de poussières émettent par le tamisage en réalité sont supérieures aux résultats obtenus précédent, parce que le tamiseur est installé à l'air libre donc, le vent joue un rôle dans ce cas.

Finalement, et par cette simple expérience, on a pu estimer la quantité de poussières émettent de manière plus en mois précise, qui permetts a nous de prendre nos précautions au futur proche.

III.7.2. Analyse chimique

On prend une quantité de poussière qui déjà collecté par l'expérience précédente, et la fait une analyse par le spectre d'absorption atomique, pour savoir son contenu en minéraux.

Les résultats obtenus sont représenté dans la figure III.18.

composés	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	CuO	Pb	Cd
(%) massique	99,09	0,336	0,076	0,01	0,12	0,317	0,003	0,001	0,058

Tableau III.18. Les éléments chimiques de poussières.

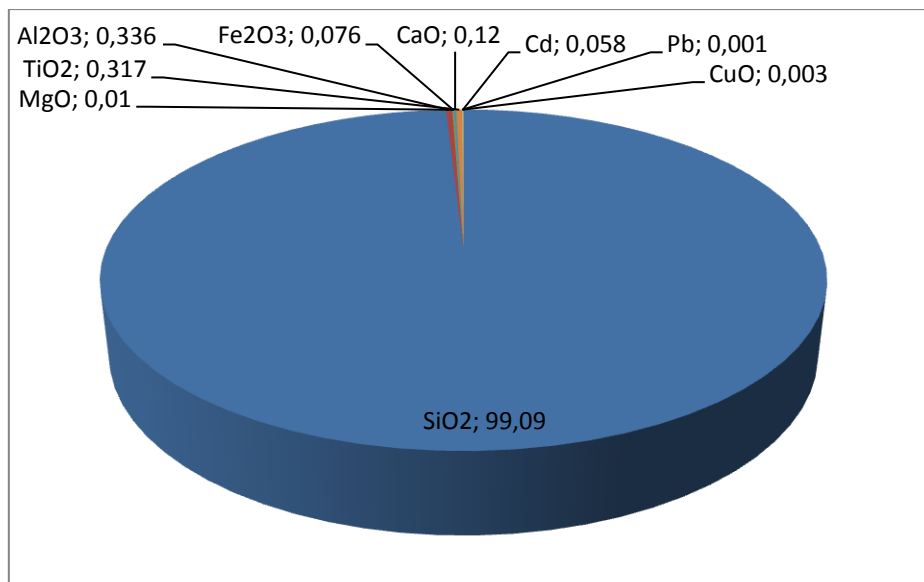


Figure III.18. Les éléments chimiques de poussières en (%).

D'après la figure III.18, il est évident la présence de silice avec une quantité importante, 99,09%, malheureusement cette dernière comporte une fraction notable de silice cristalline qui provoque la silicose pulmonaire. Il s'agit d'une maladie pulmonaire incurable provoquée par l'inhalation de poussières contenant de la silice cristalline libre. Elle est irréversible et, de plus, continue à progresser même après la fin de l'exposition. En cas d'exposition extrêmement forte, la durée de latence est raccourcie et la maladie évolue plus rapidement.

III.7.3. Analyse de la poussière par DRX -Analyse minéralogique

Pour une meilleure compréhension sur la nature de cette fraction siliceuse, La diffraction des rayons X est l'une des méthodes les mieux adoptées à l'analyse cristallographique des solides. Lorsqu'un faisceau de rayon X frappe la surface d'un cristal, le phénomène de la diffraction conduit à la diffusion du faisceau diffracté selon des directions caractéristique de la nature et de l'orientation du cristal, de telle sorte que la relation de Bragg soit satisfaite.

Relation de Bragg

$$n \lambda = 2 d_{(hkl)} \sin \theta \quad (16)$$

Avec :

n : ordre de réflexion

λ : longueur d'onde (Å°)

$d_{(hkl)}$: distance inter réticulaire (Å°)

θ : angle de Bragg.

Donc il est conseillé d'analyser une quantité de poussière de différent niveau, pour mieux connaître son degré de dangerosité sur le corps humain.

Le premier échantillon que nous voulons examiner c'est une poussière qui déjà collecté au niveau de tamiseuse, caractérisé par sa finesse et sa couleur jaune, on la nommé par la fraction argilo-siliceuse, car nous supposons qu'elle contient une portion d'argile en parallèle avec la présence de la silice.

Le deuxième échantillon est un mélange entre les poussières qui sont collectés au cours du broyage et de l'ensachage, cette dernière on l'appel fraction siliceuse car nous prévoyons qu'elle contient une grande quantité de silice. Cette poussière a une couleur blanche et particules extrêmement fines. Les résultats de DRX des deux échantillons sont représentés par les figures (III.19, III.20).

