

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

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Minier

Laboratoire de Génie Minier

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en

Génie Minier

**Étude d'impact et réduction des poussières générées par la
préparation et l'agglomération de minerai de fer sur
l'environnement (caractérisation physico-chimique)**

Charaf Eddine BOUFERKAS
Karim ANNOUN

Sous la direction M. Malek OULD HAMOU

Prof

Présenté et soutenu publiquement le (14/07/2022)

Composition du Jury :

Président	Mlle Amira MERCHICHI,	MCB	ENP
Promoteur	Mr Malek OULD HAMOU,	Prof	ENP
Examineur	Mme Nabila GUERFI,	MR	CRTSE

ENP 2022



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Minier

Laboratoire de Génie Minier

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en

Génie Minier

**Étude d'impact et réduction des poussières générées par la
préparation et l'agglomération de minerai de fer sur
l'environnement (caractérisation physico-chimique)**

Charaf Eddine BOUFERKAS
Karim ANNOUN

Sous la direction M. Malek OULD HAMOU

Prof

Présenté et soutenu publiquement le (14/07/2022)

Composition du Jury :

Présidente	Mme Amira MERCHICHI,	MCB	ENP
Promoteur	Mr Malek OULED HAMOU,	Prof	ENP
Examineur	Mme Nabila GUERFI,	MR	CRTSE

ENP 2022

ملخص:

يهدف هذا المشروع إلى الحد من الغبار الناتج عن إعداد وتكثف ركاز الحديد. هذا الغبار له تأثير ضار للغاية على صحة الإنسان والبيئة. أجرينا دراسات وتوصيف فيزيائي كيميائي لاختيار أفضل حل للتخفيض وفقاً لمواصفاتنا وبيئتنا. يجب استعادة الغبار قدر الإمكان وإعادة استخدامه في تكثف خام الحديد

كلمات مفتاحية: الغبار، التخفيض، التأثير، التكثف، الحديد

Abstract:

This project aims to reduce the dust generated by the preparation and agglomeration of the iron mineral. This dust has a very negative impact on human health and the environment. Studies and physico-chemical characterization have been carried out to choose the best solution that will allow us to reduce the level of dust in the atmosphere and around the SIDER Company. The dust must be collected and re-used in the agglomeration of the iron mineral.

Keywords: dust, reduction, impact, agglomeration, iron

Résumé :

Ce projet a pour but de la réduction de poussière générée par la préparation et l'agglomération du minerai de fer. Cette poussière a un impact très négatif sur la santé humaine et l'environnement. Des études et caractérisation physico chimique ont été réalisées pour choisir la meilleure solution qui nous permettra de réduire le taux des poussières dans l'atmosphère et aux alentours de l'entreprise SIDER. La poussière doit être récupérée et réutilisée dans l'agglomération du minerai de fer.

Mots clés : poussière, réduction, impact, agglomération, fer

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier le tout puissant pour nous avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener dans de bonnes conditions notre formation et pouvoir réaliser ce projet.

Nous exprimons nos plus vifs remerciements à notre promoteur le Professeur. **Malek OULD HAMOU** pour son soutien, sa disponibilité et pour ses précieux conseils. Et bénéficier de ses connaissances et compétences durant notre parcours académique.

La présidente du jury Dr MERCHICHI Amira, pour avoir accepté de présider notre jury de soutenance. Elle a été une enseignante exemplaire qui ne ménage aucun effort pour le bien de ses étudiants. Qu'elle trouve l'expression de tout notre respect et considération. Un grand merci à vous Dr MERCHICHI.

Nous voulons remercier également Dr GUERFI-BOUTOUCHENT Nabila pour avoir accepté d'examiner notre modeste travail.

Un grand remerciement à Mr. Yazid YAHIOUCHE pour nous avoir accueilli dans son entreprise, ainsi qu'à l'ingénieur Mr Amar Chabbi.

Ces remerciements vont aussi aux enseignants du département de Génie Minier à l'administration de l'École Nationale Polytechnique, qui n'ont ménagé aucun effort efforts pour assurer à tous les étudiants une formation de qualité.

Enfin, nous adresse nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous avons toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à toutes et à tous.

Dédicaces

À MES CHERS PARENTS

Ce modeste travail est l'exaucement de vos vœux tant formulés et le fruit de tous vos innombrables sacrifices.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À ma sœur Djihane et le petit Rayan que j'aime beaucoup. Je vous la réussite et le bonheur inchallah.

À ma grande famille, mes oncles, mes coussins, le bonheur, l'amour et compassion.

À mon binôme et ami Karim pour sa compréhension et sa patience tout au long de ce projet.

À tous mes amis Islam, Aymen sahnoune, Stayfi, Mahmoud, Abderrahmane, Krimou, Aymen Moumen, Mouh, Khalifa, Wail, Dadi, Nori et Fayçal, source de joie et de l'espoir.

À tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Achref

Dédicaces

À MES CHERS PARENTS

Ce modeste travail est l'exaucement de vos vœux tant formulés et le fruit de tous vos innombrables sacrifices.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À ma sœur Marwa et le petit Ishak que j'aime beaucoup. Je vous la réussite et le bonheur inchallah.

À ma grande famille, mes oncles, mes coussins, le bonheur, l'amour et compassion.

À mon binôme et ami Achref pour sa compréhension et sa patience tout au long de ce projet.

À tous mes amis Mahdi, Akram, Samir, Krimou, Dadi, ghozlen,, source de joie et de l'espoir.

À tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Karim

Table of Contents

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction Générale.....14

CHAPITRE 1 : Présentation de complexe sidérurgique d'EL HADJAR

1	Introduction :	16
2	Historique :	16
3	Présentation du complexe :	17
4	Activité du complexe :	19
5	Organisation du complexe :	20
6	Introduction sur la division de préparation de la matière et agglomération (PMA) :	20
6.1	Secteur Minerais.....	21
6.1.1	Minerais de l'Ouenza :	22
6.1.2	Minerais de Boukhadra	23
6.1.3	Description succincte du processus de traitement du minerai :	23
7	Secteur coke :	27
7.1	Caractéristiques d'un coke :	27
7.1.1	Sa granulométrie :	27
7.1.2	Son humidité :	28
7.1.3	Sa présentation physique :	28
8	Secteur agglomération	29
8.1	Les étapes d'agglomération :	29
8.1.1	Nodulisation et mélange :	30
8.1.2	Chargement :	32
8.1.3	Allumage	35
8.1.4	Le frittage :	37
8.1.5	Repère de cuisson :	39
8.1.6	Refroidissement de l'aggloméré :	39

CHAPITRE 2 : Généralité sur la poussière

1	Définitions et caractéristiques des poussières :	41
1.1	Définition générale des poussières.....	41
1.2	Les caractéristiques des poussières.....	41
1.2.1	Le diamètre des particules ou granulométrie.....	41
1.3	Les effets éoliens :.....	45
2	L'origines des poussières	45
3	Les différents types des poussières	46
3.1	Sporadique ou fugitives :	46
3.2	Semi-Permanent :	46
3.3	Permanent :	46
4	Définition de l'état particulaire :.....	47
4.1	Polluants particulaires.....	47
4.1.1	Poussière d'origine mécanique :.....	47
4.1.2	Les poussières d'origine chimique ou thermique :.....	47
5	Les types des poussières selon la Nature de la matière :	48
5.1	Les poussières minérales	48
5.1.1	Origine.....	48
5.1.2	Composition principale.....	48
6	Les poussières générées par le procédé d'agglomération :	49
7	Les sources d'émission de poussières dans PMA	49
8	Propriétés physico-chimiques des particules atmosphériques :	54
8.1	Dimension particules :	55
8.2	Forme et facteur de forme :.....	56
8.3	Aire et volume :.....	57

CHAPITRE 3 : Impact de la poussière sur l'environnement

1	En quoi les poussières peuvent-elles être dangereuses pour l'homme :.....	59
2	La pénétration des particules dans l'organisme :	59
3	Risques pour la santé :	61
4	Les dangers associés aux poussières minérales :	62
5	Impact environnementale :.....	63
6	Impact des poussières sur les installations :.....	64

7	Impacts sur la production :	66
8	Voies d'exposition et de transport de vent de poussière :	66

CHAPITRE 4 : Matériels et Méthodes

1	Echantillonnage.....	69
2	Prélèvement	69
3	Analyse granulométrique	71
3.1	Principe	72
3.2	Description de l'essai	72
3.3	Analyse granulométrie pour les échantillons de poussière	72
4	Analyse diffractométrique (DRX)	73
4.1	Principe	73
4.1	Précision et sensibilité.....	74
5	Caractérisation de la composition chimique par spectrométrie de fluorescence X.....	75
6	Essai de séparation magnétique	75
6.1	Procédure	76
7	Essai de séparation gravimétrique par nappe pelliculaire fluente	77
7.1	Essai par table a secousse.....	77

CHAPITRE 5 : Résultats et discussions

1	Résultats d'Analyse granulométrie pour le minéral	81
1	Résultats d'Analyse granulométrie pour les échantillons de poussière	82
2	Résultats d'Analyse diffractométrique (DRX)	88
3	Caractérisation chimique par spectrométrie de fluorescence X	89
4	Résultats d'Essai de séparation magnétique	90
5	Résultats d'Essai de séparation gravimétrique	91
5.1	Essai 1	91
5.2	Essai 2 :	93
	<u>Conclusion générale et recommandation</u>	97
	<u>Bibliographie</u>	98

Liste des Figures

Figure 1 : Historique de Sider.....	17
Figure 2 : Les différentes structures du complexe d'EL Hadjar	19
Figure 3 : Une illustration du synoptique simplifié du secteur minéral	24
Figure 4 :Mise en tas.....	26
Figure 5 : Herze servant à homogénéiser les différentes couches	26
Figure 6 :Différentes étapes de préparation du coke.....	28
Figure 7 :Synoptique du secteur agglomération	30
Figure 8 : Microboulottage.....	30
Figure 9 :Le nodulisateur	31
Figure 10 :Détermination de l'humidité optimale.....	31
Figure 11 : Forme du mélange avec la couche de protection	33
Figure 12 :Chargement	33
Figure 13 :Configuration du chargement.....	34
Figure 14 :Chargement de la couche de protection.....	34
Figure 15 :La hotte d'allumage.....	35
Figure 16 :Allumage	36
Figure 17 : Frittage	38
Figure 18 :schéma d'implantation des thermocouples de la range centrale.....	39
Figure 19 : Le comportement des particules selon leur granulométrie	42
Figure 20 : Influence du vent sur la propagation des poussières	44
Figure 21 : Les effets éoliens	45
Figure 22 : poussière générée par la comminution	50
Figure 23 : poussière générée par l'Agglomération.....	51
Figure 24 : Synoptique PMA	53
Figure 25 : Appareil respiratoire et pénétration des particules	60
Figure 26 : L'effet de la poussière sur les toitures	64
Figure 27 : Effet de la poussière sur la bande transporteuse.....	65
Figure 28 : poussière générée par transport	67
Figure 29 : Poussière de déchargement Extérieur.....	70
Figure 30 : Poussière de déchargement Intérieur.....	70
Figure 31 : Poussière de broyage.....	70
Figure 32 : Poussière de criblage.....	70
Figure 33 : Poussière d'agglomération Extérieure.....	71
Figure 34 : Poussière d'agglomération Intérieure.....	71
Figure 35 : Analyse granulométrique	72
Figure 36 : Principe de la diffraction des rayons X.....	73
Figure 37 : Schéma du principe d'un spectromètre de diffraction des rayons X pour les échantillons poudre	74
Figure 38 : Séparateur magnétique utilisé au laboratoire de Génie Minier	75
Figure 39 : Echantillonneur automatique.....	76
Figure 40 : Table a secousse utilisée au laboratoire de Génie Minier	77
Figure 41 : Schéma de la table a secousse	78

Figure 42 : observation avec le stéréoscope ZEISS	79
Figure 43 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis du minerais	81
Figure 44 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis de poussière de déchargement extérieur	82
Figure 45 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis de poussière de déchargement intérieur	83
Figure 46 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis du poussière de broyage.....	84
Figure 47 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis du poussière de criblage	85
Figure 48 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis du poussière d'agglomération extérieur	86
Figure 49 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis de la poussière d'agglomération intérieure	87
Figure 50 : Un spectre obtenu par la DRX de l'échantillon de poussière.....	88
Figure 51 : Evolution de rendement massique de l'essai de séparation magnétique en fonction de l'intensité	91
Figure 52 : Evolution de rendement massique de l'essai 01 par la table à secousse en fonction des zones	92
Figure 53 : Essai 01a. Zone 1 ; b. Zone 2 ; c. Zone 3 ; d. Zone 4.....	93
Figure 54 : Evolution de rendement massique de l'essai 02 par la table à secousse en fonction des zones	94
Figure 55 : Essai 02 a. Zone 1 ; b. Zone 2 ; c. Zone 3 ; d. Zone 4.	94

Liste des Tableaux

Tableau 1 :Composition chimique du Minerai de l'Ouenza.....	22
Tableau 2 : Composition chimique de Minerai de Boukhadra	23
Tableau 3 : Vitesse de chute en fonction de la dimension des particules	43
Tableau 4 : Les distances parcourues par des particules minérales	44
Tableau 5 :Répartition des charges polluantes (de la PMA)	52
Tableau 6 : Les Sources de poussière dans PMA	54
Tableau 7 : la masse des échantillons	69
Tableau 8 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage du minerai (-10 +0) mm	81
Tableau 9 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage de la poussière de déchargement Extérieur	82
Tableau 10 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage de la poussière de déchargement intérieur	83
Tableau 11 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage de la poussière de broyage.....	84
Tableau 12 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage de la poussière de criblage	85
Tableau 13 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage de la poussière d'agglomération extérieur	86
Tableau 14 :Résultats d'analyse granulométrique par tamisage du la poussière d'agglomération intérieure	87
Tableau 15 : Phases identifiées pour les différents échantillons de la poussière du minerai de fer.	88
Tableau 16 : Résultats d'analyse préliminaire par fluorescence X de la poussière du minerai fer.	89
Tableau 17 : Rendement de séparation magnétique des poussières inférieures à 80 microns	90
Tableau 18 : Rendement de séparation magnétique de l'échantillon supérieur à 80 microns	90
Tableau 19 : Résultats d'essai par la table à secousses, inclinaison à 2 %	91
Tableau 20 : Résultats d'essai 02 table a secousses inclinaison à 5 %	93

Liste des abréviations

IP : indice de basicité

HF : haut fourneau

D_a : Diamètre aérodynamique

D_x : diamètre géométrique

P : densité de la particule

AG : Agglomération

PM : Particule minéral

C : Estimation d'après la littérature

PMA : Préparation matière première et agglomération

OZ : Ouenza

BK : Boukhadra

Introduction Générale

Introduction Générale :

L'industrie moderne exige de la métallurgie, des métaux et des alliages des caractéristiques et des propriétés qui doivent répondre aux exigences toujours croissantes avec des techniques diverses.

Dans notre mémoire de projet de fin d'études, nous avons présenté le complexe sidérurgique SIDER d'El Hadjar en général, le procédé d'élaboration de l'aggloméré et l'impact environnemental généré par les poussières issues des différentes étapes de la préparation et de la fabrication d'aggloméré.

Le but principal de ce travail est l'évaluation de l'impact des poussières sidérurgiques, l'étude des techniques permettant leur réduction dans l'atmosphère et leur possible réutilisation.

Ainsi pour la réalisation de ce projet nous nous avons montré les différents secteurs qui composent la division de la préparation-matières-agglomérés, les principes scientifiques sur lesquels sont fondés les méthodes d'élaboration et aussi des diverses installations métallurgiques. Nous avons aussi valorisé le service de l'environnement qui contrôle les émissions des différents secteurs. Chaque industrie a été caractérisée par des effets néfastes que causent la production et l'usage de l'aggloméré dans l'environnement ainsi que des différentes conduites à tenir au sein de la division de l'entreprise [1].

Ce présent mémoire, a été structuré en 5 chapitres distincts :

- Chapitre premier : Une présentation de complexe sidérurgique d'EL HADJAR et l'Unité PMA
- Chapitre deuxième : Dédié aux généralités sur les poussières.
- Chapitre troisième : Consacré à l'étude d'impact des poussières sur l'environnement et la santé humaine.
- Chapitre quatrième : Partie expérimentale, qui comprend les Matériels, Méthodes et une caractérisation physico chimique de ces échantillonsts
- Chapitre cinquième : Résultats, discussions et conclusion générale.

CHAPITRE 1 : Présentation de complexe sidérurgique d'EL HADJAR

CHAPITRE 1 : Présentation de complexe sidérurgique d'EL HADJAR

1 Introduction :

Ce chapitre a pour but de décrire d'une manière simple le complexe sidérurgique d'El Hadjar, à savoir son historique et le secteur PMA (Préparation de la matière agglomérée) dans le but de prendre connaissance des différentes tâches assurées quotidiennement et qui sont la préparation du minerai pour la mise en tas (homogénéisation en tas) et l'agglomération de ce dernier...

2 Historique :

L'entreprise nationale de sidérurgie d'El Hadjar (ENS) a été construite en 1959 par la société bônoise de sidérurgie (SBS). Avec la nationalisation du patrimoine algérien celle-ci devient la société nationale de sidérurgie (SNS). Et elle possède une section qui est la plaque tournante de toute l'usine : La préparation des matières et agglomérations que l'on appelle la PMA.

En 1969, l'usine a connu un essor très important, en construisant un pôle sidérurgique à El Hadjar, pouvant répondre à une variété de gammes de produits et devient SIDER.

Le complexe d'El-Hadjar depuis 1969 a vu ses activités se développer au fil des années ce qui lui a permis de répondre à la demande sans cesse croissante des produits sidérurgique pour les besoins de la réalisation de plusieurs plans de développement (unités pétrolières etc.)

C'était l'année qui a marqué la fin d'une époque où le souci moyen des responsables était la maîtrise de la technologie et le début d'une de l'époque où le premier but est l'amélioration des capacités de production par l'amélioration des conditions de travail et la prise en charge des problèmes tous les problèmes techniques.

L'année 1983 a été l'année des grandes réalisations du complexe, suite à la création de la SNS, puisqu'une ré-conception complète de l'usine pour en faire un complexe intégré a été opérée.

Le début de janvier 1999, marque la suppression des sous directions et création des filiales aux membres de 25 entreprises industrielles autonomes.

A la date du 18/10/2001, un contrat de partenariat entre SIDER et groupe LNM Holdings a été signé pour la création du groupe ISPAT (groupe indien) Annaba. LNM détient 70% du capital

social et SIDER 30%. Cette nouvelle société regroupe les filiales de SIDER liées au métier de base de la sidérurgie qui sont : Alfasid, Almain, Gessit, Iman, Amm, Comersid, Alfatub, Cryosid, Coprosid et Fersid). Ispat Tébessa étant créée à la même période. Elle est le résultat d'un partenariat entre LNM (70%) et FERPHOS (30%). Elle est alimentée en matière première par les mines de fer de l'Ouenza et de Boukhadra

En 2004, La société change de dénomination après la fusion de LNM holding et ISPAT International.

En 2006, a eu lieu un partenariat entre les français et MITTAL pour restructurer la sidérurgie. Elle se nomme ARCELOR MITTAL.

Octobre 2013, La société change de dénomination après la signature d'un accord stratégique entre Arcelor Mittal et Sider par lequel, la participation d'Arcelor Mittal dans le capital de la société passe à 49% et celle de Sider à 51%.

En août 2016, La société devient Algérienne à 100% suite à la signature de l'accord de transfert de la totalité des actions détenues auparavant par le groupe Arcelor Mittal vers le groupe public IMETAL.



Figure 1: Historique de Sider

3 Présentation du complexe :

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar est situé à 12 Km au Sud-est de la ville d'Annaba. Il occupe une surface de 832 Ha dont :

- ✓ Les ateliers de production sont repartis sur 300 Ha
- ✓ Les lieux de stockage occupent près de 232 Ha de la surface

- ✓ L'administration, les services ou les grands bureaux se partagent 200 Ha du reste des matières premières et près de 100 Km de route permettant la circulation des engins et les véhicules personnels.

A l'intérieur, il y a près de 60 Km de voies ferrées permettant la libre circulation des matières premières et près de 100 Km de route permettant la circulation des engins et du véhicule persel. Le complexe est alimenté par le minerai de fer par voie ferrée à partir des mines de fer de l'Ouenza et Boukhadra, et le coke est importé de l'étranger à partir du port d'Annaba.

Le complexe dispose d'un réseau commercial composé de 07 points de vente, à travers le pays

Les Unités de production du Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar :

- Haut Fourneau 2
- Unité de Préparation de Matières Première et Aggloméré
- Aciérie Oxygène 1
- Aciérie Oxygène 2
- Aciérie Électrique
- Laminoir à Chaud
- Laminoir à Froid
- Unité de Galvanisation
- Laminoir Rond Béton

Cette entreprise a une capacité de production nominale de 1,2 Million de tonnes de produits sidérurgiques.