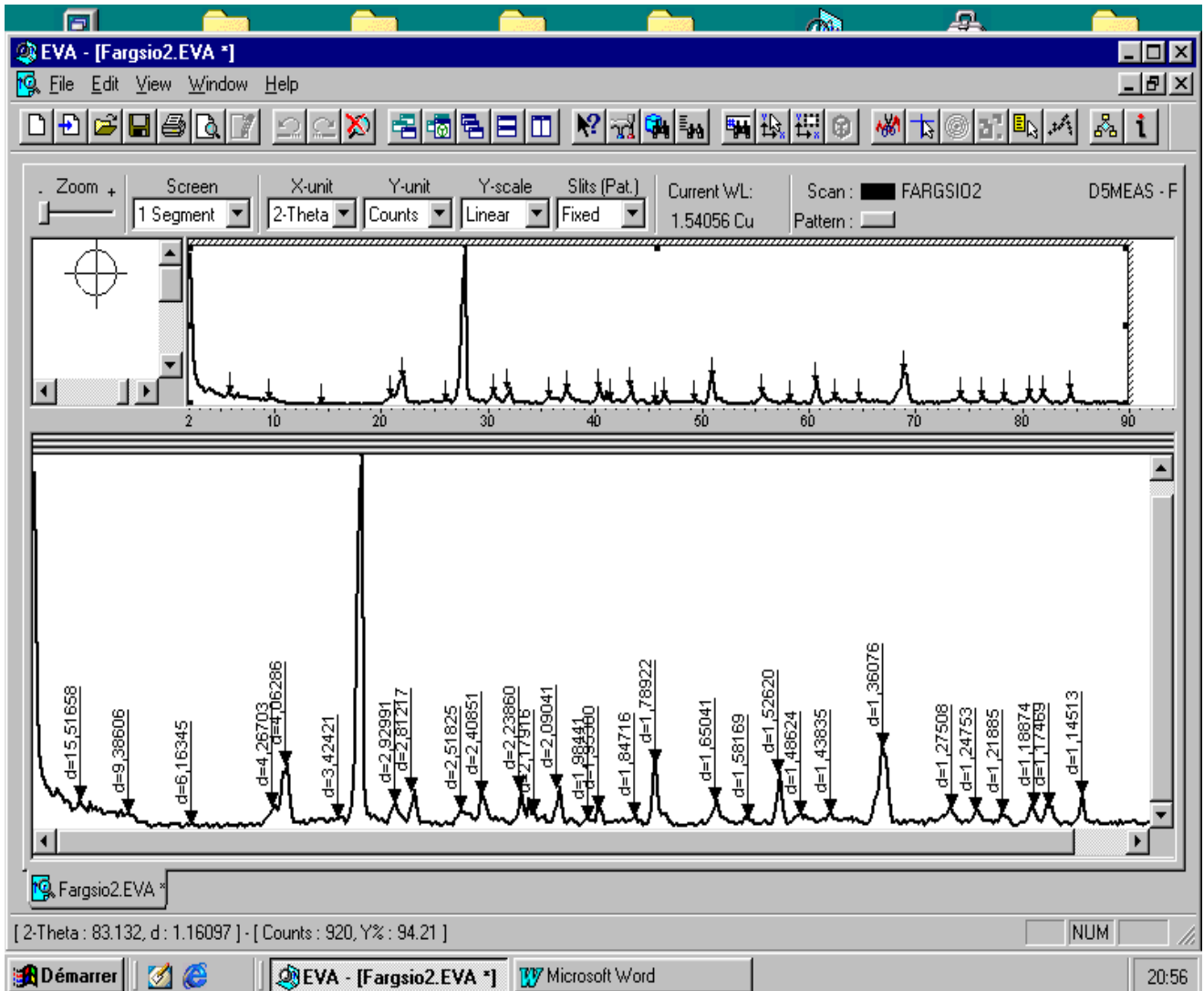


Figure III.19. Spectre de diffraction des RX de la fraction argilo-siliceuse (poussière sédimenté autour le tamiseur).

Le résultat de l'analyse par DRX de poussière, est un spectre d'énergie du faisceau diffracté en fonction de l'angle de diffraction 2θ . Les valeurs angulaires peuvent être converties en espace basal (en Angströms), et ce en appliquant la loi de Bragg. L'utilisation des normes ASTM, nous a permis d'identifier les composants de poussière. Les caractéristiques de l'échantillon (distance inter-réticulaires et angles de diffraction, voir les tableaux 04, 05, 06 de l'annexe A).

L'examen préliminaire du diffractogramme de la poussière collectée autour le tamiseur révèle la présence des minéraux suivants : Dolomite(D), Quartz(Q), Montmorillonite(M), Illite(I), Calcite(C), (voir le tableau 06 de l'annexe A). Les phases cristallines majeures contenues dans la fraction argile-siliceuse sont composés des minéraux suivants : la

dolomite(D), le quartz (minéraux non argileux) et la montmorillonite (minéral argileux), ce qui représente un taux de cristallisation égale à 94,21%.

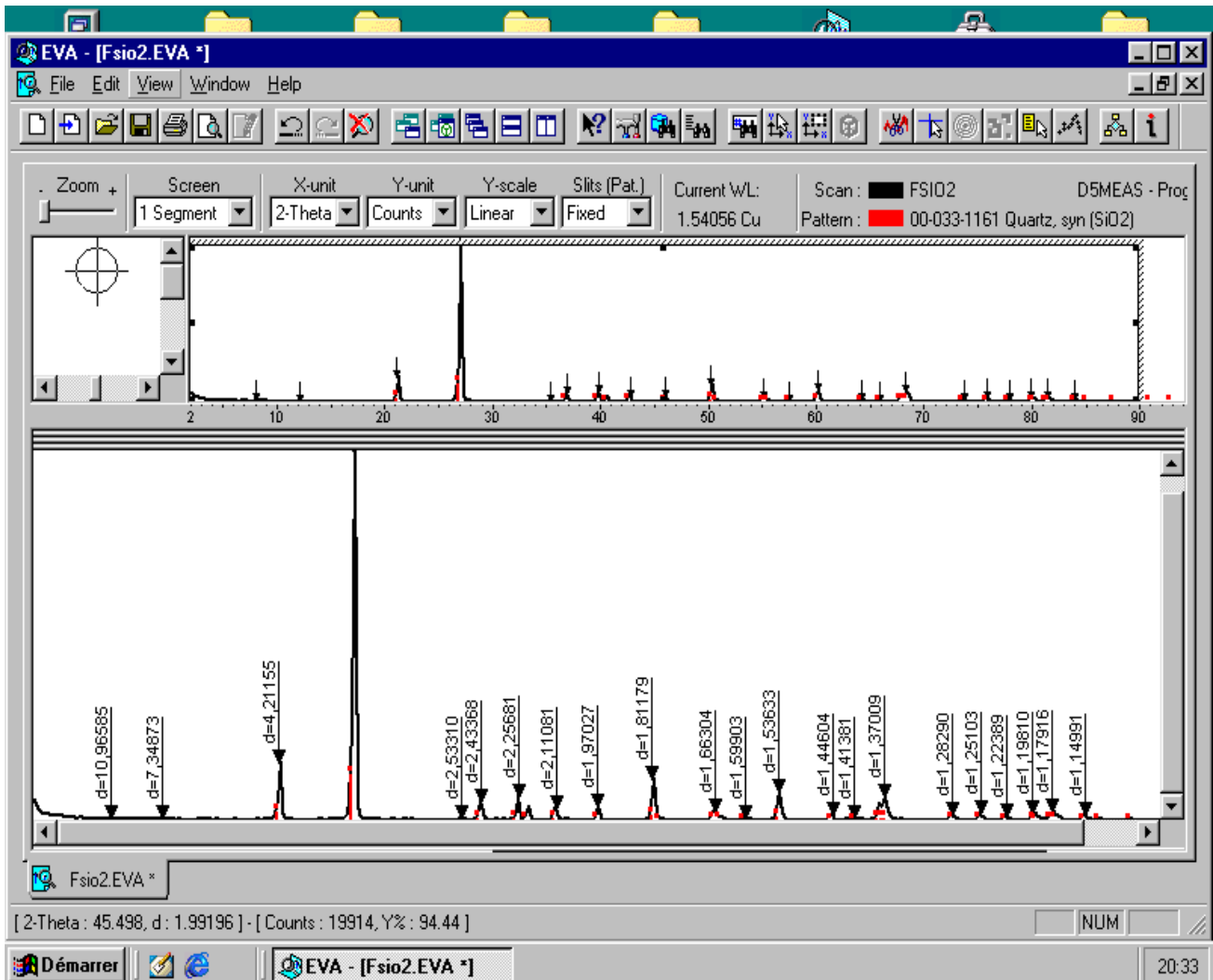


Figure III.20. Spectre de diffraction des RX de la fraction siliceuse (poussière sédimenté autour le broyeur et le milieu de l'ensachage).

Le diagramme de DRX de la poussière siliceuse présente des pics différents à celle de la poussière argile-siliceuse, talque le minéral le plus prépondérant est le quartz (apparaît en rouge dans le diagramme) en présence de la dolomite.

Donc les deux types de poussières contiennent des taux élevés en quartz mais l'intensité des pics de ce dernier dans la poussière siliceuse est remarquable ce qui donne un taux de cristallinité égal à 94,44%. Alors on peut dire que les deux échantillons de poussières ont des effets néfaste sur le corps humain car ils contiennent la silice cristalline, telle que cette dernière et selon ce que nous avons dit dans la partie théoriques provoque la silicose pulmonaire.