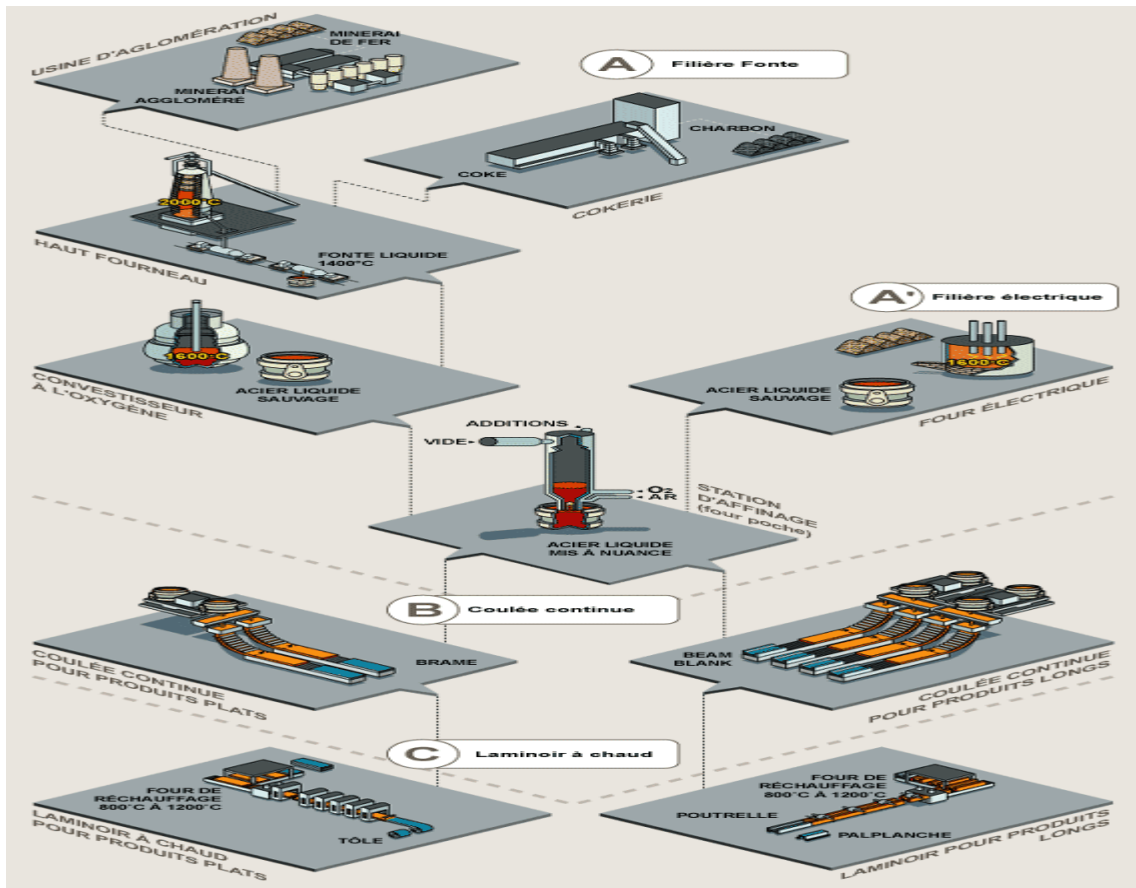


Figure 2 : Les différentes structures du complexe d'EL Hadjar

4 Activité du complexe :

C'est en 19 juin 1969, que les premières unités à savoir le secteur fente, séparation des matières et aggloméré PMA, le haut fourneau H.F et aciérie et tubulaire spirale rentrent en production.

Le programme de complexe vise les objectifs suivants :

- Satisfaction des besoins nationaux.
- Formation du personnel.
- Maitrise des nouvelles technologies.
- Production ayant un haut niveau d'intégration.
- Substitution de la production nationale à l'importation.

5 Organisation du complexe :

Ce complexe employait plus de 1600 travailleurs, mais suite au départ volontaire des travailleurs le complexe comporte environ 1000 travailleurs.

La gestion de l'entreprise a imposé une subdivision en filière spécialisée dans chaque secteur de production finie, et chaque filière est dirigée par un sous-directeur qui a à sa charge :

Le contrôle, la gestion, et la coordination de l'ensemble des divisions qui constituent la sous-direction.

6 Introduction sur la division de préparation de la matière et agglomération (PMA) :

Le procédé de fonctionnement correct du haut fourneau dépend en grande mesure de la granulométrie des matières de charge : grosseur et le pourcentage du fer des grains, du degré de l'uniformité du flux gazeux, d'échange de la chaleur entre matière et les gaz et de la vitesse de réduction des oxydes de fer.

La fraction des grains fins d'aggloméré (<5mm) enfermée dans la charge du haut fourneau est spécialement désavantageuse, car elle augmente l'échappement des poussières et diminue le coefficient de productivité du haut fourneau.

Pour cette raison les grains fins d'aggloméré doivent être agglomérés entre eux par frittage avant Haut Fourneau.

L'unité PMA est composée de trois secteurs :

- **Secteur Minerai** : chargé du traitement, transport et stockage du minerai après homogénéisation.
- **Secteur agglomération** : qui a pour rôle de transformer la matière homogénéisée en aggloméré.
- **Secteur coke et produits additifs** : chargé du traitement des gaz, stockage et transport du coke et des éléments d'addition. [1]

6.1 Secteur Minerais

Ce secteur a pour rôle de réceptionner et traiter le minerai acheminé par wagons et camions des mines d'Ouenza et de Boukhadra jusqu'à la station de chargement, avec une granulométrie 0-300mm et sera soumis à une préparation mécanique, à savoir le concassage et le criblage.

La fraction 0-10mm obtenue est homogénéisée avant d'être acheminée vers l'agglomération, tandis que le refus du crible qui est la fraction 10-50 mm est acheminée sur demande vers le haut fourneau. Cette tranche est appelée minerai calibré directement utilisable par le HF.

La mission principale de ce secteur est d'alimenter le secteur agglomération en minerai traité (0-10 mm) suivant un indice de basicité ($\text{CaO} / \text{SiO}_2$) bien défini dont la nouvelle fourchette pour cette année est 1 à 1,1.

Les activités du secteur minerai sont :

- La gestion de la zone de stockage et des installations de traitement du minerai
- La réception et déchargement du tout-venant 0-300 mm
- Le broyage (concassage) et criblage du tout-venant
- L'injection des sous-produits et minerai riche
- La constitution des tas 0-10 mm
- La coordination avec la SNTF et la direction du matériel pour le transport du minerai.

Les différents minerais utilisés par la PMA

Les minerais de fer utilisés au niveau de la P.M.A proviennent de la mine de Boukhadra, et l'Ouenza.

Ces minerais doivent répondre à des caractéristiques bien définies avant leur utilisation, ainsi nous allons donner quelques caractéristiques physiques, chimiques et technologiques.

6.1.1 Minerai de l'Ouenza :

Ce minerai provient de la wilaya de Tébessa à 160 km au sud-est d'Annaba, ayant une teneur qui varie de 33 à 60 % en fer ; ce minerai est principalement composé d'hématite, sidérose, malachite, baryte, galène, goethite et limonite. La connaissance de certaines propriétés physiques et technologiques du minerai est très importante pour une bonne maîtrise du processus technologique. Ce minerai a une dureté de 3 à 8 selon l'échelle de Protodiakonov et sa masse volumique varie de 2,6 à 2,8 t/m³.

Tableau 1 :Composition chimique du Minerai de l'Ouenza

Elément	Teneur %
Fer (Fe)	43-47
Silice (SiO ₂)	3-8
Chaux (CaO)	6-9
Magnésium (MgO)	1-1,3
Alumine (Al ₂ O ₃)	0,8-1,25
Sulfate de calcium (CaSO ₄)	Trace
Manganèse (Mn)	1,5-2
Phosphore (P)	0,0002
Soufre (S)	0,04-0,05

6.1.2 Minerai de Boukhadra

Le minerai provenant de la mine de Boukhadra est situé à 400 km au sud d'Annaba, à 18 km de la frontière algéro-tunisienne. Ce minerai a une dureté de 3 à 6 et sa densité varie de 2,7 à 2,9 t/m³.

Tableau 2 : Composition chimique de Minerai de Boukhadra

Elément	Teneur %
Fer (Fe)	50-57
Silice (SiO ₂)	10
Sulfate de baryum (BaSO ₄)	0,2
Chaux (CaO)	3,0
Manganèse (Mn)	2,0
Magnésium (MgO)	0,14
Soufre (S)	0,1

6.1.3 Description succincte du processus de traitement du minerai :

6.1.3.1 Réception du minerai 0-300 mm

La réception du tout-venant se fait quotidiennement à chaque arrivée du wagon ou du camion, l'opération bascule procède à une vérification des documents d'accompagnement.

Le déchargement du tout-venant se fait dans les trémies correspondantes à la ligne de traitement.

6.1.3.2 Traitement du minerai

Les opérations principales de traitement du minerai se résument ci-après. [2]

- La pré-homogénéisation du minerai qui consiste au stockage séparé du minerai 0-300 mm par origine ainsi du minerai riche.
- L'acheminement vers les broyeurs primaires, le broyage primaire doit permettre l'obtention de la tranche granulométrique 0-50 mm à partir du minerai 0-300 mm reçu des différentes mines (OZ-BK-Autres).
- Acheminement vers les broyeurs secondaires, le broyage secondaire nous permet d'obtenir la tranche granulométrique 0-10 mm à partir du minerai 0-50 mm provenant des broyeurs primaires.
- Le criblage et séparation des matières

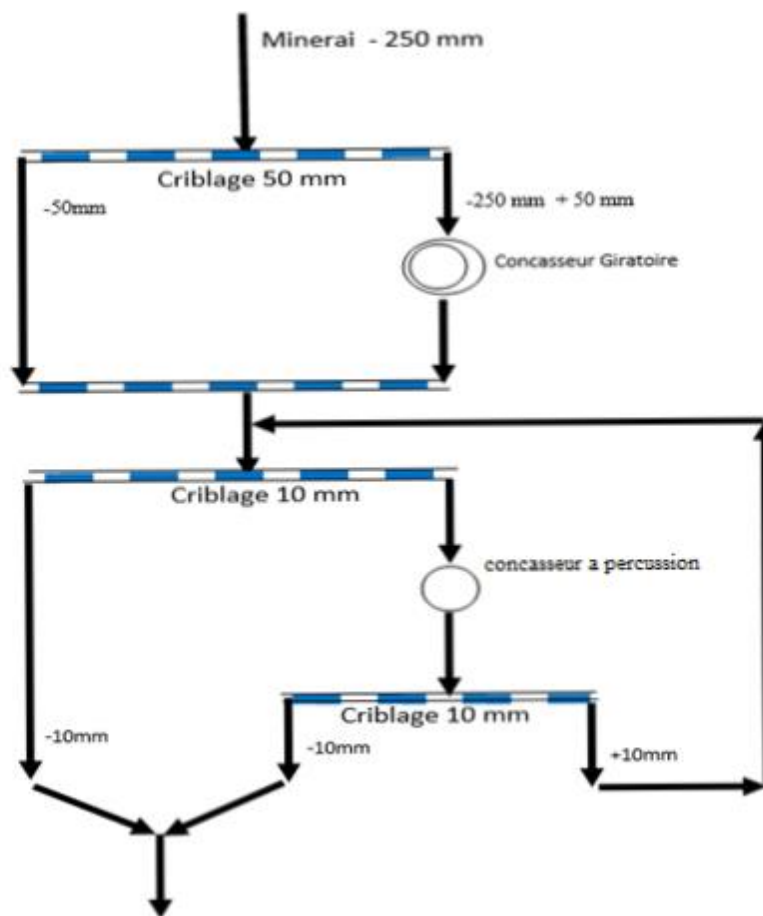


Figure 3 : Une illustration du synoptique simplifié du secteur minier.

Mise en tas et alimentation des secteurs d'agglomération

Dernière étape du secteur minéral, cette phase a pour but d'assurer dans le tas une teneur en Fer de 48 % et un IP de 1 à 1,1 indispensables pour la bonne marche du procédé de l'agglomération.

La formation d'un tas dépend des plusieurs paramètres dont :

- La longueur du tas
- La hauteur du tas
- Le tonnage programmé...

En général la hauteur du tas varie de 9 à 12 m, dépendant de la saison, pendant la période hivernage celle-ci ne doit pas atteindre 12 m.

Quel que soit la longueur du tas et sa hauteur les premières couches doivent être faites par du minéral Ouenza et Boukhadra, ces dernières doivent occuper 10 % de la hauteur du tas avant l'injection des additifs.

Lors de la mise en tas, la composition du tas en termes de pourcentage (poids) en éléments est la suivante :

- 22,83 % du minéral Boukhadra
- 68,43 % du minéral Ouenza
- 0,75 % Fine Polluée
- 5,24 % Fine de retour
- 1,12 % Calamine
- 1,12 % Poussière de gaz
- 0,5 % Boue du rejet du haut fourneau

Après son traitement, le minéral 0-10 mm sera mis en tas à l'aide d'un Jet qui le constitue par filet. Une fois le tas est formé, vient par la suite la reprise du minéral à l'aide de la Roue Pelle. Son but est double, d'une part est d'homogénéiser le minéral à l'aide de la Herze par son mouvement de translation et d'autre part la reprise du minéral homogène afin d'alimenter le secteur agglomération

(Avec une température atteinte 1250°)[3]



Figure 4:Mise en tas



Figure 5 : Herze servant à homogénéiser les différentes couches

7 Secteur coke :

Le coke métallurgique est le combustible essentiel d'HF.

Il possède une grande résistance à l'écrasement, il ne contient pas de matières volatiles qui risqueraient de former des goudrons agglomérant les matières introduites dans le haut-fourneau ; il est poreux, ce qui facilite sa combustion ; son pouvoir calorifique est de l'ordre de 7000 Kcal/Kg. Il contient environ 10% de cendres, généralement siliceuses. Le coke a une masse volumique près de 0,5 Kg/dm³.

Etant donné l'arrêt actuel de la cokerie, ce secteur reçoit via le port d'Annaba un coke importé (- 60 + 0 mm de granulométrie) utilisé comme combustible. Ce dernier est stocké puis divisé en deux portions par un crible d'ouverture de maille 20 mm

Les refus (+ 20 mm) alimentent directement l'un des deux hauts fourneaux et les passants (- 20 mm) sont broyés en circuit fermé jusqu'à une granulométrie de - 3 + 0 mm (fine de coke) pour finir au secteur agglomération.

7.1 Caractéristiques d'un coke :

Tous les combustibles sont équivalents sur la base du carbone fixe et ont une faible teneur en cendres.

Il a un bon rendement ce qui équivaut à pas trop réactif à ce titre le coke de fluidisation avec grande porosité interne est trop réactif.

Les qualités physiques pour assurer un front de flamme le plus homogène possible et le moins étalé dépend de :

7.1.1 Sa granulométrie :

- o Mauvaise utilisation des gros grains (> 3 mm).
 - Combustion tardive -> augmentation conso et étalement du front de flamme.
 - Comme teneur en combustible faible dans le mélange -> hétérogénéité de répartition dans la couche.

- o Mauvaise utilisation des fines (< 0,5 mm).
 - Mauvaise efficacité thermique.
 - Réduit perméabilité de la couche.

7.1.2 Son humidité :

- Fluctuations non contrôlées de l'humidité -> fluctuations de la quantité de Carbone ajouté -> perturbation de la marche.
- Si combustible trop humide -> mauvaise répartition dans le mélange.
Humidités satisfaisantes : 15% pour poussier de coke 9% pour charbons.

7.1.3 Sa présentation physique :

- o Mauvais résultats métallurgiques avec combustible sous forme de plaquettes (répartition très hétérogène dans le mélange).[4]

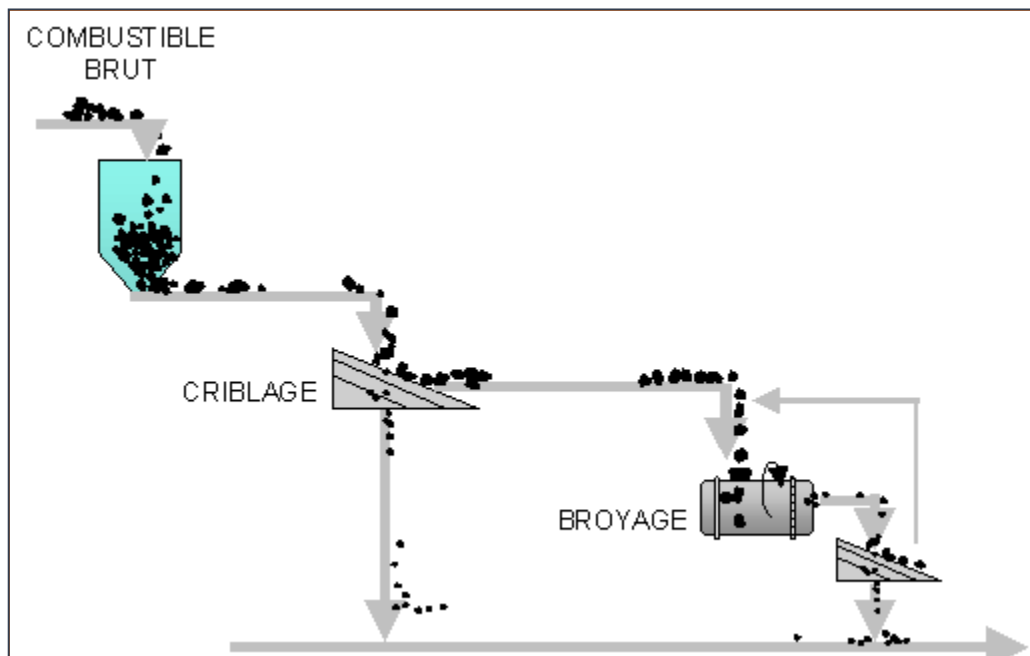


Figure 6 : Différentes étapes de préparation du coke

8 Secteur agglomération

Cette unité joue un rôle très important dans la sidérurgie, elle permet de traiter thermiquement les minerais de fer de faible granulométrie en vue de les transformer en un matériau cohérent de plus grande granulométrie (l'aggloméré) apte à être chargé au haut-fourneau.

Autrement, c'est un processus technologique qui a pour but de charger le haut-fourneau avec des produits calibrés (c'est-à-dire d'éliminer les fines, inférieures même 5 mm) et d'éviter les fondants carbonatés, c'est-à-dire les calcaires et dolomies.

Il permet également d'élaborer un produit artificiel contenant, à côté du fer, en général sous forme d'oxyde, un pré laitier (de haut fourneau), en général basique, pour tenir compte de l'introduction au haut fourneau du coke avec ses cendres acides. [3]

8.1 Les étapes d'agglomération :

- Préparation du mélange et nodulisation
- Chargement
- Allumage
- Frittage
- Refroidissement de l'aggloméré

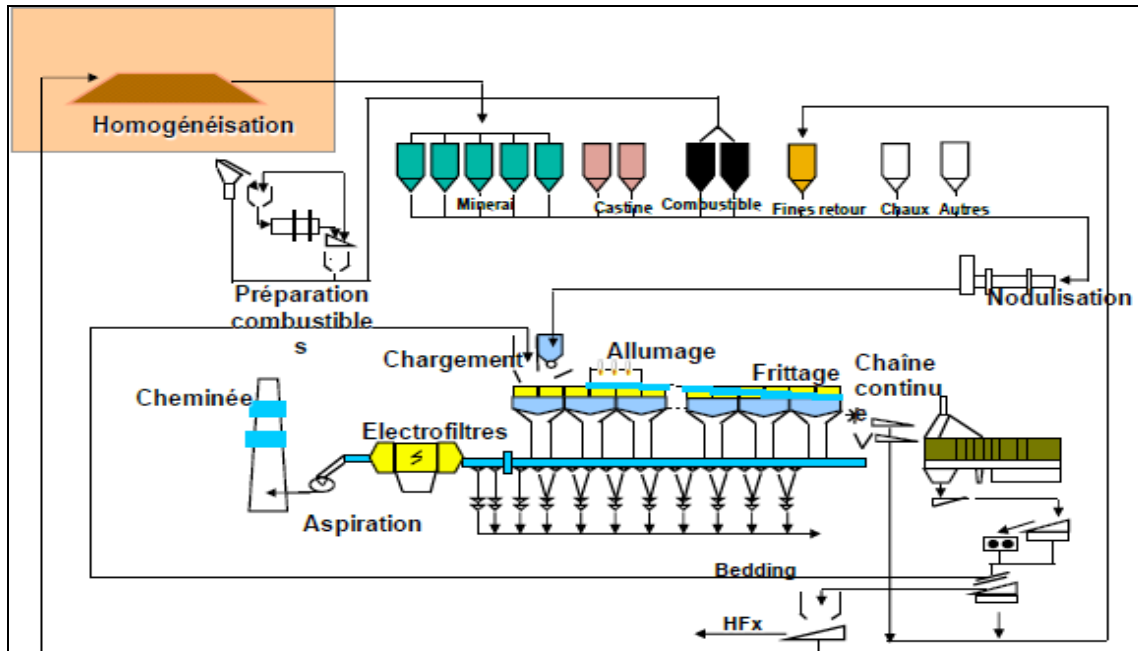


Figure 7 :Synoptique du secteur agglomération

8.1.1 Nodulisation et mélange :

La nodulisation permet de transformer les fines particules du mélange minéral en micro boulettes (ou nodules) qui seront déposées sur la chaîne d'agglomération

Les micros boulettes sont constituées d'un noyau autour duquel se collent les fines particules.