Conclusion et perspectives

D'après les données théoriques que nous avons recueilli au cours de cette recherche ,on peut dire que notre pays vit en effet une crise sérieuse de son environnement, les menaces demeurent graves, la détérioration du cadre de vie, la dissipation des ressources naturelles, la prolifération des décharges incontrôlés, la situation s'est aggravée en l'absence de concertation avec entre les collectivités locales et les autres responsables qui sont à la charge de secteur d'industrie et de l'environnement et en dépit des réformes économiques et le changement de modèle de développement ,engagé par le début des années 90 sous le signe vers l'économie de marché .

Cependant l'environnement et le développement sont deux défis liés qu'il faut relever .Le développement ne peut se maintenir si la base de ressources se détériore, l'environnement ne peut être protégé que si la croissance ne tient pas compte du coût de la détérioration de l'environnement.

Il n'est pas possible de parler de développement économique sans aborder les conditions et implication environnementales, élaborer une stratégie de développement durable permettant un équilibre harmonieux entre les préoccupations économiques, sociales et environnementales, constituera le véritable enjeu.

L'avancement de l'humanité et du confort de la vie quotidienne des gens a multiplié de façon continue les sources de pollution et les quantités d'éléments polluants rejetés par l'homme dans la biosphère, et la diversité de ceux-ci sans cesse a augmenté. Car les processus industriels, de plus en plus performants, assurent les produits nécessaires à la société actuelle mais, malheureusement, génèrent en même temps des résidus qui perturbent l'équilibre de la nature et menacent la vie sur notre terre.

La situation est inquiétante, du fait des activités industrielles et l'absence de respect envers la réglementation en vigueur, ce qui nécessite, la promotion du cadre technique et réglementaire dans les secteurs concernés et la participation active de secteur privé à la prise en charge de ce sujet. La dispersion des polluants dans les milieux où ils se manifestent (air, eau ou sol), leur transfert d'un milieu à un autre, leur intégration dans la biomasse et l'effet d'accumulation à travers des chaînes trophiques sont bien connus aujourd'hui et montrent que la protection de l'environnement est un problème majeur et grave et que l'on doit considérer au niveau planétaire.

Ce travail a été consacré à une étude physico-chimique sur les étapes de traitement de sable, (lavage, séchage, tamisage, broyage) l'étude du processus de traitement de ce dernier

Conclusion et perspectives

nous permet de localiser les lieux d'émission de pollution ce qui facilite de prendre des échantillons et les examiner au niveau de laboratoire. Les paramètres qui nous intéressent sont la granulométrie, les éléments chimiques, matières organiques, le pH, le taux d'humidité, le taux des solides,...etc.

La première partie a été consacrée à prélever des échantillons de sable avant (brut) et après le lavage et fait une comparaison entre eux. Concernant l'analyse physique (la granulométrie), la valeur obtenue 87,42% de grains ont la taille de 0,075 à 0,5mm donc et selon la norme ASTM (voir le tableau 1 de l'annexe A) notre sable (sable de Sig) est fin ce qui minimise le temps de broyage de ce dernier. Après le lavage, cette valeur a été augmenté pour atteindre 97,73%, ce qui montre la performance de lavage par l'eau, mais le problème qui se pose c'est que ce sable contient un taux d'argile élevé environ 8,2% en masse, ce qui représente un dixième de la quantité totale, une quantité importante qu'il faut réfléchir comment la valoriser, d'une autre manière comment réduire son volume ,qu'il doit noter que ces argiles caractérisées par une grande capacité d'absorption pour l'eau et forment des surfaces pâteuses dans les lieux de décharge ce qui cause la détérioration du paysage et sa métamorphose.

Quant à l'analyse chimique les valeurs obtenues ont montré que le sable de Sig contient des teneurs élevées en métaux chromophores, particulièrement le fer qui apparait sous forme des pellicules recouvrent le quartz ,et donne la couleur jaune et rouge au verre, ainsi que la teneur élevée de ces éléments augmente la viscosité à haute température en particulier l'alumine, mais après le lavage ces impuretés ont diminué considérablement par contre le taux en silice S_iO_2 a augmenté de 96,98 % dans le sable brut à 98,24% pour le sable lavé. Les valeurs du pH, de l'humidité, et de la matière organique, généralement sont normales et ne provoquent pas de problème.

La deuxième partie a été consacrée à l'étude de l'eau de rejet. L'eau utilisée au niveau de l'unité ADWAN est une eau de puits a un goût salé, pH =5, 50. Après le lavage cette valeur va neutraliser par les sels qui déjà existent dans le sable vers un pH de 7, 2.

Concernant les valeurs de TDS, initialement sont élevés comme la montre la valeur de l'eau avant l'utilisation, environ 2650 mg /l, mais cette dernière va augmenter vers 2800 mg /l après le lavage, ça sûrement revient à la quantité de sels qu'il contient le sable. Après la décantation la valeur de TDS a diminué légèrement vers 2750 mg/l, mais la quantité majeure

Conclusion et perspectives

est transporté par l'eau vers le milieu extérieur ce qui provoque la salinité du sol et automatiquement la détérioration de l'écosystème. Même cas pour les MES sa valeur est d'environ 35,66 g/l, diminue après la décantation vers 3,52 g/l, mais dans tout les cas on peut dire que les valeurs de TDS et de MES sont non conformes aux normes (voir les tableaux 2,3 de l'annexe A). En ce qui concerne les éléments chimiques, et selon les normes algériennes des rejets industriels liquides, les teneurs en minéraux métalliques et semi-métalliques sont généralement au-dessous des limites destinées par le décret. Sauf la teneur en cuivre elle est supérieure à la valeur limite.

Ces résultats nous ont encouragés d'élargir notre étude à faire des analyses sur la terre qui entoure le site dans la partie prochaine.

Dans la troisième partie nous nous sommes intéressés à faire des prélèvements de sols qui entourent l'unité, les uns touchés par le rejet et les autres non, à différents niveaux de profondeur pour déterminer le degré de pollution. Car l'absence de traitement des effluents (l'eau de lavage et l'eau du laboratoire, la boue) a conduit à une accumulation de ces derniers dans le milieu naturel. L'eau de lavage rejetée dans le milieu extérieur porte une quantité importante de particules fines (fractions argileuses-siliceuses), quand ces eaux sont absorbées par le sol, les fines particules restent à la surface en formant une couche de 2 à 5 cm d'épaisseur. Cette couche présente un pH et un taux d'humidité élevés 9,57 et 20,06% respectivement ce qui provoque l'asphyxie du sol même dans les moments de sécheresse tel que, cette dernière va se solidifier quand elle perd tout son contenu en eau, de manière à donner une plate-forme dure, ce qui rend la terre inapte pour la plantation. En ajoutant que les valeurs en minéraux dans le sol contaminé sont toujours supérieures à celles des sols non contaminés, quel que soit leur niveau de prélèvement, à la surface ou à 5 cm de profondeur, à l'exception pour les valeurs du calcium.

La quatrième partie a été consacrée à l'étude de l'émission de poussière. Donc on a fait une estimation sur la quantité générée dans les lieux que nous voyons plus adaptés pour la production. Par conséquent notre choix se fixe sur les lieux de tamisage, broyage et de l'ensachage. Vu l'hétérogénéité des quantités collectées d'un lieu à un autre, il est évident que la source principale d'émission de poussières est le lieu de l'ensachage suivi par les lieux de broyage, et de tamisage.