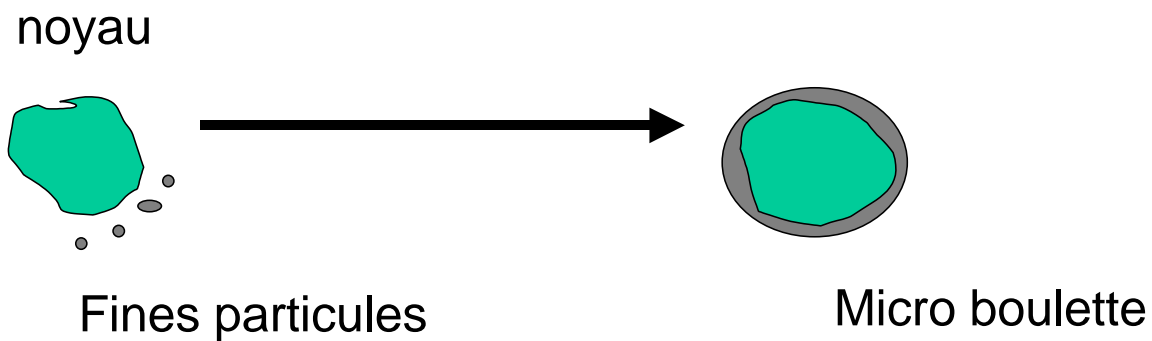


Figure 8 : Microboulttage

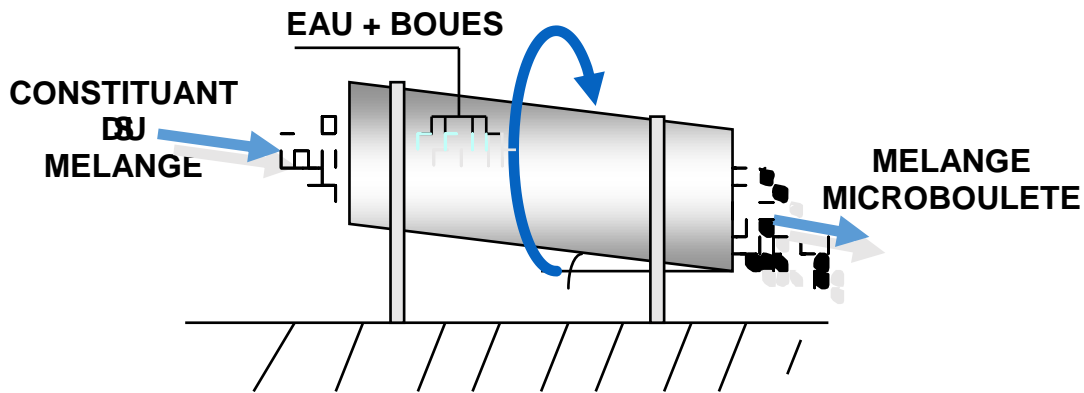


Figure 9 :Le nodulisateur

8.1.1.1 Les réglages possibles pour noduliser correctement :

8.1.1.1.1 L'humidité du mélange :

- Pour chaque mélange minéral il est nécessaire de trouver l'humidité qui donnera le meilleur micro bouletage, donc une productivité maximale.
- Eau (humidité) optimale :
- L'humidité optimale est l'humidité du mélange chargé qui permet d'obtenir la productivité maximale. Cette humidité est comprise entre 4% ET 7% selon les mélanges de minerais. Au-delà de cette humidité, l'addition d'eau devient excessive : il y a formation de boue. [1]

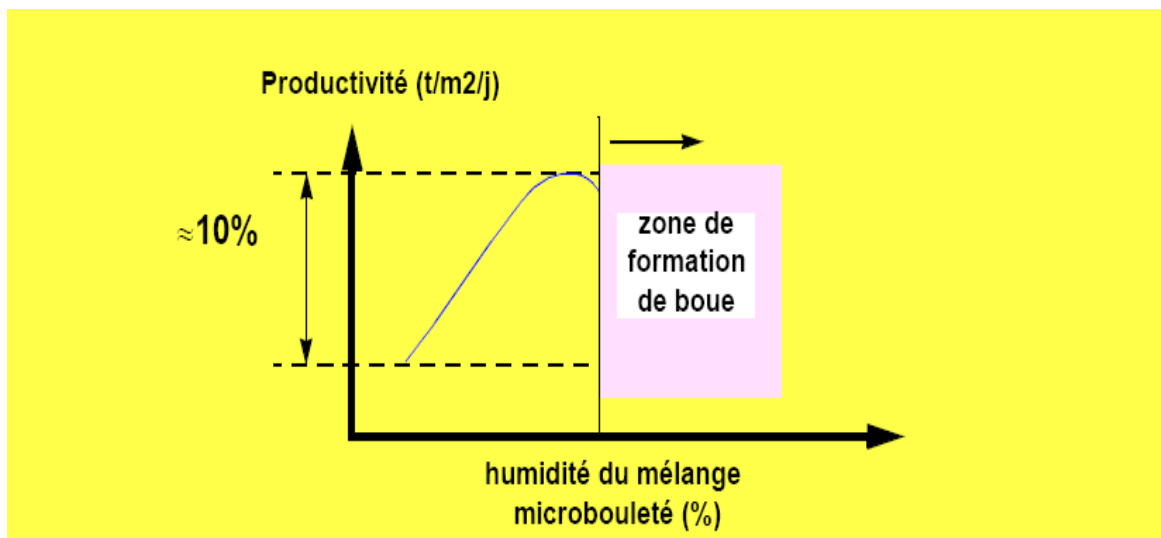


Figure 10 :Détermination de l'humidité optimale

8.1.1.1.2 L'addition de chaux vive :

_ La chaux vive augmente la résistance mécanique à chaud des micros boulettes, ce qui permet d'augmenter la productivité.

Les matières premières ont une double influence :

- Leur granulométrie permet une répartition favorable ou non entre les fines particules et les noyaux.
- La nature minéralogique du mélange influe sur la qualité du micro bouletage.
- Le choix des matières premières et l'addition de chaux vive sont des paramètres technico-économiques, dont l'opérateur n'est pas toujours maître.

Par contre l'humidité du mélange est un paramètre important à contrôler régulièrement.

Les grosses particules constituent les noyaux des micro boulettes.

- Les fines particules adhèrent au noyau et l'enrobent.
- les grosses particules de taille intermédiaire difficiles à noduliser.
- le liquide assure la liaison entre les particules.
- les micro-boulettes doivent être suffisamment résistantes au transport, au séchage, à la cuisson (et en particulier à la sur humidification). [1]

8.1.2 Chargement :

Le phénomène étudié est le dépôt en continu d'un lit de mélange micro boulettes sur la grille en mouvement, protégée par une couche d'aggloméré recyclé.



Figure 11 : Forme du mélange avec la couche de protection

Le chargement est le l'avant-dernier point où un réglage est encore possible, il se situe entre la nodulisation et l'allumage



Figure 12 :Chargement

8.1.2.1 Principe de base :

- _ Le chargement est continu et régulier, afin de respecter la consigne de hauteur de couche.
- _ Les micros boulettes sont chargées par gravité.
- _ L'opération de chargement (technologie, débit...) induit une organisation spatiale des micros boulettes dans le lit
- _ Cette organisation conditionne en grande partie la suite du processus d'agglomération, puisque la productivité est fonction de la perméabilité aux gaz pendant la cuisson. [1]

8.1.2.2 Configuration du chargement :

Le mélange prêt à cuire est stocké dans une trémie tampon (autonomie 2 min environ) appelée tête de chaîne. Il est extrait par un tambour tournant à faible vitesse (quelques tours/min). [1]

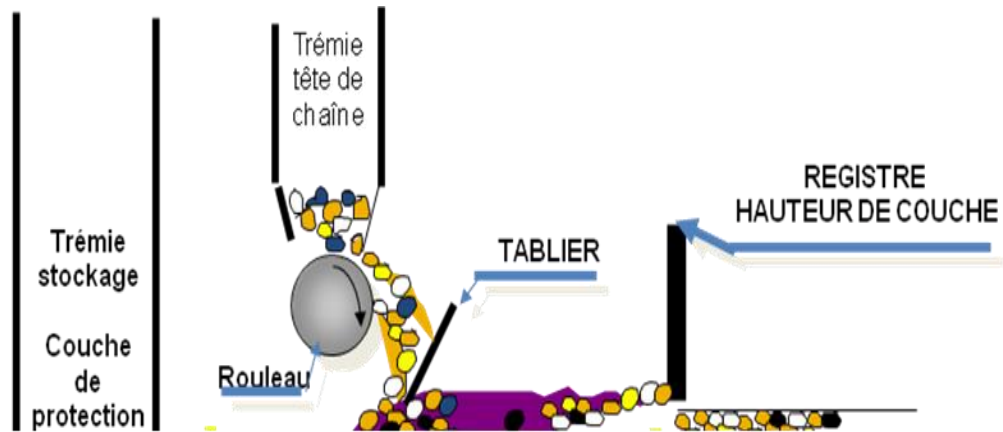


Figure 13 : Configuration du chargement

8.1.2.3 Chargement de la couche de protection :

La couche de protection est constituée d'aggloméré recyclé de granulométrie en général comprise entre 12,5 et 25 mm ; et forme un lit de 3 à 4 cm de hauteur. [5]

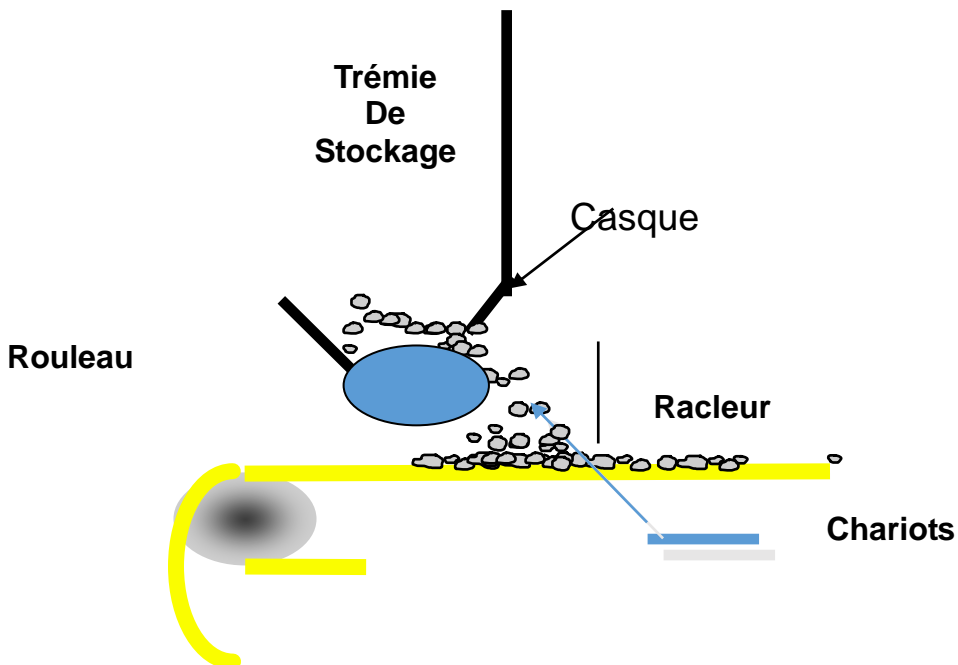


Figure 14 : Chargement de la couche de protection

8.1.2.4 Les fonctions de la couche de protection sont :

- D'empêcher le mélange de passer au travers de la grille
- De protéger thermiquement les barreaux de la grille en absorbant une partie de la chaleur des fumées
- D'éviter le collage de manière à faciliter le défournement du gâteau d'aggloméré en bout de chaîne.

La granulométrie et l'épaisseur de la couche de protection ne sont pas sans incidence sur la productivité de la chaîne : une granulométrie grossière et une épaisseur de la couche de protection égale à trois fois la médiane des particules constituant la couche favorisent un meilleur écoulement des gaz. [1]

8.1.3 Allumage

Le phénomène étudié est l'initialisation du processus de frittage du mélange déposé sur la chaîne.

Cette opération est réalisée par l'inflammation du combustible proche de la surface du mélange lors de son passage sous la hotte. [1]

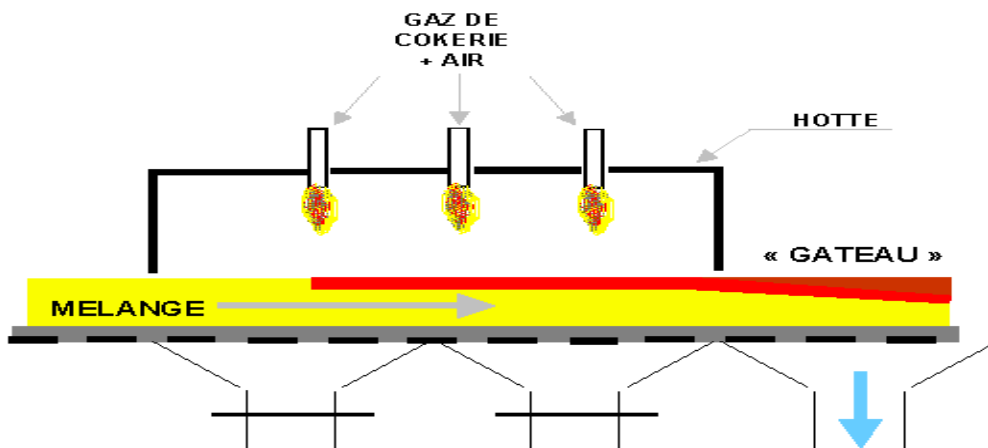


Figure 15: La hotte d'allumage

L'allumage se situe entre le chargement (amont) et le frittage (aval) Il est limité à ce qui se passe entre l'entrée et la sortie de la hotte.



Figure 16 :Allumage

8.1.3.1 Principe de base :

Le combustible solide est porté à une température supérieure à sa température d'inflammation (~700°C).

L'outil classiquement utilisé est une hotte équipée de brûleurs à gaz. L'apport thermique se fait par convection et rayonnement : La convection est réalisée grâce à des fumées chaudes oxydantes provenant des brûleurs. Ces fumées sont aspirées à travers le mélange. La partie de l'énergie qui n'est pas nécessaire à l'inflammation du combustible est utilisée pour le frittage de la couche supérieure et pour réchauffer le mélange des couches inférieures.

A la sortie de la hotte d'allumage, le gâteau subit une trempe due à l'aspiration d'air froid. Cette trempe provoque une zone d'incuits à la surface de la couche. Une technique pour éviter ou limiter les effets de cette trempe est l'utilisation d'une hotte de traitement thermique.

8.1.3.2 Influence de l'allumage sur la consommation de combustible solide :

L'augmentation de la teneur en oxygène (si elle est faible c'est-à-dire inférieure à 10%) entraîne également une diminution de la consommation de combustible solide. L'effet de seuil s'explique par le fait que les fumées doivent contenir une quantité suffisante d'oxygène pour assurer la combustion du combustible solide, au-delà de cette quantité suffisante, l'oxygène supplémentaire n'est pas utilisé et se retrouve dans les fumées de cuisson (signe d'un excès d'air excessif et donc de fumées moins chaudes).

8.1.3.3 Influence de l'allumage sur la productivité :

La qualité de l'aggloméré dépend fortement des conditions d'allumage et de cuisson. La qualité de l'aggloméré varie selon sa position dans la couche : la plupart des fines de retour (~50%) proviennent du tiers supérieur de la couche, en raison de l'effet de trempe à la sortie de la hotte d'allumage.

La résistance mécanique est plus faible et l'aggloméré plus petit dans la partie supérieure de la couche. [1]

8.1.4 Le frittage :

8.1.4.1 Définition :

Transformation physico-chimique du mélange déposé sur chaîne en aggloméré. Elle est obtenue par passage à haute température. Le frittage concerne la zone comprise entre la hotte d'allumage et le bout de chaîne.

8.1.4.2 Principe de base :

L'opération de frittage est réalisée par la propagation du front de flamme du haut vers le bas de la couche par aspiration de l'air ambiant par les ventilateurs de cuisson. Le front de flamme est initialisé par l'allumage.

Et voilà la figure suivante :

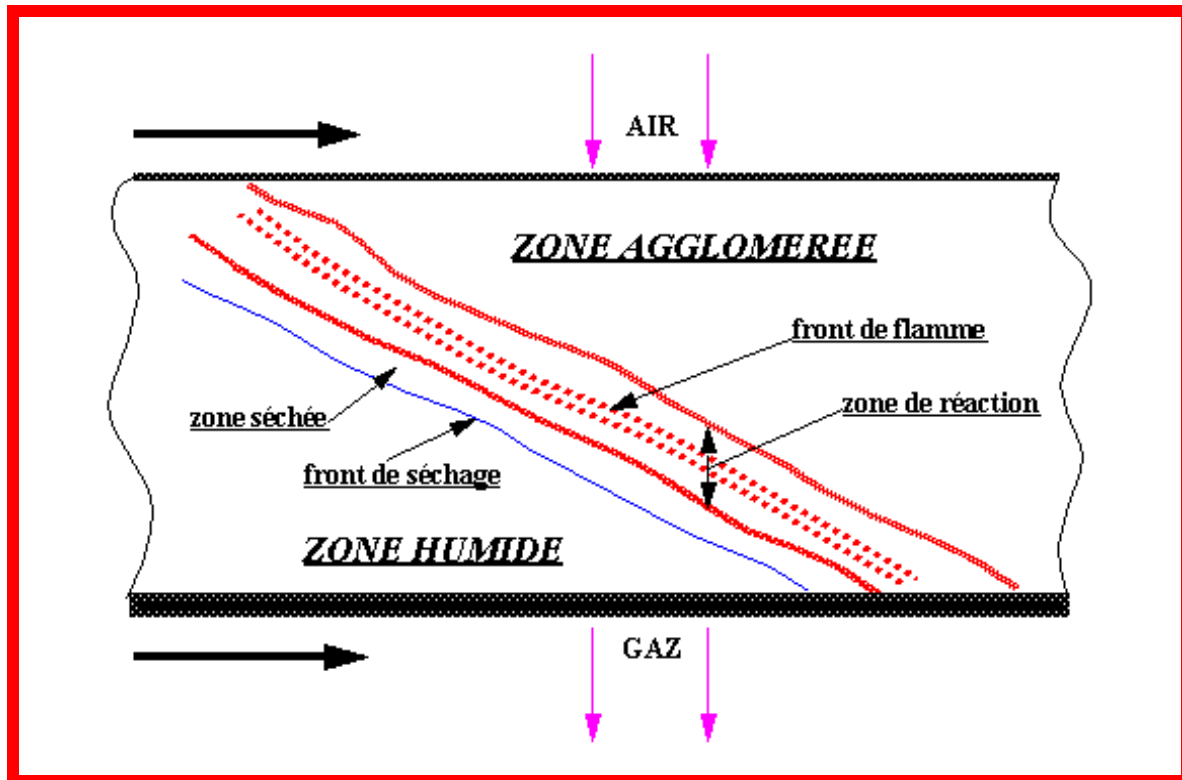


Figure 17 : Frittage

Si on coupe une tranche de la charge en cours d'agglomération, on peut la diviser en 5 zones :

- Couche de protection de la grille (bedding)
- _ Zone humide (mélange sur humidifié)
- _ Zone d'échauffement rapide (zone sèche)
- _ Zone à haute température (front de flamme)
- _ Zone de refroidissement (aggloméré).

8.1.5 Repère de cuisson :

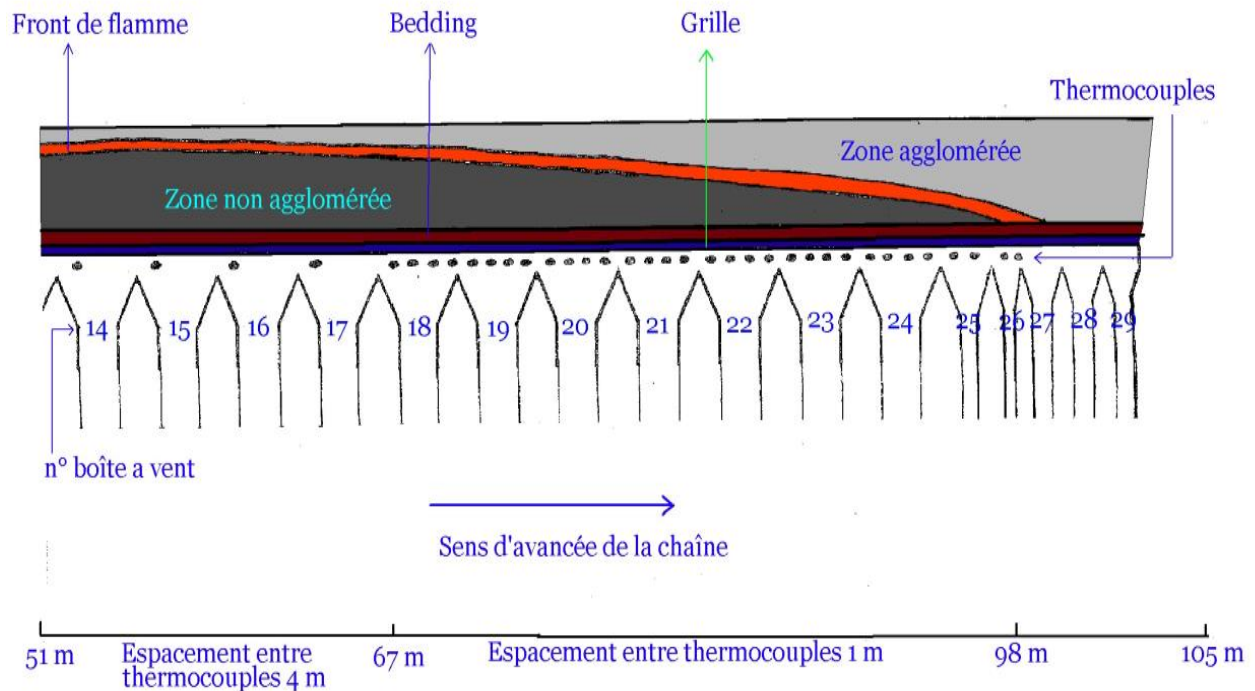


Figure 18 :schéma d'implantation des thermocouples de la range centrale

L'aggloméré chaud tombe sur une brise motte, avant de passer en crible chaud, le refroidissement de l'aggloméré est assuré dans des refroidisseurs circulaire ou rectangulaire. Le crible à froid est effectué avant le départ de l'aggloméré au haut fourneau, et au pied même de ce dernier, par fois un concassage ultérieur de fraction grossière et nécessaire.

8.1.6 Refroidissement de l'aggloméré :

L'aggloméré de granulométrie (5 à 250mm) est déversé dans un refroidisseur, la température du produit est abaissée au-dessous 150°C par l'aspiration d'air à l'aide de ventilateur n°4, 5 et 6. [5]

CHAPITRE 2 : Généralités sur la poussière

CHAPITRE 2 : Généralité sur la poussière

1 Définitions et caractéristiques des poussières :

1.1 Définition générale des poussières

La poussière correspond aux particules dans l'air dont le diamètre est inférieur à 1 000 micromètres (μm).

Ils sont naturellement présents dans l'atmosphère et peuvent être :

- **De sources naturelles** : résultat du vent (sable et limon de l'érosion éolienne, embruns Constitués de chlorure de sodium etc.).
- **Des activités humaines** : transport, chauffage, agriculture (récolte), industrie, compris carrière.

Une partie de la poussière, ou particules secondaires, est formée dans l'air par des réactions chimiques de polluants précurseurs tels que les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, l'ammoniac et les composés organiques volatils. [6]

1.2 Les caractéristiques des poussières

La tendance naturelle à l'excrétion et à la suspension des poussières est directement liée aux propriétés du matériau (alluvionnaire, éruptif, calcaire). Mais cela dépend aussi de la teneur en humidité, qui est plus ou moins importante selon que le matériau est naturellement hydrophobe ou hydrophile.

De même, la forme affecte les vitesses de vol et de sédimentation. Par conséquent, la poussière est caractérisée par sa nature et la taille de particule. Ces deux paramètres vont contrôler leur comportement dans l'air et leur nocivité pour l'homme. [7]

1.2.1 Le diamètre des particules ou granulométrie

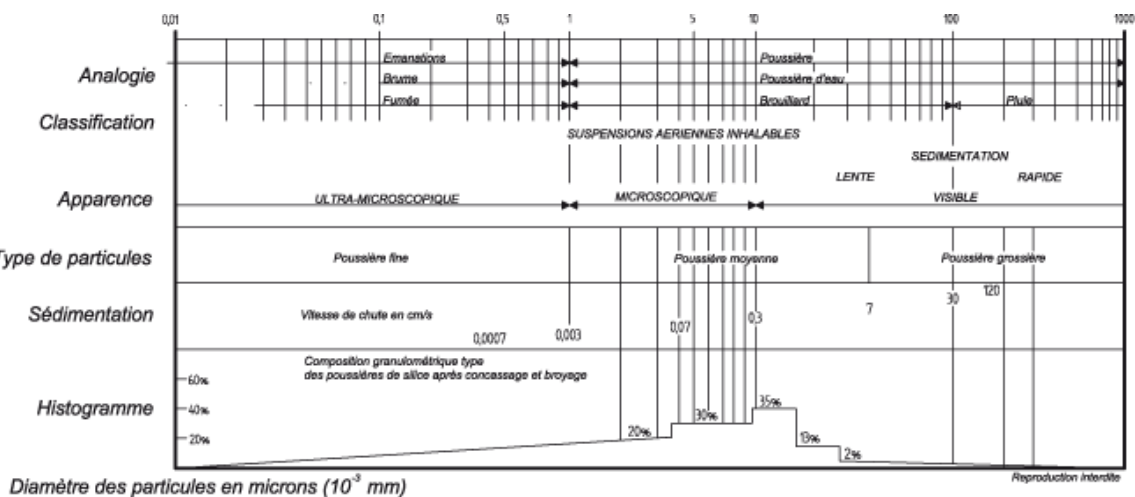
La taille des particules définit leur comportement dans l'environnement. Elle nous aide à comprendre comment ces particules sont dispersées autour du site et comment elles se comportent en fonction des conditions météorologiques.

Les exploitants de carrières utilisent un vocabulaire spécifique pour nommer les particules selon leur taille.

- Poussières fines, les particules de diamètre inférieur à 1 micron. Les particules sont alors assimilables aux émanations, aux aérosols et aux fumées ;
- Poussières moyennes, les particules dont le diamètre est compris entre 1 et 40 microns ;
- Poussières grossières, les particules de diamètre supérieur à 40 microns et inférieur à 80 microns.

Aujourd'hui, les particules en suspension sont considérées comme l'un des principaux indicateurs de la qualité de l'air. Les organismes chargés de la surveillance de la qualité de l'air distinguent les particules de diamètre inférieur à 10 microns : **PM10**, 2,5 microns : **PM2,5** et 1 micron : **PM1**.

Les particules peuvent également être distinguées en fonction de leur apparence visuelle. Si elles ont moins de 10 microns de diamètre, et si elles restent en suspension dans un état de faible sédimentation, on les appelle particules microscopiques. Les particules visibles à l'œil nu sont des poussières de plus de 10 microns de diamètre, dont la vitesse de sédimentation augmente avec le diamètre. Une particule de 10 microns tirée à 1 mètre de hauteur se dépose en quelques minutes, tandis qu'une particule de 100 microns prend quelques secondes.



- a. Analogie : Les particules inférieures à 1 micron sont similaires à la fumée.
- b. Apparence : particules ultramicroscopiques ou microscopiques inférieures à 10 um, seules les poussières supérieures à 10 microns sont visibles à l'œil nu.
- c. Sédimentation : la vitesse de chute permet de situer les risques de pollution de l'environnement en fonction de la dimension des particules considérée le comportement des particules selon leur granulométrie

Le vent constitue le vecteur de la nuisance poussière dans l'environnement.

Dans un air calme à 20° C, les vitesses de chute des particules de différents diamètres sont données dans le tableau 3 suivant :

Tableau 3 : Vitesse de chute en fonction de la dimension des particules [6]

Dimension des particules en microns (Diamètre aérodynamique)	Vitesse de chute en cm/seconde
1000	400
100	30
10	0,3
1	0,0035 (12,6 cm/h)
0,1	0,000035

- Diamètre aérodynamique :

$$D_a = D_x \sqrt{P} \dots\dots\dots(1)$$

Avec

D_x : diamètre géométrique

P : densité de la particule

Le tableau ci-dessous répertorie les distances parcourues par des particules minérales en fonction de la vitesse du vent, à partir d'un point d'envol pour un stock de granulats d'une hauteur de 15 m.

Tableau 4 : Les distances parcourues par des particules minérales

Taille des particules(μm)	200	100	30	10	5	1
Vent à 10 km /h	0.03 km	0.15 km	0.6 km	14km	42km	140km
Vent à 30 km /h	0.1 km	0.4 km	1.8 km	40 km	125 km	4165 km

Ce tableau représente les distances parcourues des particules minérales en fonctions des vitesses du vent à 10 km/h et 30 km/h, les résultats montre que les distances parcourues sont proportionnelles à la taille des particules et à la vitesse du vent, quand le diamètre diminue la distance augmente.

De même, le graphique suivant indique la distance parcourue par des particules tombant d'une hauteur de 9 m. [6]

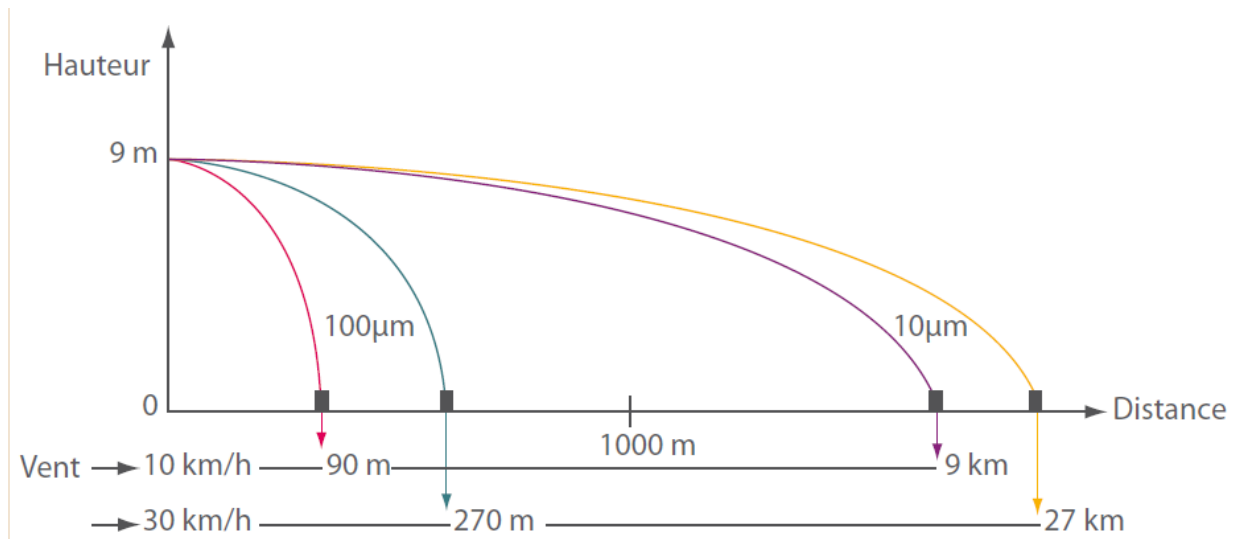


Figure 20 : Influence du vent sur la propagation des poussières [6]

1.3 Les effets éoliens :

Les effets produits par l'action des vents sont très importants car ce sont eux qui provoquent pour une part importante, l'envol des particules et/ou leur transport aux alentours des installations.

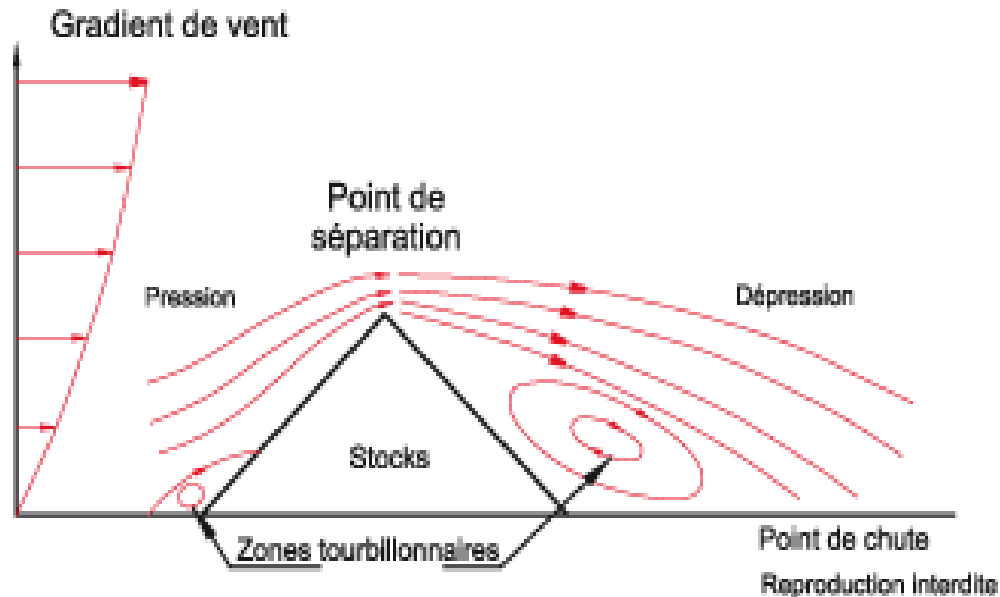


Figure 21 : Les effets éoliens

Sur ce graphique, on considère la mise en suspension d'une particule minérale depuis une hauteur de 15 mètres, hauteur moyenne d'un stockage classique, avec des vents laminaires de 10 et 30 km/h et l'on constate que suivant leur vitesse de sédimentation propre, une poussière de 100 microns touchera le sol à 150 mètres de son point d'envol par un vent de 10 km/h et à 400 mètres par un vent de 30 km/h.[7]

2 L'origines des poussières

L'atmosphère autour de la Terre n'est jamais pure. Certains composés importants, tels que la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone, font également partie du cycle biologique. Les poussières, celles des tempêtes de poussière et des incendies naturels sont également transportées par cette atmosphère, à des concentrations variables dans l'espace et dans le temps.

Dans l'atelier, le rejet de polluants peut mettre en danger la santé humaine, les conditions de travail et l'outil de production lui-même. Afin d'évaluer l'impact des émissions de poussières sur le milieu de travail et l'environnement, il est donc nécessaire de pouvoir identifier et quantifier

ces polluants. Cette analyse est également essentielle pour sélectionner le bon équipement.

Cela permettra de les capter de manière fiable et économiquement acceptable au moins jusqu'au seuil fixé par la réglementation. [8]

3 Les différents types des poussières

Dans le secteur des mines et carrières, les poussières peuvent avoir différentes origines : alluviales, éruptives, métamorphiques, calcaires, basaltiques. Ils peuvent aussi provenir du minerai de fer, du manganèse, de la bauxite, du charbon, des phosphates... Ces poussières peuvent être divisées en différentes catégories : sporadiques ou fugitives, semi-permanentes ou permanentes.

3.1 Sporadique ou fugitives :

Il s'agit des émissions causées par le dynamitage, le déchargement des camions à benne basculante et la dispersion d'éléments fins provenant du stockage à ciel ouvert.

3.2 Semi-Permanent :

Il s'agit essentiellement des émissions produites lors du forage et de l'exploitation des véhicules sur les routes, les pistes et les chemins.

3.3 Permanent :

Il s'agit de toutes les émissions provenant des installations de broyage, de concassage, de traitement et de criblage.

Les opérations de manutention et de stockage peuvent entraîner la formation d'épais nuages de poussière dans des zones très confinées. Ces poussières sont particulièrement inflammables et donc dangereuses.

- La tendance naturelle à l'excrétion et à la suspension de la poussière est directement liée à : la nature du matériau (la poussière est l'une des meilleures parties de ce matériau, qu'il soit minéral).

- Que le matériau soit naturellement hydrophobe ou hydrophile, le taux d'humidité est plus ou moins important.
- Des formes qui favorisent le décollage et/ou réduisent les taux de stabilisation et la vitesse de sédimentation. [8]

4 Définition de l'état particulaire :

Nous désignerons les poussières comme des particules en phase solide de diamètre relativement petit transportées par le gaz.

Nous dirions que la poussière a un diamètre d'air moyen compris entre 0,05 et 100 μm .

Les particules inférieures à 0,05 μm de diamètre seront classées comme aérosols.

Au-delà de 10 μm , on ne parlera plus de poussière mais de particules solides. [9]

4.1 Polluants particulaires

Ces polluants ont des effets à court et à long terme à proximité et à distance. Ils provoquent différents types de nuisances : pollution, vieillissement des équipements et toxicité. C'est la plus petite particule, d'une taille comprise entre 0,3 et 6 μm , et elle est généralement la plus dangereuse pour l'homme car elle peut pénétrer dans d'autres organes par les poumons et le sang. D'un point de vue physique, il existe essentiellement deux types de poussières :

4.1.1 Poussière d'origine mécanique :

Ces poussières sont obtenues par concassage de matières (broyage, transport). Les plus grosses particules supérieures à quelques centaines de microns se déposent sur l'appareil lui-même ou sur le sol. La poussière mécanique peut être observée au microscope optique et est généralement facile à capter. Ces particules peuvent être aussi sous forme de fibre comme par exemple les fibres d'amiante.

4.1.2 Les poussières d'origine chimique ou thermique :

Elles sont obtenues par réactions chimiques et/ou par condensation de vapeurs à l'état liquide puis à l'état solide. Elles se forment lors de réactions entre gaz, notamment à température ambiante ou par condensation de vapeur lors de la production de matériaux à haute température. Ces poussières dites « submicroniques » ont toutes une taille inférieure à un micron lors de leur

formation, et certaines particules peuvent avoir une taille inférieure à un centième de micron. Elles ne peuvent être observées qu'au microscope électronique. [9]

5 Les types des poussières selon la Nature de la matière :

- Poussière organique
- Poussière explosive
- Poussière inflammable
- Poussière minérale

5.1 Les poussières minérales

5.1.1 Origine

Principale source de fraction minérale de la poussière. Cette composition minérale provient de l'altération des roches locales et des produits chimiques inorganiques introduits dans le sol par l'homme lors de la plantation et de l'entretien des cultures.

5.1.2 Composition principale

L'analyse minéralogique de la poussière a montré qu'elle contenait des minéraux normalement présents dans le sol. Les éléments de la croûte terrestre sont riches en oxydes de silicium, de fer et de calcium. Le terme commun pour la silice est SiO_2 , qui s'applique à plusieurs composés dont les unités structurales sont des tétraèdres SiO_4 . C'est l'organisation spatiale de ces tétraèdres qui va définir la structure amorphe ou cristalline d'un composé, en partie à cause de leur caractère néfaste. Contrairement à la silice cristalline, la silice amorphe n'est pas considérée comme très nocive. La famille des silices cristallines comprend les variétés suivantes : Quartz - Alpha et Beta, Tridymite - Alpha, Beta 1 et Beta 2, Cristobalite - Alpha et Beta, Moulite, Coésite et Quartz. On pense que les deux derniers composés n'ont aucun effet sur la santé. Dans le cas de l'Ouest canadien, les minéraux suivants ont été trouvés dans la poussière, dont une grande proportion étaient des silicates : quartz, feldspath 2, calcite 3, illite 4, kaolinite 5, chlorite 6, montmorillonite 7 et anhydrite 8. De plus, il existe différentes quantités de dolomie 9, pyrite 10,

halite 11, smectite 12, gypse 13... La teneur en quartz varie considérablement (0,85 - 17,5 % en masse) d'un échantillon à l'autre ; par contre celui-ci n'a pas été considéré comme significativement différent selon le niveau d'irrigation. [10]

6 Les poussières générées par le procédé d'agglomération :

Les problèmes d'environnement liés aux chaînes d'agglomération se posent essentiellement en termes de pollution de l'air (poussières et polluants gazeux).

Aussi, on oppose couramment deux circuits de fumées :

- **Les poussières de cuisson** (circuit principal) qui correspondent à l'air aspiré à travers la charge sur la chaîne d'agglomération et ayant réagi avec le combustible solide mélangé au minerai (environ 500 tonnes/an pour un site sidérurgique ayant une production annuelle d'environ 5 millions de tonnes d'acier par an) ;
- **Les fumées d'ambiance ou des locaux** (circuit secondaire) qui sont émises lors des opérations de manutention, criblage et refroidissement de l'aggloméré (environ 400 tonnes/an pour un même type de site).

Les principaux polluants présents dans les fumées de cuisson sont :

- Les poussières,
- Les oxydes de soufre (essentiellement SO₂)
- Les oxydes d'azote (essentiellement NO)
- Le monoxyde de carbone (CO). [11]

7 Les sources d'émission de poussières dans PMA

Les processus industriels mettant en œuvre des produits solides pulvérulents (sidérurgie, fabrication d'engrais, cimenteries, etc.) ou des installations de combustion utilisant ou détruisant des combustibles non commerciaux ou des déchets (déchets industriels, ménagers.), les véhicules diesels, notamment pour les particules de faible taille (<10µm).

Le chargement et le déchargement de camions ou wagons peut provoquer d'importants dégagements de poussière. Au cours du transport, des poussières fines sont emportées par le vent. Quant aux camions eux-mêmes, ils émettent des substances nocives par leurs gaz d'échappement. Ils sont de plus à l'origine de nuisances sonores, tout comme les chemins de fer d'ailleurs. Le transport par routes ou par rail est consommateur d'espace en raison des voies à aménager.

Le concassage primaire des matériaux se fait de préférence dans des concasseurs à mâchoires ; ceux-ci sont suivis d'une installation de criblage, dont le refus est renvoyé au concassage. Les fragments de taille convenable sont accumulés dans des silos de stockage intermédiaire. Une bande transporteuse achemine ensuite les produits vers le broyeur. La classification des matériaux broyés consiste à trier les grains selon leur finesse. Les fragments trop gros retournent au broyage, tandis que la fraction normale est stockée en silo. Un broyage plus fin avec une nouvelle classification peut se faire au moyen de broyeurs à barres ou à boulets.