L'analyse de ces poussières par la DRX a montré ses dangers telles que, elles contiennent une proportion importante de quartz et de dolomite de nature cristalline, envers

plus de 94% de silice cristalline, qu'il faut noter que cette forme de silice est danger pour le corps humain selon les études d'OMS (voir la partie théorique).

Au vu des résultats obtenus, il s'avère donc nécessaire de réaliser une station d'épuration des eaux usées au niveau de site, en augmentant le volume de l'ancien décanteur pour favoriser la précipitation de fines particules (les colloïdes) comme un traitement primaire.

Au sujet de la boue, il est bien connu que le meilleur moyen de gérer le déchet (les argiles) est de réduire les quantités produites et de favoriser la valorisation. La première démarche de prévention est donc la réduction à la source, alors il faut choisir un sable qui contient une quantité faible en argile. La deuxième démarche est de le valoriser dans différents domaines, dont la fabrication de la brique, l'épandage agricole tel que selon l'analyse chimique de cette boue (fraction argileuse), elle contient des oligoéléments nécessaires pour les plantes, ajoutant qu'elle a un pH un peu basique donc nous conseillons de l'utiliser pour les sols acides.

On peut souligner aussi la nécessité du :

- Révision du dispositif législatif et réglementaire actuel et de le mettre en cohérence avec une stratégie nationale en matière de gestion des déchets et du concept de développement durable, la création d'une structure spécifique chargée de l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan national de gestion de pollution particulaire.
- Elaboration de normes et standards en matière de gestion écologique des déchets solides industriels.

*P*our limiter le risque de poussières on cite quelques conseils :

A) planifier la prévention :

- Planifier les approvisionnements (logistique) ; exemple : mise en place de la ventilation avant de démarrer un travail poussiéreux.
- Etablir des procédures d'intervention ; exemple : respecter une galerie des délais post-tir.
- Circonscrire les zones de danger ; exemple : capoter les convoyeurs pour ne pas exporter les risques.
- Respecter les procédures de surveillance ; exemple : effectuer des contrôles d'empoussièrement, vérifier l'état des filtres.
- Informer le médecin du travail, en vue d'une surveillance adaptée :
- Recueillir les résultats des contrôles d'empoussièrement

- Organiser les secours.

B) prendre des mesures de protection collectives en priorité sur les protections individuelles :

À ce stade des principes généraux de prévention, il s'agit de protection rapportées ;

- Collectives : ventilation, capotage, aspiration mobile, arrosage.
- Individuelles : appareil filtrant, isolant.

C) Formation, information des salariés :

- Formation à la sécurité des salariés exposés, y compris des captivités.
- Formation à l'usage des équipements de protection individuelle.
- Information sur le risque silicotique.

ASTM: American Society for Testing Materials.

BIT : Bureau international du travail.

CIRC : Centre international de recherche sur le cancer.

dB : décibel.

DRX : Diffraction des rayons X.

MES : Matières en suspension.

MO : Matières organiques.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

pH : potentiel hydrogène.

PM : Particulate matter.

RSST : Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec.

SAA : Spectre d'absorption atomique.

TDS : Total des solides.

- [1] Bliefert, Perraud, Chimie de l'environnement (air, eau, sols, déchets), p05, nov.2008.
- [2] Cadastre *National des Déchets Spéciaux "l'Elimination Ecologique des Déchets Spéciaux, Une Avancée Pour l'Environnement "*, 2002.
- [3] Hassani Ahmed Bendedouche Abderahim, Aptitude du sable de sidi Bouali pour la fabrication d'un verre blanc, *Mémoire de fin d'étude, institut national d'enseignement supérieur en chimie industriel de Mostaganem*, 1991.
- [4] NOURINE Fatima NAIMI Fatiha, Amélioration de la qualité du sable traité à l'ENAVA d'Oran, *Projet fin d'études, Université de Mostaganem, institut de chimie industrielle*, 1993.
- [5] F. Gabrysiak, Matériaux-Les Granulats-Chapitre 2,2001.
- [6] Patrick BROUD, Panorama des techniques de traitement des Déchets d'Assainissement, *FNSA*, 2009.
- [7] Centrale de lavage de sable www.estruagua.com
- [8] HUBER TECHNOLOGY, Laveur-classificateur de sable, COANDA, JPE – 10.2004
- [9] Dalila DJERROUD, Modélisation markovienne du séchage continu par contact avec agitation. *Thèse, Institut National Polytechnique de Toulouse*, 2010.
- [10] Gustavo Ernesto CÁCERES SALAZAR, Modélisation du séchage d'un milieu poreux saturé déformable : prise en compte de la pression du liquide. *Thèse, école nationale supérieure d'arts et métiers centre de bordeaux*, 2006.
- [11] WHITAKER S. Simultaneous heat, mass, and momentum transfer in porous media: a theory of drying. *Advances in heat transfer*, 13, pp 119-203, 1977.
- [12] ADEME /Agence de l'environnement et de la matière de l'énergie, DABEE/*Département Industrie et Agriculture*, 2006.
- [13] Les métiers de l'énergie – Ingénieurs de l'énergie, *Université de Liège – Haute Ecole Charlemagne – Hemes*, 2002 .
- [14] Saber CHEMKHI, Séchage d'un milieu déformable non saturé : Modélisation du couplage hygromécanique, *Thèse en cotutelle entre l'université bordeaux 1 école doctorale des sciences physiques et de l'ingénieur*, 2008.
- [15] A. Gevaudan. Etude du séchage par contact de milieux granulaires agités, Application à l'opération de cuisson-séchage de manioc. *Thèse INSA Lyon*, 1989.
- [16] Installations et équipements pour produits en vrac, <http://www.gericke.net>
- [17] Concassage-broyage : généralités, *Université de Lausanne-Institut de minéralogie et géochimie*, 2006.

- [18] Sophie GALDEANO, Influence des conditions de broyage sur la distribution de nanoparticules magnétiques (Fe, Co) dans une matrice de cuivre, *université paris 7 – dénis Diderot UFR de physique*, 2001.
- [19] Elodie Romilliat, Etude des modes d'action d'agents de mouture sur le broyage du clinker, *Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne et de l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne*, 2006.
- [20] J.S. Benjamin, "*Dispersion strengthened superalloys by mechanical alloying*", Metall. Trans. 1, 2943-2951, 1970.
- [21] Sohoni, S., Sridhar, R., Mandal, G., The effect of grinding aids on the fine grinding of limestone, quartz and Portland-cement clinker, *Powder technology*, V67, N3, pp 277-286 1991.
- [22] Grachjan, A.N., Dovyborova, L.N., Influence des substances tensioactives sur l'intensification du broyage et sur les propriétés des ciments Portland, *Silikattechnik*, V22, N12, pp 405-407 , 1971.
- [23] OUZIR Malika, Gestion écologique des déchets solides industriels cas d'étude la ville d'Arzew soutenu publiquement, *obtention Du diplôme de magistère, Institut de Gestion des Techniques Urbaines, Université de M'sila*, 2008.
- [24] Davies K. et B. Sadler. *Evaluation environnementale et santé humaine : perspectives, approches et orientations. Document d'information pour l'étude internationale sur l'efficacité de l'évaluation environnementale*. International association for Impact assessment, mai 1997.
- [25] Patrick Michel, L'étude d'impact sur l'environnement, *Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement*, 2006.
- [26] Guigo M. et al. *Gestion de l'environnement et études d'impact*. Masson géographie, 1991.
- [27] MARGOSSIAN, *Aide-mémoire du risque chimique*, Dunod, Paris, 2002.
- [28] Louise Schriver-Mazzuoli, La pollution de l'air intérieur, Dunod, Paris, p.133, 2009.
- [29] Nichan Margossian, Risques professionnels, caractéristiques, réglementation, prévention, p.125, 199, 261, 2006.
- [30] C. BLIEFERT et R. PERRAUD, *Chimie de l'environnement*, De Boeck Université, 2001.
- [31] Prof. DE BLAY, Les allergies respiratoires, *faculté de médecine, ULP Strasbourg*, 2002.
- [32] LAROCHE (J.). – *Les méfaits du bruit*. Dans *Produits et problèmes pharmaceutiques*, 1970.
- [33] JOUHANEAU (J.). – *Effet du bruit sur l'homme*. [G 2 720], vol. G2, 2001.