Figure 22 : poussière générée par la comminution

Toutes les étapes de travail s'accompagnent de bruit et de dégagement de poussières, ce qui constitue une nuisance non seulement pour les personnes employées à ces postes, mais également pour l'environnement en général. Il n'est pas possible d'avancer des chiffres absolus pour les quantités de poussières engendrées, puisqu'elles dépendent entre autres de la structure cristalline des minéraux, de la nature des associations minérales, du coefficient de réduction et de la technologie des équipements. Quoi qu'il en soit, il est sûr qu'avec des installations dont la capacité peut atteindre actuellement 50 000 t/jour, tous rejets de poussières, aussi minimes qu'ils soient, ont des incidences sur les sols et la végétation au voisinage des installations. Les retombées de métaux lourds notamment peuvent être préjudiciables à la santé (absorption par le biais de la chaîne alimentaire). Aux postes de travail, la présence de poussières fibrogènes peut provoquer des cas de silicose ou d'asbestose. [12]



Figure 23 : poussière générée par l'Agglomération

Tableau 5 : Répartition des charges polluantes (de la PMA)[12]

Substance	Source	Charge (t/an)	Charge de production nominale (t/an)	Sources des données
Poussières	Boite à vent Agglo 1	2380	3895	C
	Brise motte Agglo 1	1460	2385	C
	Boite à vent Agglo 2	7000	13375	C
	Brise motte Agglo 2	4280	8190	C
	Transport Coke	2	4	C
	Transport Minerai	35	65	C
	Transport Aggloméré	340	605	C

C : estimation d'après la littérature

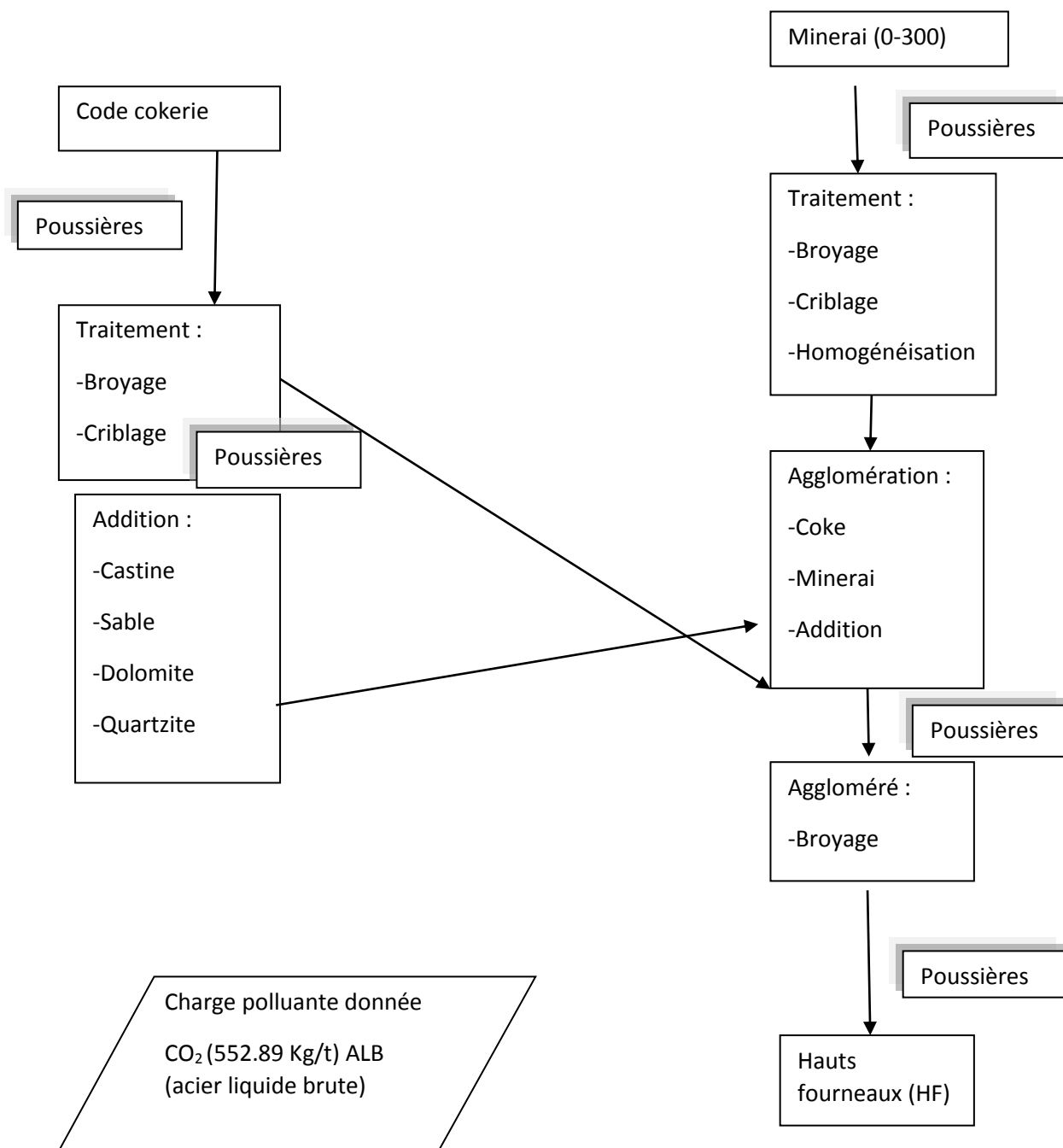


Figure 24 : Synoptique PMA [12]

Ce tableau représente les Sources de poussière dans PMA sont :

Tableau 6: Les Sources de poussière dans PMA

Les sources des poussières	Pourcentage (%)
Unités de concassage, de criblage	5-10
Rejets par les cheminées	5-10
Circulation des engins	15-20
Envolements à partir des stocks	10-30
Chutes de matières contenant des poussières	20-40
Agglomération	40 - 50
Charriot	15-20
Mise en tas	10-30
Reprise	0-10
Convoyeur à bandes	30-60

8 Propriétés physico-chimiques des particules atmosphériques :

Le comportement des particules dans l'air et dans l'organisme humain dépend de leurs propriétés physico-chimiques. La dimension, la masse volumique et la forme de ces particules ont une importance capitale car ces paramètres influent non seulement sur la vitesse de sédimentation des particules, et donc sur leur durée de suspension dans l'atmosphère, mais encore sur leur pénétration et leur dépôt dans l'appareil respiratoire. Les éventuels effets nocifs des particules dépendent, eux aussi, de leur composition chimique et minéralogique, de leur solubilité et de leur activité biologique.

S'agissant des particules qui exercent uniquement des effets externes, par exemples au niveau de la peau, la dimension particulaire a moins d'importance mais il faut quand même en tenir compte

car les caractéristiques de la sédimentation en dépendent. Quand les particules n'exercent pas un effet direct à l'endroit où elles se déposent mais sont capables de pénétrer dans la circulation sanguine, il y'a risque d'intoxication générale (c'est le cas entre autres métaux toxiques du plomb et du manganèse) ; leur dimension est également importante du fait que la solubilité de l'agent toxique en dépend.

L'effet irritant sur les voies respiratoires dépend dans une très grande mesure de la dimension et de la solubilité des particules et peut aller d'une simple irritation des voies respiratoire supérieure à un bronchospasme ou un œdème pulmonaire. Certaines moisissures, qui sont formées de particules de dimension relativement importantes, peuvent provoquer une pneumopathie obstructive tandis que les moisissures constituées de particules plus petites, qui descendent dans l'arbre bronchique jusqu'aux alvéoles, peuvent déterminer une alvéolite allergique extrinsèque. Les poussières fibrogènes ont une importance particulière car elles sont irritantes pour les voies respiratoires : il faut spécialement prêter attention à la fraction formée de particules suffisamment petites pour atteindre les espaces pulmonaires (partie distale de l'arbre bronchique, qui va des bronchioles respiratoires jusqu'aux alvéoles et correspond à la zone d'échange) et quel niveau de l'arbre bronchique ou si elles sont ingérées. Il est donc de règle de prélever un échantillon des poussières totales quand on procède à l'évaluation d'agents exerçant des effets systémiques.

8.1 Dimension particules :

La dimension des particules est généralement considérée comme la caractéristique physique la plus importante des matières particulaires en suspension dans l'air.

La dimension d'une particule est habituellement définie par son diamètre, sauf quand on connaît sa forme géométrique. Dans ce dernier cas, on peut indiquer des paramètres tels que la longueur et la largeur. Pour des particules sphériques, le diamètre caractérise effectivement la dimension tandis que, dans le cas contraire, il faut adopter certaines conventions pour préciser la dimension des particules. Les conventions les plus courantes consistent à exprimer :

- le volume de la particule, assimilée à une sphère.
- la masse des particules, assimilées à une sphère.
- la vitesse de sédimentation de la particule, exprimée par référence à une sphère.

- le diamètre de la particule, assimilé à une dimension transverse du contour apparent de la particule vue au microscope (diamètre apparent).

Le paramètre auquel on fait le plus souvent appel pour définir la dimension des particules dans le cadre d'une évaluation à des fins d'hygiène industrielle est déduit de la vitesse de chute de la particule dans un air immobile. Quand une particule jusqu'alors au repos se met à tomber, elle est soumise à deux forces de sens opposés, la pesanteur qui l'entraîne vers le bas et la résistance de l'air (trainée aérodynamique). L'équilibre entre ces deux forces est électrique. Quand on fait appel à des méthodes de sédimentation pour déterminer la dimension de particules de forme irrégulière, les diamètres obtenus correspondent au diamètre équivalent de Stokes. Les méthodes existantes diffèrent par leur principe de base et par la gamme de leur application.

Les dimensions et la forme d'une particule constituent, parallèlement à sa masse volumique et à ses caractéristiques superficielles, des propriétés très importantes qui influent non seulement sur son comportement dynamique dans l'air et dans l'appareil respiratoire mais aussi sur sa réactivité chimique et biologique.

8.2 Forme et facteur de forme :

La dimension d'une particule présente dans l'atmosphère ne suffit pas pour qu'on puisse en déduire tous les effets biologiques résultant de son inhalation ; des propriétés physiques telles que la forme, la porosité et la rugosité, peuvent aussi déterminer en partie l'effet produit.

La forme d'une particule dépend de la nature du matériau constituant et du mode de formation. La forme d'une particule permet de déterminer le rapport entre surface et volume. Le facteur de forme constitue une caractéristique très importante de la particule, comme c'est le cas pour les fibres. Par définition, les fibres sont des particules dont la longueur est au moins trois fois égale à la largeur. Il apparaît de plus en plus certain que l'exposition aux fibres peut avoir un retentissement biologique appréciable. On admet généralement que le rapport longueur/largeur est un facteur décisif pour les fibres d'une certaine dimension ; ce rapport influence, par exemple, sur le pouvoir cancérogène des fibres d'amiante.

8.3 Aire et volume :

Comme on l'a indiqué plus haut, la forme d'une particule détermine le rapport de son aire à son volume. Plus la forme s'écarte de celle d'une sphère, plus l'aire de la particule est élevée, à volume égal ; cette caractéristique a une influence particulièrement marquée sur la vitesse limite et elle revêt aussi une grande importance sur le plan biologique. L'aire totale d'une particule (surface d'adsorption) correspond à la surface à la surface totale de la particule, y compris la surface des pores qui débouche sur l'extérieur. L'aire totale d'une particule et sa nature physico-chimique déterminent sa capacité à adsorber les gaz et les vapeurs et à retenir les charges électriques.

La réactivité d'une particule dépend très directement de son aire. Cela explique que la capacité de réaction des poussières augmente quand leur taille diminue, car leur aire relative augmente alors rapidement ; c'est ce qui explique les coups de poussier (explosion de fines particules de substances inflammables) et, de façon générale, la réactivité chimique accrues des "fines".

Diverses propriétés des particules sont liées aux caractéristiques de leur surface : l'aire spécifique, l'adhésion, la diffusion de la lumière, la charge électrostatique, le pouvoir d'adsorption, la solubilité et la vitesse d'évaporation. Il va de soi que les variations de paramètres environnementaux tels que la température, l'humidité et la qualité de l'air peuvent modifier La surface des particules en suspension dans l'air et, partant, les propriétés qui en dépendent.[13]

CHAPITRE 3 : Impact de la poussière sur l'environnement

CHAPITRE 3 : Impact de la poussière sur l'environnement

1 En quoi les poussières peuvent-elles être dangereuses pour l'homme :

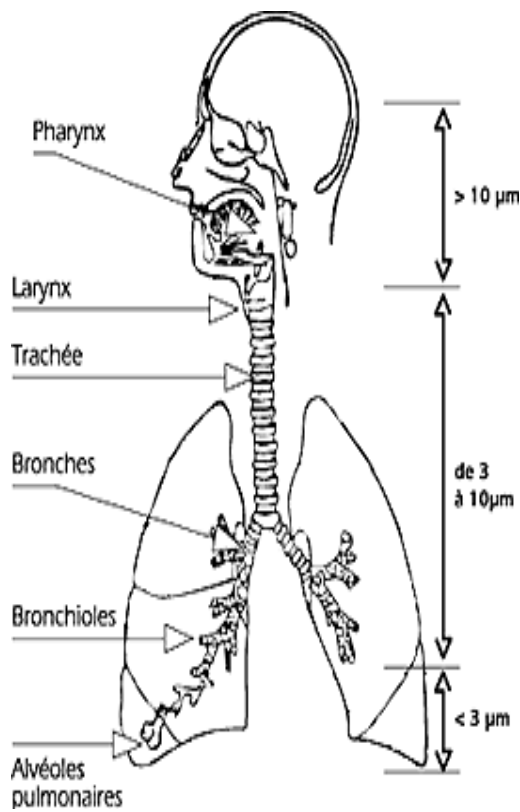
Les particules en suspension dans l'air sont inhalées pendant la respiration et se déposent dans différentes régions des voies respiratoires, formant la voie principale dans le corps. La probabilité de passage par le nez ou la bouche et la probabilité de dépôt dépendent de plusieurs paramètres :

- Physique (vitesse et direction du vent extérieur, diamètre aérodynamiques des particules)
- Anatomique (calibres bronchiques, angles de ramification)
- Physiologique (type de cycle respiratoire, volume courant, fréquence respiratoire) [14]

2 La pénétration des particules dans l'organisme :

Comme presque tous les polluants atmosphériques, les particules sont absorbées par le système respiratoire humain. Ce sont les poussières dites respirables, celles qui ont un diamètre inférieur à 10 microns et une forme aérodynamique, et sont les plus dangereuses (voir ci-dessous). En fait, ces particules pénètrent plus profondément dans les poumons et peuvent atteindre les alvéoles, tandis que les particules plus grosses restent dans la trachée ou les bronches.

Cette figure montre comment les particules pénètrent dans l'appareil respiratoire



Au-dessus de $10\ \mu\text{m}$ les particules sont "filtrées" par le système ciliaire du nez et ne pénètrent pas dans l'appareil respiratoire.

Les particules dont le diamètre est compris entre 3 et $10\ \mu\text{m}$ (fraction thoracique) se déposent au niveau de l'arbre respiratoire (trachéo-bronchique). Leur effet est donc beaucoup plus localisé (trachée artère, voies respiratoires supérieures).

Seule la partie constituée des particules les plus fines ($< 3\ \mu\text{m}$), donc non visibles par l'œil humain peut atteindre les alvéoles des poumons (fraction alvéolaire). Ces particules agiront donc principalement sur les parois alvéolaires et pourront aussi pénétrer dans le système sanguin. Deux effets sur la santé sont donc possibles : action irritative et chimique des parois alvéolaires et action sur les cellules de certains organes (reins, foie, cerveau...).

Figure 25 : Appareil respiratoire et pénétration des particules [15]

3 Risques pour la santé :

D'une manière générale, la poussière est considérée comme gênante ou nocive pour la santé, et elle a les effets suivants :

- Une gêne respiratoire (poussières dites inertes, c'est-à-dire sans toxicité particulière)
- Des effets allergènes (asthme)
- Des effets toxiques sur l'organisme
- Des lésions au niveau du nez (rhinites, perforations de la cloison nasale, cancer de l'ethmoïde)
- Des effets fibrogènes (prolifération de tissus conjonctifs au niveau des poumons (silicose, sidérose...)).
- Des effets cancérogènes

La pneumoconiose : C'est une maladie professionnelle pulmonaire

Définition : dues à l'inhalation de poussières minérale, l'accumulation des particules inorganiques dans les poumons (le charbon, le fer la silice, vapeur, gaz, substance chimique

Pathogénie : (Mécanismes d'action) le danger de ces particules dépend de :

- La nature chimique.
- La taille des particules inhalées inférieurs à 5 μm est les plus nocives.

Par contre les particules volumineuses sont attachées dans la voie respiratoire supérieure c'est-à-dire les particules supérieures à 5 μm restent attachés sur la trachée artère et la voie nasale du nez)

Densité : le nombre des particules sur volume (PPM) ou en mg/m^3 (concentration des particules dans l'air).

Durée d'exposition : l'apparition des symptômes dépende d'une exposition chronique des travailleurs c'est-à-dire à long terme après 10 à 15 ans d'exposition au risque.

Remarque : Pour avoir une idée plus exacte du danger, il faut plus de renseignements sur les dimensions des particules ceci permet de choisir une bonne instrumentation. Les dimensions des particules et un des facteurs déterminant la suite de leur déposition tout le long des voies respiratoires.

L'empoussiérage c'est la pénétration des particules dans les poumons.

La lutte contre l'empoussiérage : Défense de notre organisme.

Silice libre cristallisé : bioxyde de silicium (SiO₂) peut donner la silicose.

La silicose : C'est une maladie professionnelle causée par le dégagement des poussières de silice libre.

Ces poussières existent généralement dans les travaux suivants : mines, chantiers, des constructions carrières, fonderie.

Les poussières de silice-libre sont divisées en deux catégories suivant leurs dimensions :

- Les poussières des particules **de silice-libre supérieur à 5 microns** sont gênantes pour la visibilité, et causent des allergies de dermatose (maladie de la peau) selon la nature chimique des poussières silice.

Ces particules de silice ne paraissent pas être à l'origine de la silicose. Elles se déposent dans la voie respiratoire, mais sont arrêtées au niveau supérieur.

- Les particules **de silice-libre inférieur à 5 microns** qui sont en suspension dans l'air sont entraînées dans la voie respiratoire par l'inhalation.

Il y a une discussion en ce qui concerne les particules de silice libre qui ont une **dimension moyenne de 0,2 microns**, qui se déposent dans les alvéoles des poumons (elles sont très dangereuses).

Les mécanismes par lesquels on illumine les particules de notre poumon sont :

- La voie bronchite
- La voie lymphatique

Physiologiques (type de cycle respiratoire, volume courant, fréquence respiratoire). [15]

4 Les dangers associés aux poussières minérales :

Le principal composant dangereux de la poussière minérale est la silice (généralement sous forme de quartz), nous exposerons dans cette partie les effets d'une exposition à la silice.

Le quartz est un composant solide que l'on trouve couramment dans la plupart des poussières minérales naturelles.

Il existe de nombreuses études épidémiologiques de divers professionnels exposés à la poussière de quartz respirable. L'exposition professionnelle à la poussière de quartz a été associée à la silicose, au cancer du poumon et à la tuberculose. Le CIRC (**Centre International de Recherche sur le Cancer**) a classé la silice cristalline (quartz ou cristobalite) inhalée sur le lieu de travail dans le groupe des produits cancérigènes pour les humains et les animaux repose sur des preuves suffisantes. Dans son évaluation globale de la substance, le groupe de travail a noté qu'il n'en avait trouvé aucun signe au cours de toutes ses enquêtes dans l'industrie. Il est possible que la cancérogénicité de la silice cristallisée dépende de certaines propriétés intrinsèques de

cette substance ou encore de facteurs extérieurs susceptibles d'influer sur son activité biologique ou sur la proportion relative des différentes formes.

- La pneumoconiose
- La silicose
- Bronchite chronique et obstruction bronchique chronique
- Le cancer du poumon
- La tuberculose
- Le lupus érythémateux systémique
- Incertitudes

5 Impact environnementale :

Elles contribuent à la formation de nuages et de brouillards, à la réduction de la visibilité, aux salissures sur les bâtiments ainsi qu'à la réduction de la croissance chez les végétaux.

Le poids de ces particules et leur taille, de l'ordre du micromètre à la centaine de micromètres de diamètre, leur permettent de se diffuser au gré des vents, voire pour les nanoparticules de se comporter comme des gaz. Une fois émises, elles peuvent rester en suspension pendant des heures et même des jours ou des mois.

Elles peuvent pénétrer profondément dans les poumons et ce d'autant plus que leur taille est réduit (particules fines, plus petites que 2,5 μm). Dépendant de leur constitution (mélange comprenant plusieurs éléments), de leur concentration et des durées d'exposition, les particules peuvent causer des allergies, des difficultés respiratoires ou encore des lésions pouvant entraîner des cancers dans certains cas.

Dans le cas des particules, leur dimension joue un rôle prépondérant sur leur transport, et sur leur mode d'ingestion par les organismes vivants. Les mines et les carrières sont d'ailleurs l'une des principales sources industrielles de matières particulaires, qui sont alors d'origine mécanique (commination, tamisage, transport, etc.), thermique ou chimique (condensation, combustion, etc.).

La taille des particules peut varier de moins de 0,1 μm à plus de 10 μm . Plus elles sont grosses et lourdes, plus elles ont tendance à se déposer près du site de leur émission (en général). [16]

6 Impact des poussières sur les installations :

L'impact des poussières sur les installations au niveau de la PMA est une bataille indéterminée qui dure depuis un certain temps et qui a comme objectif l'élimination de tout contact matériel et matières

Ce contact engendre plusieurs défaillances et anomalies sur le déroulement des machines qui provoque un dysfonctionnement de tous les circuits de process, parmi la principale solution jusqu'à présent, nous remarquons l'installation des dépoussiéreurs. Ces machines ont comme but l'aspiration des poussières fines des installations et leur recyclage dans le circuit de process.

Néanmoins ces dépoussiéreurs n'ont pas prouvé leur efficacité à 100%, de fait un taux de poussière se libère dans l'atmosphère menaçant le bon déroulement et la durée de vie des installations ci-après quels cas explicatifs

- **Les roulements :** un grain de poussière peut diminuer la durée de vie d'un roulement à billes (5 ans à 2 ans) suite au frottement.
- **Les toitures :** l'accumulation des poussières sur les toitures peut engendrer leur effondrement surtout pendant les périodes hivernant



Figure 26 : L'effet de la poussière sur les toitures

- **Les convoyeurs à bande :** l'accumulation des poussières sur les convoyeurs à bande engendrent l'usure des rouleaux.



Figure 27 : Effet de la poussière sur la bande transporteuse

- **Les moteurs :** une accumulation de matière sur les moteurs électriques provoque l'étouffement et l'échauffement des rotors qui entamera leur défaillance (moteur grillé)
- **Matérielle électrique :** l'impact des poussières sur les matérielles électriques telle que les armoires, relais. etc., cause plusieurs accidents et endommagement puisque la matière volatile devient conductrice d'électricité, ce qui provoque des court-circuits (flache électrique, incendie etc.)
- **Corrosion des métaux :**

Des études comparatives sur la corrosion des métaux montrent qu'elle est en moyenne, de deux à trois fois plus rapide en atmosphère très pollués qu'en atmosphère continentale. Cette corrosion à pour conséquences :

 - a- L'utilisation des matériaux de revêtement spéciaux, donc l'augmentation générale du coût des investissements. L'augmentation des travaux d'entretien, donc les frais de fonctionnement.
 - b- La diminution de la durée de fonctionnement des installations le décapage qui détériorent l'installation.

7 Impacts sur la production :

Une atmosphère pleine de poussières engendre une dégradation matérielle, **une baisse de rendement** qui entrainera **une perturbation de la production**. Les dépôts importants des poussières amènent à une atmosphère polluée de particules fines de minerai et des fines de retour. Cette pollution influe négativement sur les installations puisqu'elle contribue au problème de **colmatage des appareils par la poussière** humide.

Ainsi le personnel exerçant au sein de l'entreprise rencontre des nuisances particulières se transformant à long terme en maladie, telle que la pneumo silicose.

Le port des effets de sécurité : masque, lunette, casque réduit les effets nuisibles mais n'élimine pas les problèmes.

8 Voies d'exposition et de transport de vent de poussière :

Il existe diverses voies par lesquelles l'atmosphère peut être exposée aux rejets miniers ; on peut citer :

- Les poussières émises au cours du broyage ;
- Les poussières produites par le transport du minerai ;
- Les particules remises en suspension aux sites d'entreposage des rejets ;

Les contaminants rejetés dans l'atmosphère, nous l'avons mentionné, peuvent être rapidement transportés par le vent. Les contaminants liés à la préparation mécanique et l'agglomération du minerai peuvent alors affecter les divers écosystèmes terrestres ou aquatiques. Le taux de dépôt atmosphérique dépend de divers facteurs, y compris la distance à partir de la source, les conditions météorologiques et la nature du contaminant atmosphérique lui-même (particules, taille et densité des particules, etc.). Une exposition secondaire aux contaminants atmosphériques peut se produire par le contact avec les matières déposées sur le sol, l'eau ou les végétaux. Les organismes terrestres peuvent également être exposés directement

aux contaminants en suspension dans la basse atmosphère par contact externe (immersion) ou par la respiration.

On qualifie souvent de poussières, les particules émises par les combustions, tandis que le terme particules est utilisé pour qualifier les poussières une fois qu'elles sont en suspension dans l'air. [1]



Figure 28 : poussière générée par transport

CHAPITRE 4 : Matériels et Méthodes

CHAPITRE 4 : Matériels et Méthodes

1 Echantillonnage

L'échantillonnage constitue une étape cruciale dans le processus de caractérisation d'une matière minérale.

Le but visé est d'obtenir un éventail d'échantillons représentatifs qui reflète toutes les caractéristiques physiques et chimiques de l'ensemble des échantillons à étudier.

Les principales étapes qui caractérisent une démarche d'échantillonnage sont : l'élaboration d'une stratégie de prélèvement, le prélèvement des échantillons sur le site, la conservation des échantillons et leur préparation pour les fins d'analyses. La valeur des résultats de la caractérisation dépend de la réalisation adéquate de toutes ces étapes.

2 Prélèvement

Pour entamer notre étude, nos prélèvements sont effectués soigneusement au niveau de service de la PMA (préparation de la matière agglomérée) de l'usine sidérurgique d'El-Hadjar.

Le tout venant ayant des dimensions différentes subit une préparation mécanique, à savoir : un concassage puis d'un broyage et d'une homogénéisation, afin d'obtenir des échantillons représentatifs des poussières émises lors des opérations d'agglomération.

Six échantillons ont été prélevés au total. Ils sont étiquetés et stockés dans des sacs en plastique doublés où une partie est envoyée au laboratoire minéralurgique du département Génie Minier à l'école nationale polytechnique et une autre partie a été envoyée au laboratoire central du complexe sidérurgique d'El-Hadjar pour les besoins de la préparation des sections polies qui ont servi aux observations microscopiques, et pour la caractérisation par la fluorescence X.

Tableau 7 : la masse des échantillons

Echantillon	Masse (g)	Lieu du prélèvement
1	285	Déchargement Extérieur
2	509	Déchargement Intérieur
3	524	Criblage
4	445	Broyage
5	602	Agglomération Extérieure
6	407	Agglomération Intérieure



Figure 29 : Poussière de déchargement Extérieur



Figure 30 : Poussière de déchargement Intérieur



Figure 31 : Poussière de broyage



Figure 32 : Poussière de criblage



Figure 33 : Poussière d'agglomération Extérieure



Figure 34 : Poussière d'agglomération Intérieure

3 Analyse granulométrique

Le but de la comminution est de réaliser la libération des particules. Ces dernières sont supposées libérées quand elles ont une seule composition chimique. Chaque particule libérée devrait être constituée d'un unique minéral. Bien qu'une libération complète ne soit pas exigée, ni recherchée et qu'elle soit impossible à réaliser en pratique, une bonne libération est essentielle pour une concentration efficace et satisfaisante. Il est primordial de déterminer le degré de comminution correspondant à une libération satisfaisante. Souvent, la façon de faire s'appuie sur la notion de granulométrie.

L'analyse granulométrique joue un rôle très important dans le domaine de la minéralurgie. Elle nous renseigne sur la distribution des particules soumise à une classification directe (criblage ou tamisage). Généralement une analyse granulométrique est suivie d'une analyse chimique qui permet à l'ingénieur ou à l'opérateur de déterminer avec précision la composition chimique en utilisant des appareils de caractérisation. Ainsi l'analyse granulométrique nous permet de connaître la répartition du minéral utile dans l'échantillon pour pouvoir décider des méthodes et des équipements à utiliser pour concentrer ou enrichir le minerai qui a été extrait de la croûte terrestre et préparé par concassage, broyage et classification.

3.1 Principe

Le principe d'analyse consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le minerai étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par le mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, de la colonne de tamis à l'aide d'une tamiseuse.

3.2 Description de l'essai

Pour procéder au classement dimensionnel du minerai composé des morceaux de dimensions comprises entre (0-10mm), on a utilisé une tamiseuse avec une série de tamis de différentes ouvertures. L'ensemble des équipements appartient au laboratoire de Génie Minier de l'école nationale polytechnique d'Alger. Notre essai a porté sur des tamis ayant une ouverture de (10mm ; 8mm ; 5mm ; 3.15mm ; 2mm et 1mm) d'ouverture. Les résultats de l'essai sont représentés sur le tableau 7



Figure 35 : Analyse granulométrique

3.3 Analyse granulométrie pour les échantillons de poussière

Notre essai a été réalisé en utilisant des tamis ayant une ouverture de (125, 100µm, 80 et 40 microns). Les résultats de l'essai sont représentés dans les tableaux 8 ,9 ,10 ,11 ,12 ,13.

4 Analyse diffractométrique (DRX)

L'analyse diffractométrie permet de confirmer l'identification minéralogique réalisée au microscope et de préciser la nature des minéraux.

4.1 Principe

Pour la diffraction des rayons X, les échantillons sont analysés sous forme de poudre très fine. Cette technique est largement utilisée pour l'identification des minéraux.

Tout corps cristallisé peut être analysé par la diffraction X. Ces derniers sont des ondes électromagnétiques situées entre les domaines des ultraviolets lointains et de rayon γ (longueur d'onde entre 100 et 0.5°A). Ces rayons sont produits par bombardement électronique sous vide et à haute tension d'accélération d'une cible. Cela a pour conséquences la production d'un spectre continu sur lequel se détachent les raies caractéristiques de la cible, la figure 36 illustre un schéma représentatif de cette analyse.

Le faisceau émis est diffracté sur le réseau de plan cristallin des échantillons, selon la loi de Bragg motionnée dans la relation. [17]

$$\lambda n = 2 d \sin\theta$$

Avec

n : ordre de la diffraction (entier) ;

λ : est la longueur d'onde de la source;

θ : l'angle entre le faisceau incident et le réseau de plans;

d : l'espace inter réticulaire entre deux plans parallèles successifs du réseau Cristallin.

Pour une source émettrice de rayons X, le balayage selon un angle d'incidence (θ) d'une préparation représentative d'un échantillon permet d'accéder à tout l'espace réticulaire d de l'échantillon. Les diffractogrammes sont traités avec les logiciels de X Pert PRO MRD Système overview. [17]

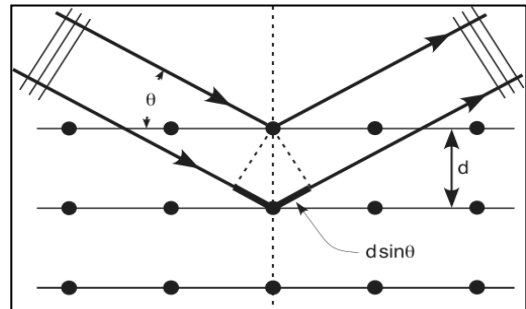


Figure 36 : Principe de la diffraction des rayons X

4.1 Précision et sensibilité

La précision varie avec la quantité de matière disponible pour l'analyse. Elle dépend également des éléments recherchés et de la matrice dans laquelle se trouvent ces éléments. La sensibilité dépend de la méthode de préparation de l'échantillon et du matériau analysé. Elle varie avec les éléments chimiques. Elle approche le $\mu\text{g/g}$ quand on opère sans dilution sur un prélèvement de l'ordre du grammage. [18]

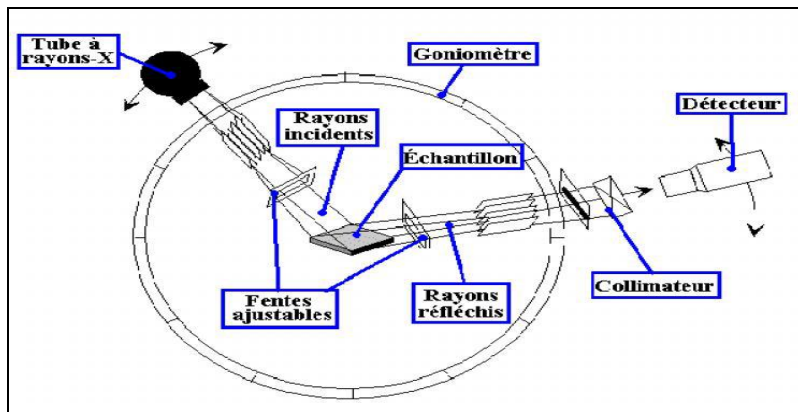


Figure 37 : Schéma du principe d'un spectromètre de diffraction des rayons X pour les échantillons poudre

Les analyses par DRX ont été effectuées dans le laboratoire du complexe sidérurgique SIDER EL HAJAR ANNABA à l'aide d'un diffractomètre à poudre représenté dans la figure 37.

5 Caractérisation de la composition chimique par spectrométrie de fluorescence X

La spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire qui nous a permis dans notre étude de :

- ✓ Qualifier les éléments chimiques présents dans un échantillon.
- ✓ Quantifier les éléments présents.

Cette technique utilise des phénomènes physiques qui ont été découverts et développés dans le domaine de la physique quantique (effet photoélectrique, émission spontanée, diffraction des rayons X). [18]

6 Essai de séparation magnétique

La séparation magnétique permet de séparer les matériaux selon leur tendance à se magnétiser. Elle est basée sur la compétition entre les trois forces tractives magnétiques et les forces interarticulaires attractives. Un séparateur magnétique à basse intensité (SMBI) sera apte à séparer les éléments fortement magnétiques et inversement, un séparateur magnétique à haute intensité (SMHI) est capable de séparer ceux faiblement magnétiques.

Pour les besoins de nos expérimentations, sachant que plusieurs méthodes peuvent être appliquées pour la récupération du fer contenu dans les poussières, soit par voie humide (flottation) ou soit voie sèche (séparation magnétique).

Nous avons choisi la voie sèche, sachant que le procédé d'agglomération est un procédé par voie sèche.



Figure 38 : Séparateur magnétique utilisé au laboratoire de Génie Minier

6.1 Procédure

Un échantillon de 1.5 kg a subi un tamisage en utilisant un tamis de 80 microns. Comme résultat nous avons obtenu un passant de 465 grammes et un refus de 1035 grammes

Le passant de masse 465 g a été divisé en 08 parts, en utilisant un échantillonneur automatique du laboratoire de Génie Minier.



Figure 39 : Echantillonneur automatique

Six échantillons ont été utilisés pour les besoins de la séparation gravimétrique avec différentes intensités, à savoir ; 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 et 14 ampères Les deux autres échantillons ont été gardés comme échantillons témoins. Les résultats des essais sont présentés dans le tableau 18.

Les mêmes essais ont été appliqués au refus du tamisage à 80 microns, dont le poids total est de 1035 grammes en appliquant les mêmes intensités. Les résultats de l'essai sont reportés sur le tableau 19

7 Essai de séparation gravimétrique par nappe pelliculaire fluente

La concentration par nappe pelliculaire fluente est basée sur la longueur de parcours effectué par une particule sur un plan incliné, à la surface duquel s'écoule par gravité, un film liquide. La poussée exercée par le film est proportionnelle à la section de la particule perpendiculaire au mouvement. La taille de la particule, sa densité, sa forme interviennent au même titre que la pente et la rugosité de la surface, l'épaisseur et la vitesse d'écoulement du film d'eau.

7.1 Essai par table a secousse

Les tables à secousses sont l'un des principaux appareillages utilisés pour la séparation gravimétrique par nappe pelliculaire fluente.

Nous avons utilisé pour notre cas la table à secousses de type KHD Humboldt Wedag. Cette table est munie de riffles parallèles le long de sa longueur, alimentée par une pulpe à un de ses coins. Elle fournit un concentré à l'extrémité opposée à celle de l'alimentation. Généralement, l'alimentation en eau se fait perpendiculairement aux riffles.

Nous distinguons quatre zones :

Zone 1 : des concentrés où se trouvent les particules fines et denses.

Zone 2 : des concentrés où on y trouve des particules denses et grossières avec quelques particules mixtes.

Zone3 : des particules mixtes mélangées à quelques particules légères.

Zone4 : zone des particules légères.



Figure 40 : Table a secousse utilisée au laboratoire de Génie Minier

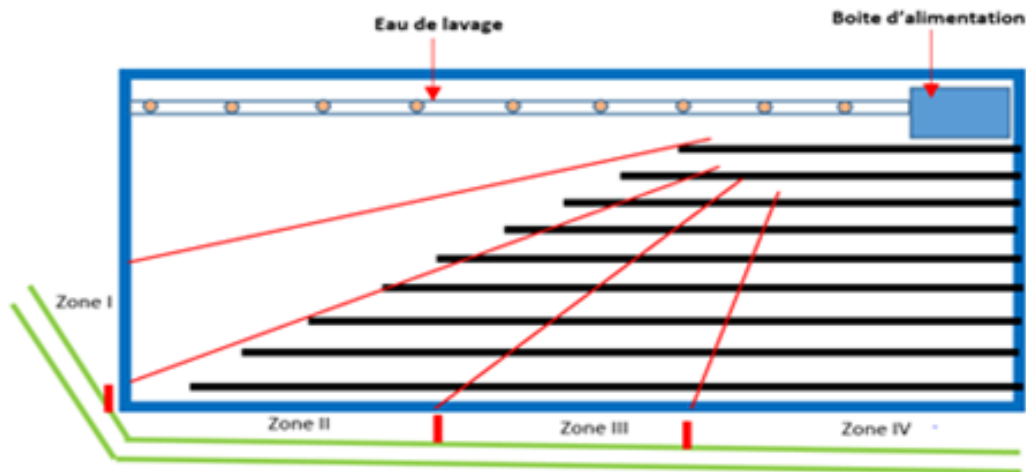


Figure 41 : Schéma de la table a secousse

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons utilisé la table à secousses, pour pouvoir observer la répartition de l'échantillon sur les quatre zones de séparation.

Contrairement à l'essai par séparation magnétique, nous avons soumis l'échantillon prélevé à une séparation par nappe pelliculaire fluente, en utilisant une table à secousses sans un tamisage préalable. Deux essais ont été réalisés ; un essai avec l'inclinaison de la table à 2 % et le deuxième essai avec une inclinaison à 5%. Les résultats sont les suivants :

Essai 1 : avec une inclinaison de la table à 2%. Les résultats sont portés sur le tableau 20

Essai 2 : avec une inclinaison de la table à 5%. Les résultats sont portés sur le tableau 21

Après on a fait une observation des différentes zones en utilisant le stéréoscope ZEISS :



Figure 42 : observation avec le stéréoscope ZEISS

CHAPITRE 5 : Résultats et discussions

CHAPITRE 5 : Résultats et discussions

1 Résultats d'Analyse granulométrie pour le minerai

Tableau 8 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage du minerai (-10 +0) mm

Fraction granulométrique (mm)	Diamètre moyen (d_{moy}) (mm)	Masse retenue (g)	% retenu	% cumulatif retenu	% cumulatif passant
+ 10	-	19	9.5	9.5	90.5
- 10 +8	9	14	7	16.5	83.5
- 8 +5	6.5	22	11	27.5	72.5
- 5 +3.10	4.05	23	11.5	39	61
- 3.10 +2	2.55	23	11.5	50.5	49.5
- 2 +1	1.5	31	15.5	66	34
-1 (pan)	-	68	34	100	0
Total		200	100		

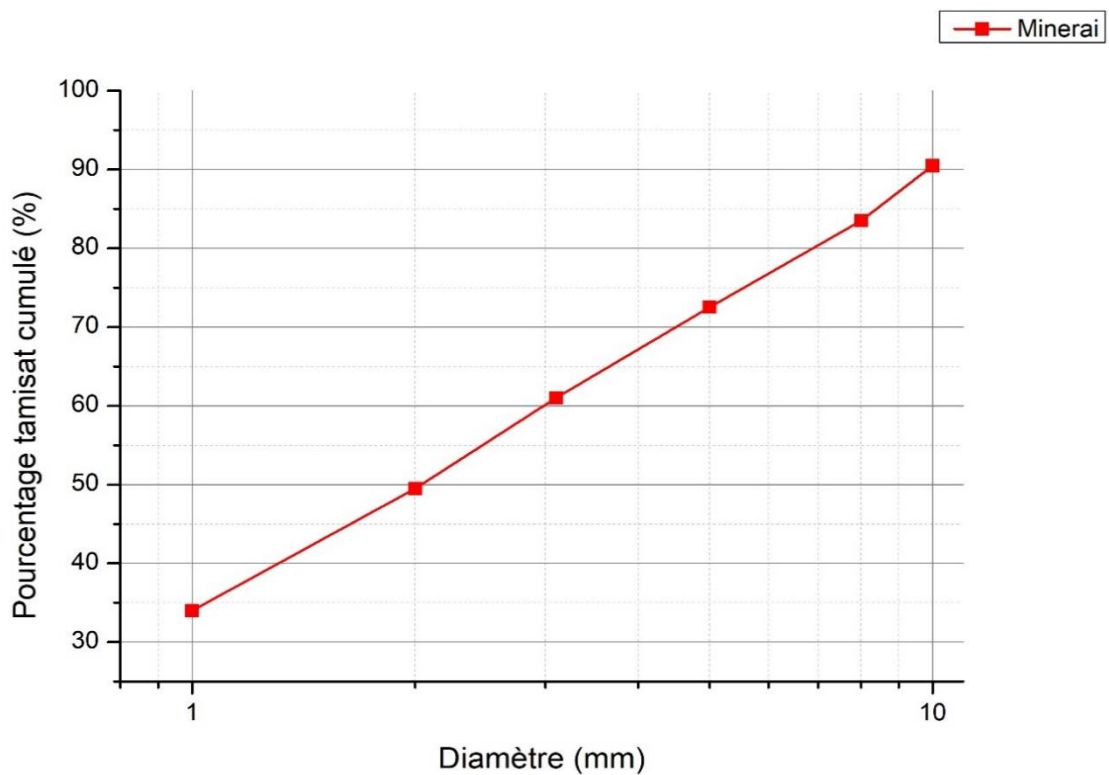


Figure 43 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis du minerai

Selon la courbe granulométrique en remarque que 34% de minerai est des fines de diamètre inférieure a 1 mm donc ces résultats explique la présence d'une grande quantité de poussière dans le secteur PMA.