- [34] Géologie des argiles, 2000.
- [35] Jérôme GAOMBALET, Le gonflement des argiles et ses effets sur les ouvrages souterrains de stockage, Thèse, Ecole Polytechnique, 2004.
- [36] Caractéristiques et propriétés physiques des sols, in '*The Nature and Properties of soils*', 1999.
- [37] Le gonflement des argiles et ses effets sur les ouvrages souterrains de stockage Soutenue par Jérôme GAOMBALET le 26 mars 2004.
- [38] Davis GS, Silica. Occupational and environmental respiratory disease, p.373, 1996.
- [39] Stäube, Rauche und Nebel, Poussières, fumées et brouillards sur les lieux de travail : risque et prévention, Comité AISS chimie, Toulouse (France) 11-13 juin 2001.
- [40] Emploi des matériaux pulvérulents, *institut national de recherche et sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles*. Mars 2004.
- [41] Delabre L, Pilorget C, Garras L, Févotte J et le groupe Matgéné, Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre- Présentation d'une matrice emplois –exposition aux poussières de silice cristalline libre .Saint-Maurice (Fra) : *institut de veille sanitaire*, février 2010,15p. Disponible sur : WWW.invs.sante.fr
- [42] Charles Beaudry, Chantal Dion, Michel Gérin, Guy Perrault, Denis Bégin, Jérôme Lavoué, Exposition des travailleurs de la construction à la silice cristalline, bilan et analyse de la littérature, *institut de recherche Robert-Sauvé en santé*, 1980.
- [43] X43-100-Air ambiant .Définitions des fractions de tailles des particules pour l'échantillonnage lié aux problèmes de santé .Paris –la défense, AFNOR, 12p, nov.1984.
- [44] Croteau, G. A.; Guffey, S. E.; Flanagan, M. E. Seixas, N. S. the Effect of Local Exhaust Ventilation Controls on Dust Exposures during Concrete Cutting and Grinding Activities. *American Industrial Hygiene Association Journal* 63(4):458-467, 2002.
- [45] IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to Humans: volume 68: Silica and some silicates. 1997.
- [46] Maladies professionnelles silice, *organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics*, Fiche de sécurité H2 F 11 97 ,1997 .

granulat	Argiles fines	Limons et argiles	Sable fins	Sable moyen	Sable grossier	Gravier fins
Diamètre (mm)	0-0,053	0,053-0,063	0,075-0,5	0,5-2	2-15	15-20

Tableau .1.Classification granulométrique ASTM.

Niveau de TDS (milligrammes par litres)	Évaluation
Moins de 300	Excellent
300 - 600	Bien
600 - 900	Passable
900 - 1200	Faible
Plus de 1200	Inacceptable

Tableau .2.Goût de l'eau avec différentes concentrations de TDS.

5 - Industrie de minerais non métallique :**a - Céramique :**

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	30
PH	-	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5
DCO	mg/l	80	120
Matière décantable	"	0,5	1
Plomb	"	0,5	1
Cadmium	"	0,07	0,2

b - Verre :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES INDUSTRIES ANCIENNES
Température	°C	30	30
PH	-	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5
DCO	mg/l	80	120
MES	"	0,3	0,5
Plomb	"	0,5	1
Cadmium	"	0,07	0,2
Chrome	"	0,1	0,1
Cobalt	"	0,1	0,1
Cuivre	"	0,1	0,3
Nickel	"	0,1	0,5
Zinc	"	2	5

PH : Potentiel d'hydrogène
DCO : Demande chimique en oxygène
MES : Matière en suspension

Tableau .3. Tolérance à certaines valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels.

Angle	d value	Intensity	Intensity %
2-Theta °	Angstrom	Count	%
5,691	15,51658	77	7,9
9,415	9,38606	45	4,6
14,359	6,16345	13	1,3
20,8	4,26703	60	6,1
21,858	4,06286	170	17,4
26	3,42421	32	3,3
27,698	3,21807	977	100
30,485	2,92991	69	7,1
31,794	2,81217	99	10,1
35,622	2,51825	54	5,5
37,304	2,40851	90	9,2
40,253	2,2386	106	10,8
41,4	2,17916	45	4,6
43,244	2,09041	109	11,2
45,681	1,98441	24	2,5
46,438	1,9538	50	5,1
49,292	1,84716	34	3,5
51	1,78922	173	17,7
55,643	1,65041	73	7,5
58,287	1,58169	29	3
60,623	1,5262	148	15,1
62,433	1,48624	37	3,8
64,76	1,43835	45	4,6
68,953	1,36076	216	22,1
74,329	1,27508	55	5,6
76,259	1,24753	48	4,9
78,391	1,21885	44	4,5
80,779	1,18874	60	6,1
81,95	1,17469	62	6,3
84,545	1,14513	90	9,2

Tableau. 4. La distance inter-réticulaire en fonction de l'angle 2θ , (poussière sédimenté autour le tamiseur).

Angle	d value	Intensity	Intensity %
2-Theta °	Angstrom	Count	%
8,056	10,96585	136	0,6
12,033	7,34873	58	0,3
21,077	4,21155	3297	15,6
26,896	3,3121	21086	100
35,406	2,5331	63	0,3
36,904	2,43368	1057	5
39,914	2,25681	1261	6
42,806	2,11081	664	3,1
46,027	1,97027	744	3,5
50,32	1,81179	2293	10,9
55,184	1,66304	501	2,4
57,595	1,59903	66	0,3
60,182	1,53633	1585	7,5
64,374	1,44604	285	1,4
66,025	1,41381	95	0,5
68,418	1,37009	1272	6
73,8	1,2829	264	1,3
76,008	1,25103	383	1,8
78,007	1,22389	209	1
80,019	1,1981	350	1,7
81,574	1,17916	451	2,1
84,113	1,14991	280	1,3

Tableau. 5. La distance inter-réticulaire en fonction de l'angle 2θ (poussière sédimenté autour le broyeur et le milieu de l'ensachage).