1 Résultats d'Analyse granulométrie pour les échantillons de poussière

Tableau 9 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage de la poussière de déchargement Extérieur

Fraction granulométrique (microns)	Diamètre moyen (d_{moy}) (microns)	Masse retenue (g)	Retenu (%)	Cumulatif retenu (%)	Cumulatif passant (%)
+125	-	8	9.9	9.9	90.1
-125 +100	112.5	7	8.6	18.5	81.5
-100 +80	90.0	8	9.9	28.4	71.6
-80 +40	60.0	55	67.9	96.3	3.7
-40 (pan)	-	3	3.7	100	0
Total		81	100		

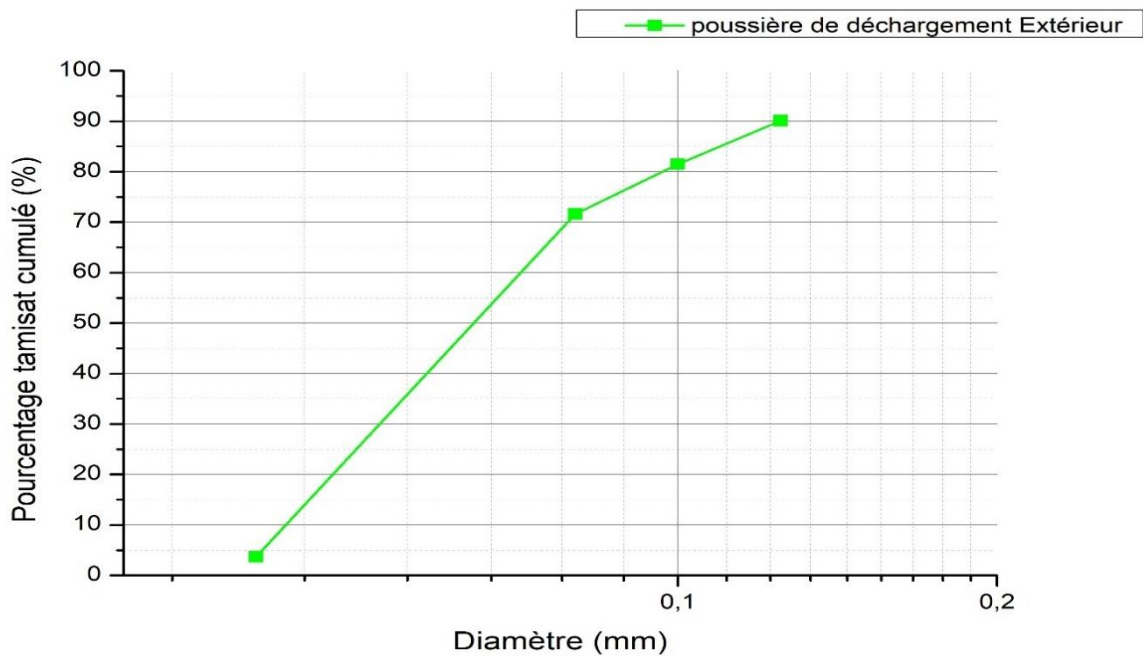


Figure 44 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis de poussière de déchargement extérieur

Tableau 10 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage de la poussière de déchargement intérieur

Fraction granulométrique (microns)	Diamètre moyen (d_{moy}) (microns)	Masse retenue (g)	Retenu (%)	Cumulatif retenu (%)	Cumulatif passant (%)
+125	-	20	25	25	75
-125 +100	112.5	7	8.75	33.75	66.25
-100 +80	90.0	8	10	43.75	56.25
-80 +40	60.0	36	45	88.75	11.25
-40 (pan)	-	9	11.25	100	0
total		80	100		

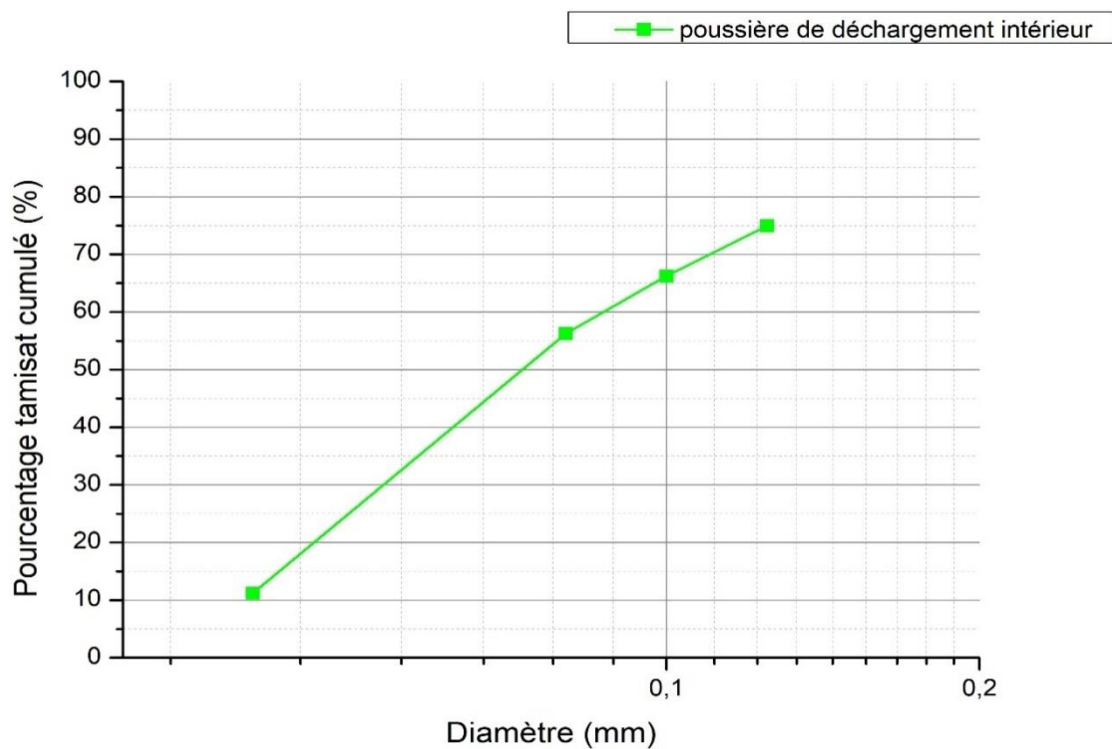


Figure 45 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis de poussière de déchargement intérieur

Tableau 11 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage de la poussière de broyage

Fraction granulométrique (microns)	Diamètre moyen (d_{moy}) (microns)	Masse retenue (g)	Retenu (%)	Cumulatif retenu (%)	Cumulatif passant (%)
+125	-	4	4	4	96
-125 +100	112.5	2	2	6	94
-100 +80	90.0	7	7	13	87
-80 +40	60.0	55	55	68	32
-40 (pan)	-	32	32	100	0
total		100	100	100	0

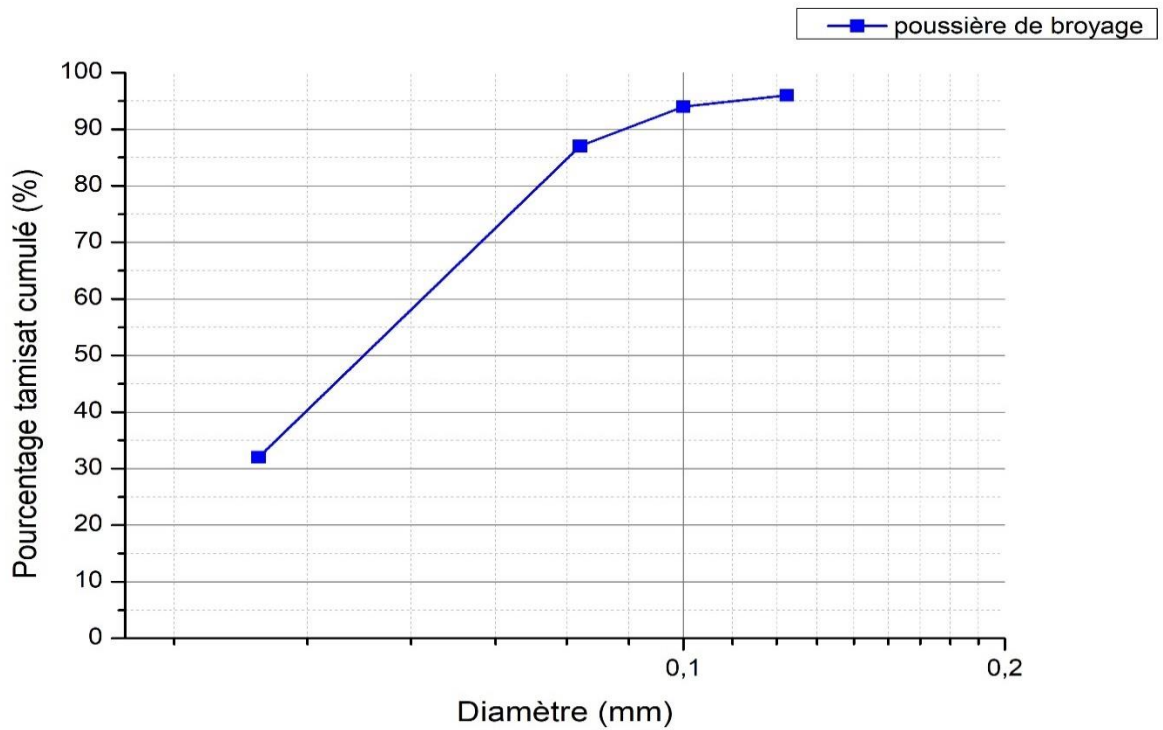


Figure 46 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis du poussière de broyage

Tableau 12 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage de la poussière de criblage

Fraction granulométrique (microns)	Diamètre moyen (d_{moy}) (microns)	Masse retenue (g)	Retenu (%)	Cumulatif retenu (%)	Cumulatif passant (%)
+125	-	19	19	19	81
-125 +100	112.5	6	6	25	75
-100 +80	90.0	10	10	35	65
-80 +40	60.0	40	40	75	25
-40 (pan)	-	25	25	100	0
total		100	100		

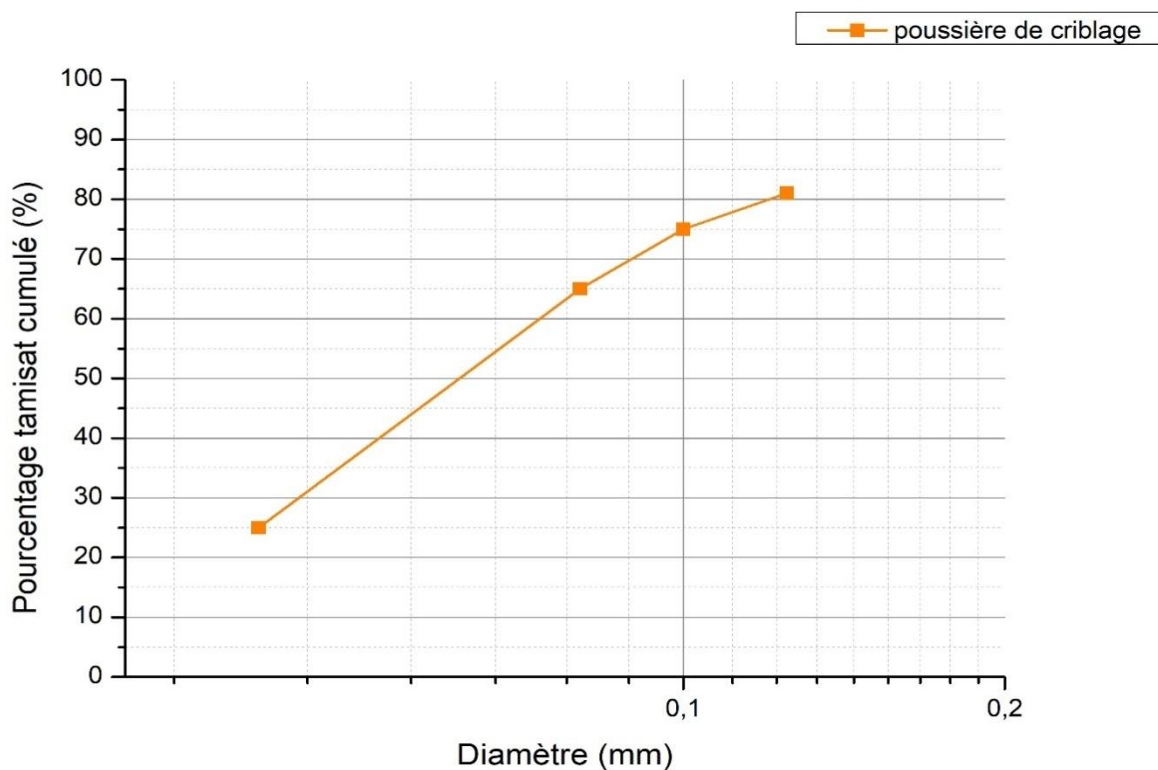


Figure 47 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis du poussière de criblage

Tableau 13 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage de la poussière d'agglomération extérieur

Fraction granulométrique (microns)	Diamètre moyen (d_{moy}) (microns)	Masse retenue (g)	Retenu (%)	Cumulatif retenu (%)	Cumulatif passant (%)
+125	-	6	6	6	94
-125 +100	112.5	4	4	10	90
-100 +80	90.0	6	6	16	84
-80 +40	60.0	33	33	49	51
-40 (pan)	-	51	51	100	0
Total		100	100	100	0

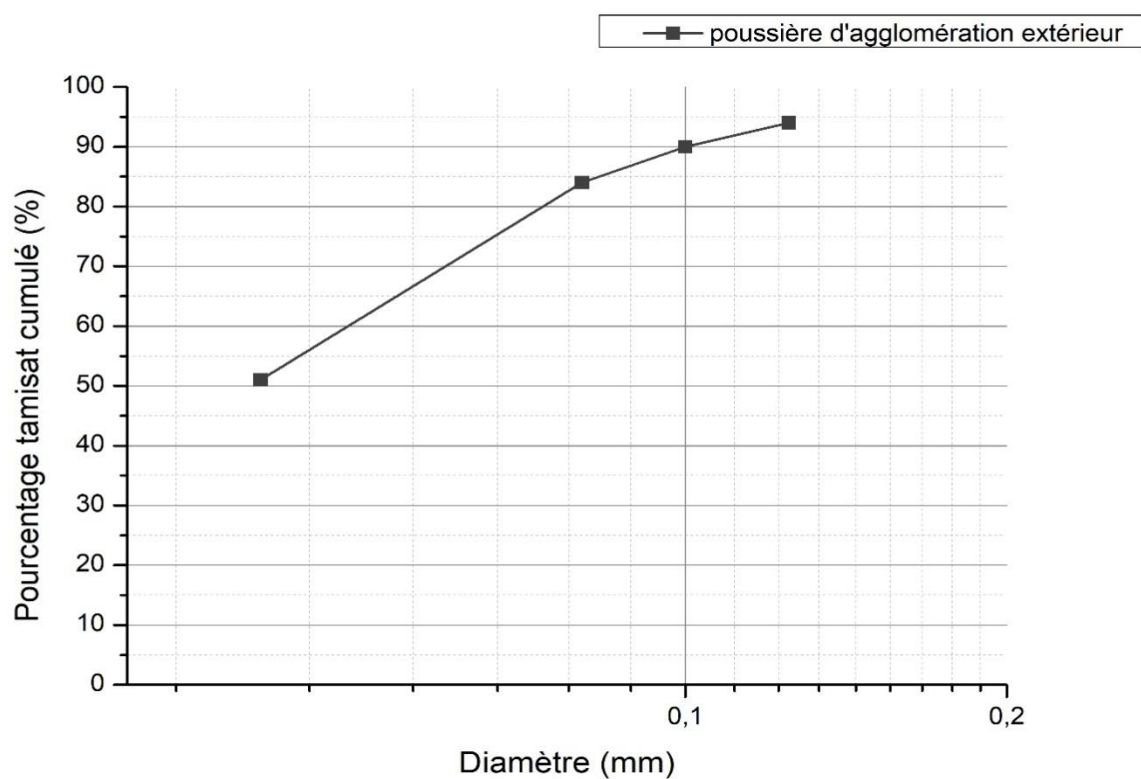


Figure 48 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamis du poussière d'agglomération extérieur

Tableau 14 :Résultats d’analyse granulométrique par tamisage du la poussière d’agglomération intérieure

Fraction granulométrique (microns)	Diamètre moyen (d_{moy}) (microns)	Masse retenue (g)	Retenu (%)	Cumulatif retenu (%)	Cumulatif passant (%)
+125	-	3	3	3	97
-125 +100	112.5	2	2	5	95
-100 +80	90.0	2	2	7	93
-80 +40	60.0	49	49	56	44
-40 (pan)	-	44	44	100	0
Total		100	100	100	0

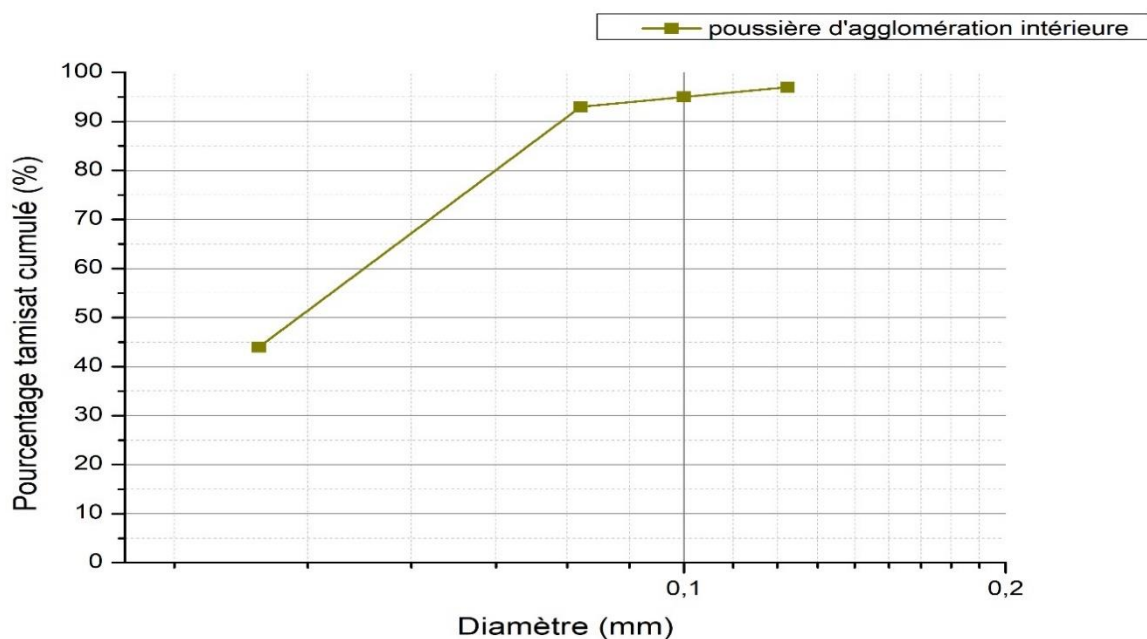


Figure 49 : Evolution des tamisât en fonction des ouvertures des tamisdu la poussière d’agglomération intérieure

Selon les courbes granulométriques des poussières en remarque que la plupart des échantillons contenant des particules dont le diamètre est compris entre 0 et 80 microns de pourcentage de 76.14%.

2 Résultats d'Analyse diffractométrique (DRX)

Les minéraux constituant nos échantillons sont essentiellement de l'hématite, Quartz, Calcite, Oxyde d'aluminium, Goethite tels qu'ils sont présentés à la figure suivante du spectre obtenu par DRX.

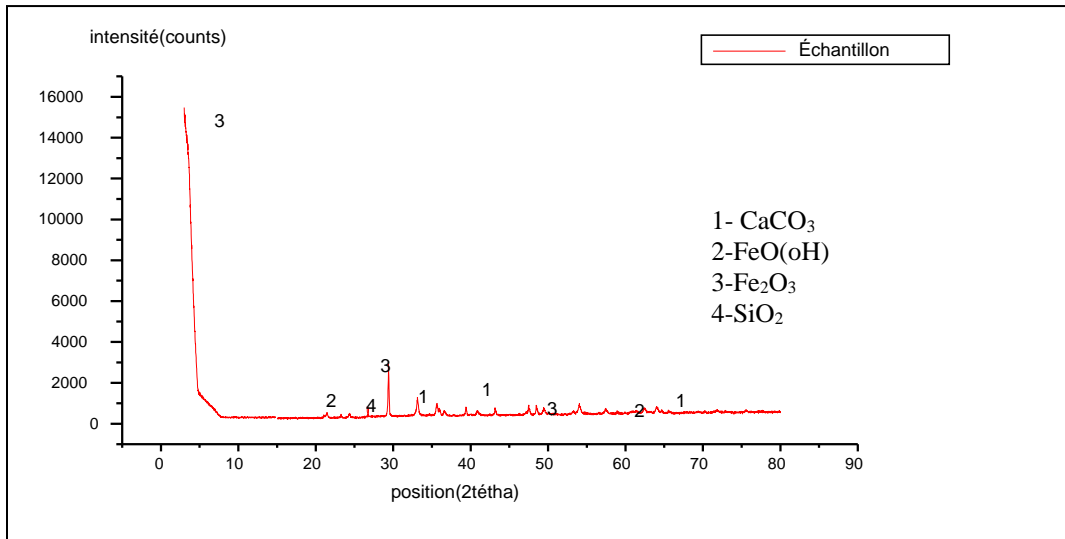


Figure 50 : Un spectre obtenu par la DRX de l'échantillon de poussière

On peut conclure que les principaux constituants minéralogiques de la poussière sont principalement l'Hématite (Fe_2O_3), associée éventuellement au quartz, la Goethite et la calcite d'autres minéraux à moins d'importance sont présents sous forme altérée.

La caractérisation minéralogique des échantillons (6 échantillons) a montré une grande convergence en ce qui concerne les phases cristallisées ; on trouve une redondance dans tous les échantillons, et l'ensemble de phases détectées à différents angles de diffraction sont présentés dans le tableau 14.

Tableau 15 : Phases identifiées pour les différents échantillons de la poussière du minerai de fer.

Indices	Phase	Nom de la phase
1	SiO_2	Quartz
2	CaCO_3	Calcite
3	Al_2O_3	Oxyde d'aluminium
4	Fe_2O_3	Hematite
5	FeO(OH)	Goethite

3 Caractérisation chimique par spectrométrie de fluorescence X

Les analyses chimiques ont été réalisées au niveau du laboratoire de l'usine El-Hadjar à Annaba à l'aide d'un appareil QCX (fluorescence X). Pour les composés majeurs des échantillons de poussière du minerai de fer, on trouve préalablement le quartz (SiO_2), la calcite (CaCO_3) et hématite (Fe_2O_3), les autres composés sont présents avec des teneurs faibles. Les résultats de cet essai sont représentés dans le tableau 15.

Tableau 16 : Résultats d'analyse préliminaire par fluorescence X de la poussière du minerai fer.