2 θ (°)	d _{hkl} ASTM	Natures des phases
19,81	4,50	M
	4,46	I-M
20,8611	4,23	Q
21,9802	4,00	Q
	4,03	D
23,6044	3,77	M
25,7878	3,33	Q
	3,33	I-M
26,6174	3,34	Q
	3,35	I
27,6588	3,21	M
29,4505	3,02	M
	3,03	C
30,8623	2,09	I
	2,89	D
34,9981	2,58	M
	2,58	I
36,5449	2,45	Q
39,409	2,27	I
	2,28	C
40,2178	2,28	Q
41,6755	215	M
42,4056	2,127	Q
	2,14	I
45,7485	1,97	Q
50,0872	1,81	Q
	1,80	D
50,9306	1,78	D
53,9904	1,70	M
	1,69	I
59,9521	1,54	Q
	1,54	D
61,8894	1,493	M
	1,50	C
	1,48	I
68,1621	1,37	Q

Tableau.6 Classification des minéraux ASTM [Quartz(Q), Dolomite(D), Illite(I), Montmorillonite(M) et Calcite(C)].

فيما تبقى مصالح البيئة غائبة عن حقيقة وضع المنطقة الصناعية نفايات كيمياوية لشركة خاصة تهدد هكتارات من المحاصيل الزراعية في مستغانم

يواجه فلاحو منطقة فرناكة التابعة لولاية مستغانم والمتواجدين بالقرب من المنطقة الصناعية، مشاكل عديدة منذ قرابة الثلاث سنوات بخصوص الخسائر المادية الجذبة معتبرة التي يحصدونها خلال كل موسم بسبب تسرب مواد كيمياوية من المصنع المجاور التابع لشركة عدوان للكيمياويات بالجزائر، الذي أنشأ الوحدة الصناعية مطلع 2008، ويعتبر من بين الشركات الأوائل بالمنطقة الصناعية التي تبقى تعاني العديد من النقصان بخصوص التهيئة والتجهيز الداخلي والخارجي للمنطقة.

بن حالة أنيس

حيث دخل فلاحو المنطقة منذ الأونة الأخيرة في جدال مع المدير العام للمصنع بخصوص النفايات الكيماوية الهائلة التي كانت تطلقها الوحدة على الهكتارات من المحاصيل الزراعية المتواجدة بالقرب منها، مما أثر بشكل مباشر على المحصول الزراعي المتخصص بذات المنطقة على غرار البطاطا والجلبانة التي أتلفت أغلبيتها بسبب هذه المواد الكيماوية المتسربة إلى الحقول الزراعية والممتدة على مساحة تقدر بأكثر من 5 هكتارات على الأقل، التي تمثل أغلبيتها أراضي مستأجرة من قبل الفلاحين قصد تشغيلها واستغلالها في الميدان الفلاحي في إطار استغلال الأراضي الفلاحية، إلا أن فوائد هذه العمليات المتتالية سرعان ما تبخرت أغلبيتها في ظل الخسائر الناجمة من موسم إلى آخر بالرغم من الشكاوى العديدة التي تقدم بها الفلاحون إلى كل من والي الولاية ومصالح الدرك



الوطني، بالإضافة إلى مصلحة البيئة قصد التحقيق في الأمر وتحديد مدى خطورة هذه النفايات الكيماوية التي تؤثر بشكل كبير على المحيط البيئي وعلى الأشخاص أيضا مع مرور الوقت؛ بتعرضهم إلى أمراض مزمنة نظرا إلى التركيز الفعال لهذه المواد التي تستعمل غالبا كمواد أولية لصناعة أي مواد أخرى حامضة، ويبقى العائق الأكبر من كل هذه المعطيات الصمت الرهيب التي تلتزمه مديرية البيئة التي بالرغم من تنقلها في العديد من المرات إلى مدير شركة عدوان لـ "النهار":

الفلاحون هم المتسببون في الكارثة وأرادوا التحايل على الشركة

مخصص، كما تم إيجاد من قبل أعواننا كياسا من الإسمنت والتراب مرمية بطريقة متعمدة داخل القنوات لتوقيفها واختلاق المشاكل على مستوى المنطقة، كما أكد المتحدث، أن الشركة على أتم الاستعداد لمقابلة أي شخص أو ضحية يثبت أن هذه الخسائر ناتجة عن موادنا أو نفاياتنا، قصد منحه التعويض اللازم بطريقة قانونية.

بن حالة أنيس

الفلاحين الذين تقدموا بانشغالهم المتمثلة في الخسائر الناجمة عن النفايات التي يطلقها المصنع غير مصحوبة بخبرة علمية من قبل أية جهة رسمية تثبت هذه الأقوال أو على الأقل تحدد مصدر هذه الخسائر، والأكثر من ذلك، اعتمد البعض من الفلاحين على تحطيم قنوات الصرف التي تنقل كافة نفايات المنطقة الصناعية إلى مكان

من جهته، أكد المدير العام لشركة عدوان للكيمياويات بالمنطقة الصناعية لفرناكة من خلال تصريحاته للنهار، أن كل القضية التي يطالب بها الفلاحون في الأونة الأخيرة ما هي إلا حيلة منهم للحصول على تعويضات وامتيازات مالية من قبل الشركة، بالرغم من أننا لا نتحمل أية مسؤولية عن هذه الحادثة، كما أضاف المتحدث، أن جميع

معركة بين اتحادات

شهد مساء أمس جيلالي إلى معركة حربية والمصبي بين الاتحاد الوطني كماما المكتة للطلبة الصفيين وبيدات الشراي التصحيحية قصد المشار بالفتاة، لكن للتخطيط له بالعجوة والعديد من العناصر المتأكدت أصا التصحيح للاسماف، ورئاسة الجا الصاعقة الكار

.. وتوقية مخد

تمكن سناء بشارع سيدي توقيف شه الكيف الما كانت مخبأة التلمس الج البائع من الأ تقديمه أمام محكمة سفيز الحبس.

غياب الغاز استياء

عبر سكان دو سيدي أحمد من الوضعية حيث بيتوا إذ موجهة إلى النهار نسخة مطبوع الأسا المقارن الطبيب الناقل للغاز المنطقة، من المادة الحي معاناة كيب الأخيرة، إذ العمومية يا حاجتهم الم مؤكدين أن على الأصا لسكان قد إلى معاناة ت فقط تقلص

Des terres agricoles empoisonnées par une société saoudienne à Fornaka

ALERTE A LA POLLUTION ..!

C'était au mois de mars dernier. Une information relative à une « pollution » dans la zone d'activités de Fornaka avait fait alors presque le tour du monde. A l'origine de cette information, un fellah, riverain de la zone, accusant l'entreprise privée Adwan Chemicals d'avoir, par « ses eaux usées industrielles », ravagé ses champs et détruit ses récoltes. Aujourd'hui, soit presque trois mois après, partout où Réflexion s'est rendu, il n'existe pas un rapport d'expertise ayant conclu explicitement à une pollution dans cette zone d'activités, désigné nommément un pollueur, et donné lieu à des mesures de correction, et à des sanctions et des réparations. Que s'est-il passé au juste, et où en est-on à propos de cette « pollution »? Voici, une tentative de réponse...

Sur la genèse de cette affaire de « pollution »

Tout a commencé, en effet, quand les eaux usées provenant de la zone d'activités avaient inondé les terres agricoles d'un fellah mitoyen de cette zone. Une inondation aggravée alors par les eaux pluviales, comme il nous a été expliqué lors de notre récente visite des lieux. Conséquence immédiate de cette inondation : pertes de récoltes et des parcelles de terre brûlées, où plus rien ne peut désormais y être planté, selon les déclarations du fellah « sinistré », de son vrai nom, BENJEMAA M'hamed. Pour ce dernier, c'est l'entreprise privée Adwan Chemicals qui est à l'origine de son malheur. Mais, détail important, à part une photo, notre interlocuteur ne dispose pas d'un dossier dûment documenté en ce qui concerne ses pertes et les eaux usées qu'il incrimine. Pour faire valoir « ses droits » à une indemnisation pour les pertes qu'il dit avoir subies, le fellah a remué ciel et terre. Il a saisi par écrit le wali, la Direction de l'Environnement, la Direction des Services agricoles, le ministère de la l'agriculture. Il a même écrit au Président de la République, selon la copie qu'il nous a remise. Il a également saisi certains journaux pour se faire entendre. Ainsi, entre le 11 mars 2012 et le 20 mars 2012, pas moins de 2 articles de presse ont rapporté son cas. Le fellah dit, cependant, qu'à ce jour, il n'a reçu qu'une seule et unique réponse, et de surcroît, sur son téléphone portable. Précisément, un appel téléphonique émanant du ministre

de l'agriculture en personne, lequel lui aurait promis de se pencher sur son problème. Ce fellah nous confie enfin qu'il va continuer encore à attendre une réponse, avant de s'en remettre au Ciel, définitivement et en dernier recours, au cas où l'oreille sourde finit, par malheur, par avoir le dernier mot...

La riposte de l'entreprise privée Adwan Chemicals

Se voyant étalée dans la presse dans le cadre d'une affaire de « pollution », et citée nommément en tant qu'accusé principal dans les requêtes du fellah, l'entreprise privée Adwan Chemicals a pris ses devants et a commencé à réagir. De prime abord, son responsable HSE (santé, sécurité et environnement) fait un constat sur le terrain, rédige un rapport détaillé et le remet à sa hiérarchie. Ce rapport, dont nous détenons une copie, parle de canaux obstrués, de bassin de décantation complètement sous les eaux car jamais entretenu. Photos à l'appui, le même rapport attribue le retour des eaux usées vers l'unité de Adwan, aux sacs remplis de terre ayant été volontairement mis dans les regards pour obstruer le réseau. A ce propos, le responsable HSE de Adwan Chemicals nous parle de 2 hypothèses. Selon lui, soit les auteurs l'ont fait exprès pour provoquer intentionnellement des inondations sur leurs propres champs avec pour finalité de soutirer de l'argent à son employeur. Soit ils ont agi ainsi pour « remédier » au débordement du bassin de décantation situé au bout du réseau d'assainissement de la zone, du fait qu'il déversait son surplus dans les champs avoisinants. Accompagné d'une lettre, le rapport de Adwan est diffusé, le 15 mars 2012, aux destinataires suivants : l'APC de Fornaka (principal destinataire), la wilaya, la Daïra de Ain Nouissy, la Direction des Industries et des Mines, la Direction des PME/PMI, et la Direction de l'Environnement. Dans sa lettre d'accompagnement, la Direction de Adwan Chemicals évoque « *la dégradation avancée du réseau de drainage de la zone de Fornaka* » et juge « *l'état de ce réseau inadapté par rapport à la grandeur de la zone industrielle de subvenir à tous les rejets qui sont en augmentation graduelle* ». Et elle préconise « *de convoquer la commission de suivi de la zone industrielle pour trouver une solution...* ». Ne voyant aucune réponse lui parvenir, elle adresse, 15 jours plus tard, un rappel aux mêmes destinataires. Le jour de notre passage, soit presque 2 mois après ce rappel, la Direction de Adwan Chemicals était toujours sur sa faim... Signalons enfin que cette même Direction ne nous a montré aucune correspondance antérieure à la date du 15 mars 2012, ayant pour objet une quelconque plainte relative au réseau d'assainissement de la zone.

La Direction de l'Environnement prend l'affaire en main

Le 18 mars 2012, et en réaction à la lettre de Adwan Chemicals du 15 mars 2012, la Direction de l'Environnement prend l'affaire en main et dépêche son inspecteur principal sur le terrain. Précisons au passage que le fellah « sinistré » n'a saisi cette même Direction que le 04 avril 2012 selon la copie du reçu postal en notre possession. L'inspecteur dépêché revient donc en fin de visite des lieux avec un PV où il conclut que « *le bassin de décantation recevant les eaux usées industrielles est sous dimensionné et ne peut recueillir toutes les eaux pluviales et industrielles. Ces dernières vu le débordement du bassin prennent un chemin préférentiel et se déversent sur les terrains agricoles avoisinants pouvant les affecter* ». Il estime aussi que « *la réalisation d'un système d'épuration des effluents liquides adéquats de la zone d'activité s'avère nécessaire dans le but de mettre un terme à cette pollution* ». Le PV a été adressé ensuite aux destinataires suivants : le wali, la Direction des PME/PMI et la Daïra de Ain Nouissy. Il est à remarquer que dans son PV, l'inspecteur avance explicitement le mot « *pollution* » mais sans désigner un ou des « pollueurs » et sans aller plus loin et étayer son assertion par une expertise. Les choses en sont restées là donc. Et c'est, pour le moins, un comble pour une institution publique chargée à faire respecter et appliquer la réglementation du pays en matière d'environnement. On n'y comprend rien encore quand on apprend l'existence d'une commission de wilaya chargée de la surveillance et du contrôle des installations classées ... Mais les apparences sont souvent trompeuses. En effet, à la Direction de l'Environnement, on travaille d'arrache-pied sur ce sujet de « pollution » mais sans trop faire de bruit. Le Directeur nous apprend d'abord que rien n'est laissé au hasard en matière d'environnement et de santé et sécurité de la population. Ainsi, nous dit-il, dès la phase projet, l'industriel doit montrer « patte blanche » en présentant une étude d'impact sur l'environnement et une étude de dangers faite par un organisme habilité. C'est la condition sine qua non pour s'installer et exploiter. Au sujet de la « pollution » signalée à la zone de Fornaka, la Direction est à pied d'œuvre pour démêler cet écheveau. Ainsi, il sera procédé dans les jours à venir à l'analyse des eaux usées à différents niveaux. C'est-à-dire, aussi bien, au niveau des unités industrielles qu'au niveau du réseau principal. Et à l'issue de cette expertise, tout le monde sera fixé enfin sur ce cas de « pollution » qui n'a que trop duré. Aussi bien qui de droit, que l'entreprise Adwan Chemicals et le fellah « sinistré ».

LE JOURNAL RÉFLEXION : MARDI 12 JUIN 2012

(MOSTAGANEM, ALGER)

Figure I.1. Schéma de principe du laveur –classificateur de sable COANDA.

Figure I.2. Vitesses d'écoulement générées par une tulipe COANDA.

Figure I.3. Photographie d'un schéma du laveur –classificateur de sable.

Figure I.4. Représente quelques types de sècheurs et leurs destinations.

Figure I.5. Schéma représente le refus et le passant dans une opération de tamisage.

Figure I.6. L'effet de la taille des particules sur le rapport refus /passant.

Figure I.7. Tamiseur centrifuge.