Matières (%)	Fe	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	FeO	PF
Echantillon								
Agglomération intérieur (1)	38.28	16.01	11.85	Néant	1.78	2.28	4.86	8.01
Agglomération extérieur (2)	37.41	15.01	11.26	1.93	2.42	1.74	1.87	8.05
Broyage (3)	44.51	8.15	7.40	1.45	3.31	2.11	0.19	12.92
Criblage (4)	43.06	6.86	8.37	0.24	5.61	2.07	0.19	11.82
Déchargement extérieur (5)	41.18	6.72	14.86	0.48	2.04	1.79	0.19	11.86
Déchargement intérieur (6)	44.80	5.15	12.31	0.72	2.55	2.32	0.19	10.33

La spectroscopie par fluorescence X a révélé que pour tous les échantillons, les éléments (MnO, Al₂O₃, MgO) présentent des proportions faibles qui ne dépassent pas 2.32%, 5.61% et 1.93%. Nous remarquons aussi que les échantillons prélevés sont riches en fer, ce dernier présente un taux de (38.28%, 37.41%, 44.51%, 43.06%, 41.18%, 44.80%) respectivement pour les échantillons (1, 2, 3, 4, 5, 6) et des valeurs importantes de (CaO, SiO₂) présente un taux de (16.01%, 14.86%) donc on remarque qu'il y a une grande quantité de silice cristallisée (SiO₂) qui est dangereux pour la santé humaine parce que la silice cristallisée c'est la principale cause de « La silicose ».

4 Résultats d'Essai de séparation magnétique

Tableau 17 : Rendement de séparation magnétique des poussières inférieures à 80 microns

Intensité (A)	2.5	5	7.5	10	12.5	14
Masse de l'échantillon initial (g)	58.4	59	60.2	59.7	58.8	60.6
Masse du produit magnétique (g)	54.1	55.7	58	57.6	57.3	59.5
Rendement pondéral (%)	92.72	94.40	96.34	96.48	97.45	98.18

Tableau 18 : Rendement de séparation magnétique de l'échantillon supérieur à 80 microns

Intensité (A)	2.5	5	7.5	10	12.5	14
Masse de l'échantillon initial (g)	129.3	131	128.7	128.6	129	130.6
Masse produit magnétique (g)	119	123.4	123.1	124	125.2	127.8
Rendement (%)	92.03	94.20	95.65	96.42	97.05	97.85

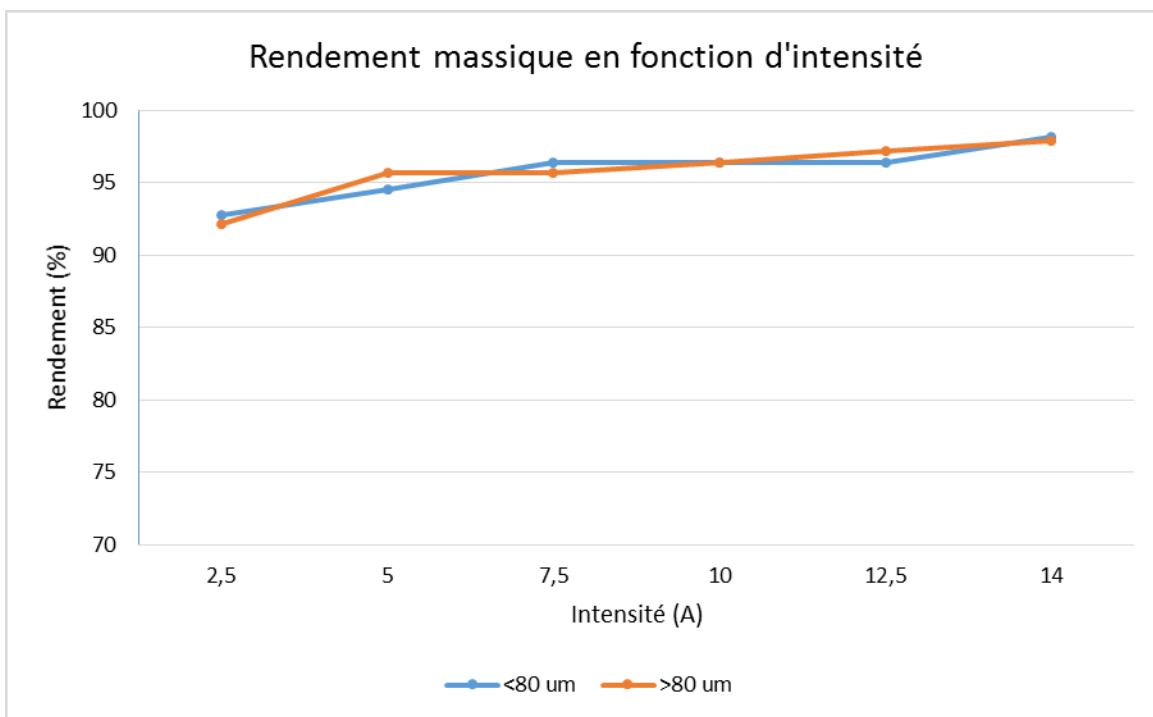


Figure 51 : Evolution de rendement massique de l'essai de séparation magnétique en fonction de l'intensité

Les résultats des essais de la séparation magnétique montrent que pour les deux tranches, le rendement pondéral du produit magnétique est supérieur à 90%, par conséquent, nous avons abouti à une grande récupération des poussières dans tous les essais et avec toutes les intensités appliquées. On peut conclure que les échantillons prélevés sont des produits magnétiques (fer).

5 Résultats d'Essai de séparation gravimétrique

5.1 Essai 1

Tableau 19 : Résultats d'essai par la table à secousses, inclinaison à 2 %

Essai	Zone	Masse (g)	Prise de masse(g)	Rendement (%)
1	1	97	15	15.46

	2	97	33	34.02
	3	97	33	34.02
	4	97	16	16.5

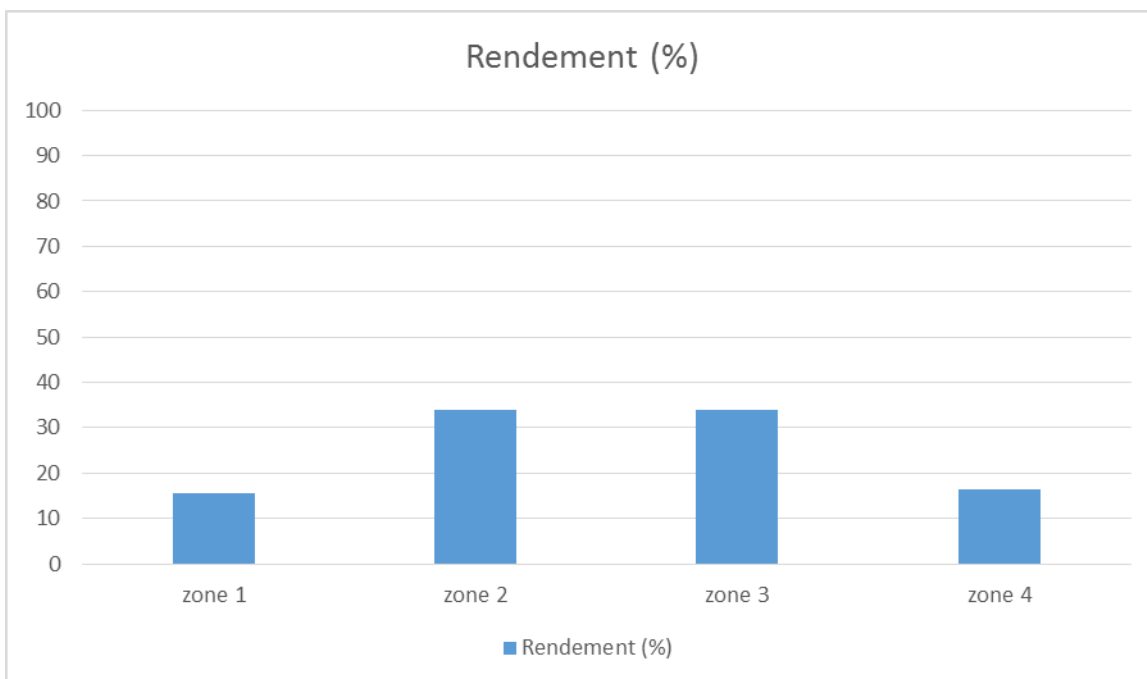


Figure 52 : Evolution de rendement massique de l'essai 01 par la table à secousse en fonction des zones

Observation des zones de l'essai 1 au niveau de stéréoscope ZEISS

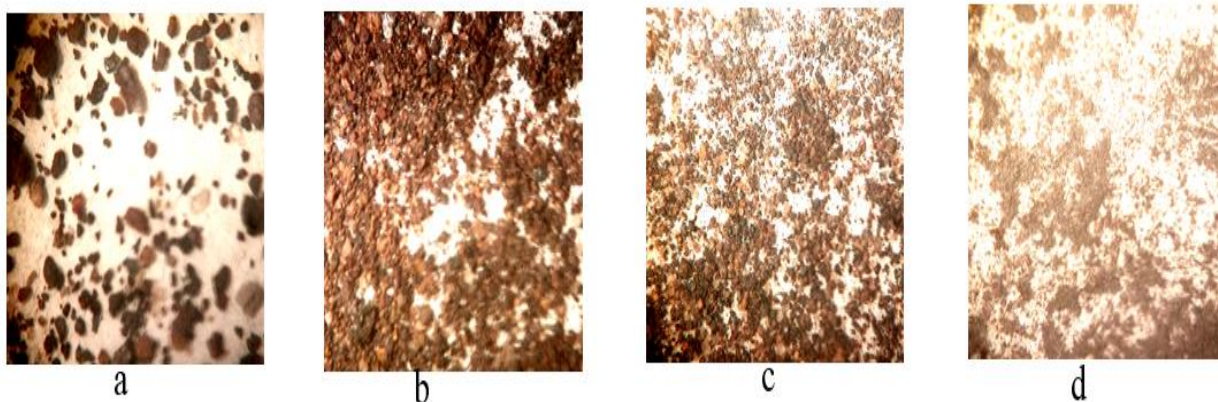


Figure 53: Essai 01a. *Zone 1 ; b. Zone 2 ; c. Zone 3 ; d. Zone 4*

5.2 Essai 2 :

L'essai de séparation a été réalisé avec un échantillon de masse égale à 101 grammes, avec une inclinaison de la table à secousses à 5%. Il est fort probable que la zone 1 est la zone des éléments non magnétiques ou très faiblement magnétiques.

Tableau 20 : Résultats d'essai 02 table a secousses inclinaison à 5 %

Essai	Zone	Poids de l'échantillon (g)	Poids des produits(g)	Rendement pondéral (%)
2	1	101	6	5.94
	2	101	20	19.8
	3	101	71	70.3
	4	101	4	3.96

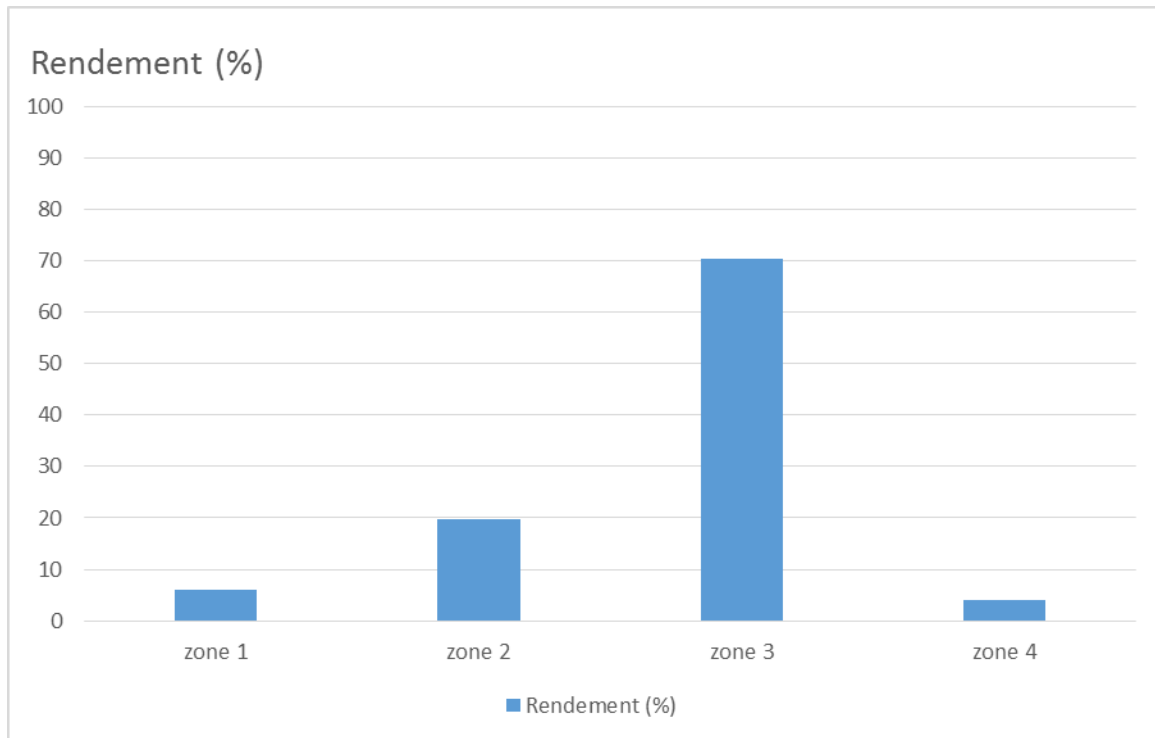


Figure 54 : Evolution de rendement massique de l'essai 02 par la table à secousse en fonction des zones

Observation des zones de l'essai 2 au niveau de stéréoscope ZEISS :

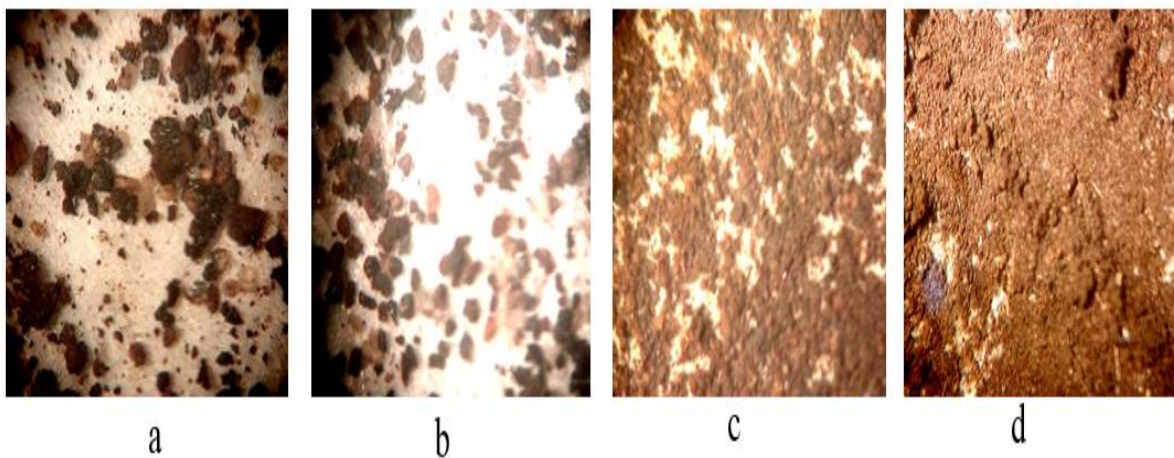


Figure 55 : Essai 02 a. Zone 1 ; b. Zone 2 ; c. Zone 3 ; d. Zone 4.

On remarque que pour l'essai 1 il y a un grand rendement dans les zones 2 et 3 de 33.04 % pour une inclinaison de 1 cm (pente à 2%) et dans l'essai 2 on remarque il y a une augmentation de rendement juste dans la zone 3 de 70.3 % pour une inclinaison de 2.5 cm (pente à 5%). Dans la zone 04 les particules sont plates ; elles sont les premières à se sédimenter et à être piégées par les riffles et leur déchargement se fait au niveau de la zone 01

On remarque que la distribution dans les 3 zones (2,3 et 4) des essais 1 et 2 est selon la grosseur, donc le minerai est homogène

Conclusion Générale

Conclusion générale et recommandation :

Les essais de valorisation des poussières générées par le secteur PMA de l'entreprise SIDER de ANNABA, réalisés au laboratoire de Minéralurgie du département de Génie Minier, ont donné des résultats très satisfaisants et les résultats ont montré qu'il s'agit de poussières très magnétiques avec un rendement pondéral qui dépasse les 90 %.

Les essais par gravimétrie, en utilisant la table à secousses nous renseignant sur la distribution des poussières en fonction de leur granulométrie, dans les zones 2, 3 et 4. Dans la zone 4, on retrouve des particules plates, qui représentent des impuretés ; elles sont non magnétiques.

Ces quantités de poussières peuvent être réutilisées, car elles représentent un potentiel non négligeable et une alternative à leur réduction dans l'atmosphère.

Les poussières prélevées aux alentours de la PMA, sont conformes au processus de broyage et de libération du fer qui est l'état finement broyé (par exemple 100% moins 106 microns ou généralement 80% moins 44 microns) qui n'est pas facilement transporté ou facilement traité dans les installations de fabrication de fer et d'acier. Les techniques de séparation sont principalement la séparation magnétique due à la susceptibilité magnétique des minerais de fer ou la flottation puisqu'elle est efficacement appliquée aux particules de petite taille. Après élimination des impuretés, des concentrés avec une teneur en fer suffisante sont obtenus. Cependant, le concentré obtenu n'est pas adapté pour être chargé directement dans les procédés de fabrication du fer tels que le haut fourneau ou l'usine de réduction directe sans le convertir en agglomérats de taille appropriée. Par conséquent, une technique d'agglomération doit être appliquée aux concentrés fins. La plus couramment appliquée est la pelletisation dans l'industrie du minerai de fer. A l'origine, le procédé de bouletage a été développé aux États-Unis pour traiter les produits de pansement minéral ultrafins obtenus à partir de la valorisation du minerai de Mesabi et a été utilisé pour prélever fournir un produit d'alimentation de haut fourneau avec une teneur en Fe d'environ 65 % (Ball et al., 1973). Lors du bouletage, le minerai de fer, dans notre cas les poussières collectées au niveau du secteur PMA, l'eau et un liant sont mis en boule dans un disque ou un tambour mécanique pour produire des boulettes humides.

La bentonite est le liant le plus largement utilisé dans l'industrie de bouletage du minerai de fer. L'utilisation de la bentonite est favorable en termes de propriétés physiques, mécaniques et métallurgiques des granulés. Nous recommandons que cette technique soit utilisée ou soit étudiée au niveau de SIDER ou à l'ENP

Bibliographie

- [1] YAHYIOUCHE, Yazid.Documentation du service PMA SIDER. El-Hadjar ANNABA : 2016 53 p. PMA.
- [2] KACI. Moussa.Influence de l'indice de basicité sur la qualité physico-chimique de l'aggloméré:caractérisation physico chimique d'aggloméré. 98p.
Thèse de Master : Minier : Annaba : université Baji Mokhtar: 2011.
- [3] YANGA. DEMBELE.Effet de l'homogénéisation sur la qualité de l'aggloméré:préparation du mélange 102p.
Thèse de Master: Minier :Annaba,université Baji Mokhtar :2013
- [4] AHMIM.Mokran.Gestion de l'environnement minier.processus d'homogénéisation du minerai. 120p.thèse de licence:Valorisation Minier :béjaia,université lela mira 2012
- [5] WIELAND, Simon.Caractérisation et contrôle de la qualité d'aggloméré.Lorraine : 2007 194 p.STPE
- [6] BABEL, M.La lutte contre le bruit et les poussières dans l'industrie extractive. 1996.SOCIETE DE L'INDUSTRIE MINERALEISSN: 0994-2556
- [7] BLANCHARD, O.Intégration des carrières dans leur environnement : mesure et contrôle des émissions de poussières.UNPG Ministère de l'Environnement: 1998 55p.
- [8] Mark. conor. La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique:risque de la pollution atmosphérique.185p
thèse de doctorat : environnement: Montpellier,université de Montpellier .1997
- [9] Calor. Magdelaine. La pollution particulaire au bois de Vincennes:mesure et variations spatiales.206p
Thèse doctorat: environnement: Paris, université Sorbonne .2010
- [10] Ahmim.Mokran. Gestion de l'environnement minier».théorie de poussière. 120p
thèse de licence:Valorisation Minière :béjaia,université lela mira .2012
- [11] Boumedién.Assia. Impact de la préparation mécanique et agglomération de minerai de fer sur l'environnement:impact sur la santé humaine. 90p.
thèse de master:Valorisation Minière:Annaba,Université baji mokhtar.2005
- [12] OUDAH. Adel.impact de poussière sur l'unité PMA:impact sur les installations.128p.
Thèse de licence : environnement : Annaba. Université Baji Mokhtar. 2021

- [13] Timbrell.wolker. The inhalation of fibrous dusts:risk of dusts .240p
Thèse doctorat : exploration Minière : New York.Université of new york . 2009
- [14] FAN, L., Liu, S. Respirable nano-particulate generations and their pathogenesis in mining workplaces: a review. Int J Coal Sci Technol 8, 179–198 (2021).Disponible sur <<https://doi.org/10.1007/s40789-021-00412-w>>
- [15] LAURA.Folen. L'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact: la problématique poussières dans les carrières d'extraction de matériaux. 302p
thèse de master:mine et matériaux: Rennes ,université de rennes. 2003
- [16] AMGDOUD.Fawzi.Etude et Analyse de la poussière au niveau de la PM:analyse diffractométrique.149p.
thèse doctorat: exploitation Minière:Annaba,Université baji mokhtar .2013
- [17] MEJAI, Najah. Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation : diffraction x. [en ligne]. Saint-Etienne 2016.[Consulté le 23 Mai 2022]. Disponible sur : <https://www.academia.edu/5849937/METHODES_SPECTROMETRIQUES_DANALYSE_ET_DE_CARACTERISATION>
- [18] Valérie V. Thirion-Merle. Spectrométrie de fluorescence X. Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes, Editions des archives contemporaines, 2014, Collection Sciences Archéologiques, 9782813001634. fahal-01393984f