Figure I.8. Schéma de principe du broyage à haute énergie : alternance de déformations plastiques, fractures, collages.

Figure I.9. Modes de broyage d'un grain de poudre selon Rumpf, lors de broyages mettant en jeu des boulets et/ou les parois d'un broyeur (source : Sté Fritsch).

Figure I.10. Différents types de broyeurs utilisés pour le broyage de sable.

Figure I.11. Trois régimes différents possibles dans un broyeur à boulets : la vitesse de rotation croît de (a) à (c).

Figure II.1. Les causes de pollution du sol.

Figure II.2. Photographie de L'eau de rejet à FORNAKA.

Figure II.3. Les différents types d'argiles.

Figure II.4. Représentation des cations adsorbés à la surface des argiles.

Figure II.5. La propriété colloïdale des argiles.

Figure II. 6. la dispersion et la floculation des argiles.

Figure II.7. Répartition moyenne en% des différentes phases du sol.

Figure II.8. Les différentes formes de silice.

Figure II.9. Arbre respiratoire.

Figure II.10. Mécanisme d'épuration.

Figure III.1. Le (%) de refus de sable brut en fonction de taille des tamis.

Figure III.2. Les minéraux de sable brut en (%).

Figure III.3. Le (%) de refus de sable lavé en fonction de taille des tamis.

Figure III.4. Les minéraux de sable lavé en (%).

Figure III.5. Les teneurs des métaux lourds de l'eau de rejet en(%).

Figure III.6. Les teneurs des métaux lourds dans la boue(%).

Figure III.7. Photographie apparait l'eau de rejet du lavage de sable à **FORNAKA**.

Figure III.8. Photographie apparait la couche d'argile forme après l'évaporation de l'eau de lavage à **FORNAKA**.

Figure III.9. Les teneurs des oxydes métalliques dans un sol contaminé (prélèvement à la surface) en (%).

Figure III.10. Les teneurs des oxydes métalliques dans un sol contaminé (échantillon à 5 cm de profondeur) en (%).

Figure III.11. Les valeurs des oxydes métalliques du sol non contaminé (prélèvement à la surface) en %.

Figure III.12. Les valeurs des oxydes métalliques du sol non contaminé (échantillon à 5 cm de profondeur) en %.

Figure III.13. comparaison entre les quatre échantillons du sol.

Figure III.14. Photographie de boites de mesure.

Figure III.15. La quantité de poussière auprès le tamiseur en (g/cm^2).

Figure III.16. La quantité de poussière auprès le broyeur en (g/cm^2).

Figure III.17. La quantité de poussière auprès l'ensachage en (g/cm²).

Figure III.18. Les éléments chimiques de poussières en (%).

Figure III.19. Spectre de diffraction des RX de la fraction argilo-siliceuse (poussière sédimenté autour le tamiseur).

Figure III.20. Spectre de diffraction des RX de la fraction siliceuse (poussière sédimenté autour le broyeur et le lieu de l'ensachage).

Tableau I.1. Avantages et inconvénients d'un laveur de sable.

Tableau II.1. des valeurs guides de l'OMS.

Tableau II.2. Les valeurs limites pour la poussière.

Tableau II.3. Vitesse limites de sédimentation en air calme de particules sphériques de densité 1.

Tableau III.1. le refus de sable brut en (%).

Tableau III .2. Les valeurs de quelques minéraux de sable brut en (%).

Tableau III.3. Le refus en (%), pour le sable lavé.

Tableau III.4. Les valeurs de quelques minéraux en (%) pour le sable lavé.

Tableau III.5. pH de sable brut.

Tableau III.6. pH de sable lavé.

Tableau III.7. Les début massique de sable brut et l'argile résulte.

Tableau III.8. La quantité des éléments chimiques éliminés.

Tableau III.9. Taux de MO du sable brut et du sable lavé.

Tableau III.10. Les valeurs des oxydes métalliques existe de l'eau de rejet.

Tableau III.11. Les valeurs des oxydes métalliques existants dans la boue.

Tableau III.12. Caractérisation des sols (aspect, pH, taux d'humidité).

Tableau III.13. Les valeurs d'oxydes métalliques du sol contaminé (échantillon à la surface).

Tableau III.14. Les valeurs d'oxydes métalliques du sol contaminé (échantillon à 5 cm de profondeur).

Tableau III.15. Les teneurs des oxydes métalliques dans un sol non contaminé (prélèvement à la surface) en (%).

Tableau III.16. Les teneurs des oxydes métalliques dans un sol non contaminé (échantillon à 5 cm de profondeur) en (%).

Tableau III.17. la quantité de poussières retombé.

Tableau III.18. Les éléments chimiques de poussières.

Résumé

L'Algérie a connu un développement économique et démographique sans précédent. Le taux élevé d'accroissement de la population a engendré une urbanisation galopante et une croissance non contrôlée de l'industrie. Cela ne s'est pas fait sans conséquence sur l'environnement.

De ce fait, le pays affronte aujourd'hui de nombreux problèmes liés à l'industrie et la protection de l'environnement et en particulier le problème de petites industries comme le cas de l'unité ADWAN, pour le traitement de sable, où ce dernier subit à une série de traitement (lavage, séchage, tamisage, broyage), pour obtenir un produit appelé «la farine de silice», nécessaire pour plusieurs secteurs d'industrie, tels que les industries verrières, et céramiques...etc.

Donc notre travail vient pour connaître l'impact environnemental durant ce traitement, en faisant une étude physico-chimique sur chaque étape.

Mots-Clés : environnemental, traitement de sable, physico-chimique.

Abstract

Algeria experienced an economic development and demographic without precedent. The high rate of increase in population generated a which gallop urbanization and a not controlled growth of industry. That was not done without consequence on the environment.

So the country faces today many problems involved in industry and the environmental protection and in particular the problem of small industries like the case of unit ADWAN, for the treatment of sand, where this last to undergo with one seriated of treatment (washing, drying, sifting, crushing), to obtain a product to call "the silica flour", necessary for several sectors of industry, such as glass, and ceramic industries... etc

Thus our work comes to know the environmental impact lasting this treatment, by making a physicochemical study on each stage.

Key words: environmental, treatment of sand, physicochemical.

خلاصة

لقد شهدت الجزائر تنمية اقتصادية ونمو سكاني لم يسبق له مثيل. وقد أدى ارتفاع معدل النمو السكاني إلى التحضر السريع والنمو غير المنضبط لهذه الصناعة. هذا لا يحدث بدون عواقب على البيئة.

ونتيجة لذلك، فإن البلد يواجه الآن العديد من المشاكل المتصلة بالصناعة وحماية البيئة، وعلى وجه الخصوص مشكلة المؤسسات الصناعية الصغيرة كما هو الحال بالنسبة لوحد، معالجة الرمال، حيث يخضع هذا الأخير لدورة من العلاج (غسل والتجفيف وغريلة وطحن)، للحصول على منتج يسمى "طحين السيليكا"، ضرورية لعدة قطاعات الصناعة، مثل الزجاج، والسيراميك ... الخ.

لذلك عملنا هو تحديد الأثر البيئي خلال هذا العلاج، من خلال دراسة الفيزيائية والكيميائية لكل مرحلة.

الكلمات المفتاحية

كيميائية فيزيائية، معالجة الرملة، البيئة