

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Badji Mokhtar Annaba University
Université Badji Mokhtar – Annaba
Faculté des Sciences de la Terre
Département Des Mines



جامعة باجي مختار – عنابة

كلية علوم الأرض

قسم المناجم

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT en 3^{ème} cycle

Spécialité : Environnement et géologie minière

THÈME :

Effets des poussières générées par la préparation et l'agglomération des minerais de fer sur l'environnement : (analyse et caractérisation physico-chimique) cas Sider, El Hadjar – Annaba

Par :

BOUTARFA Fares

Sous la direction du **Pr. IDRES Abdelaziz** Université Badji Mokhtar Annaba

Membres de Jury :

Qualité	Grade	Etablissement	Nom Et Prénom
Président	Professeur	Université UBMA -Annaba	BOUNOUALA Mohamed
Rapporteur	Professeur	Université UBMA -Annaba	IDRES Abdelaziz
Co-rapporteur	M.C.A	Université UBMA -Annaba	MEKTI Zohir
Examineur	Professeur	Université UBMA -Annaba	CHETTIBI Mohamed
Examineur	Professeur	Université USTBH -Alger	AMARA Mourad
Examineur	M.C.A	Université UMMTO -Tizi-Ouzou	MAKHLOUF Ali

Année universitaire 2023-2024

Dédicaces

Je dédie ce travail à
La mémoire de ma très chère mère
A tous les membres de ma famille, petits et grands

Fares

Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à Pr IDRES Abdelaziz, notre encadrant, qui a déployé des efforts considérables pour assurer notre réussite tout au long de notre parcours doctoral. Nos remerciements s'étendent également à Dr MEKTI Zohir et à Mr GUEBLI Lazhar pour leur aide durant notre formation doctorale.

Nous tenons à remercier tous les directeurs et les ingénieurs des laboratoires pour leur aide précieuse. Nous exprimons notre reconnaissance envers le laboratoire central du complexe sidérurgique–Sider, le Laboratoire de Technologie des Matériaux et de Génie des Procédés (LTMGP) de l'Université de Bejaia, le laboratoire de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie Amar LASKRI – Annaba, le laboratoire de l'unité de recherche URMA – Annaba, et le Laboratoire d'analyse industrielle et de génie des matériaux - LAIGM de l'Université de Guelma. Nous n'oublions pas le chef de la division PMA, Mr. YAHIOUCHE Med El Yazid, et le chef de projet Mr BRIZEKH Nabil ainsi que tout le personnel de l'unité PMA.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude au chef du département Environnement, Mr LOUHI Hocine, et à Mr DAHAK Mourad du complexe Sidérurgique d'El Hadjar, pour leur contribution significative dans les analyses des échantillons et la mise à disposition de la documentation technique nécessaire. Nos remerciements s'étendent aux responsables des laboratoires, Mr YOUSFI, Meki et CHOUAFA Malek, sans oublier le centre de la médecine de travail du complexe Sidérurgique d'El Hadjar, représenté par Dr ATTOURI et Mr MIHOUBI Mourad, Sans oublier Mr BOUGHLEM Abdeslam de la division GTM. Leur contribution a été essentielle à la réalisation de ce travail scientifique.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre gratitude aux membres du jury qui ont accepté d'examiner notre thèse. Leur expertise et leurs commentaires ont grandement contribué à la qualité de notre travail. Nous remercions donc :

Pr. BOUNOUALA Mohamed
Pr. IDRES Abdelaziz
Pr. CHETTIBI Mohamed
Pr. AMARA Mourad
Dr. MEKTI Zohir
Dr. MAKHLOUF Ali

Résumé

Les gisements de fer de l'Ouenza et de Boukhadra représentent une des sources principales en matière d'approvisionnement en minerai de fer de la sidérurgie Algérienne. Etant une richesse fondamentale dont dispose l'Algérie, l'exploitation des minerais de fer et son utilisation provoque des conséquences fortement négatives sur l'environnement, essentiellement par l'expansion des poussières qui seront une source d'une dégradation de l'environnement,

L'industrie métallurgique fait partie intégrante de l'économie algérienne. Cependant, elle pose des problèmes environnementaux importants, notamment la pollution de l'air, qui affecte la santé des habitants et l'environnement. Ces problèmes sont particulièrement préoccupants à Annaba, où l'industrie métallurgique est très développée. La population locale est de plus en plus consciente des enjeux environnementaux, surtout dans les zones urbaines proches des sources de pollution métallurgiques. Le but de notre étude est de caractériser et d'identifier les poussières sidérurgiques provenant des différents sites de l'usine, afin de mieux comprendre leur composition et leurs impacts potentiels.

L'objet de notre étude vise à caractériser les poussières sidérurgiques issues des différents sites de l'usine afin d'identifier les phases minérales et leurs compositions chimiques. Les diverses méthodes analytiques utilisées comprennent l'analyse physico-chimique, la fluorescence X (XRF), l'analyse des phases cristallines, la détermination de la taille des cristaux, les paramètres de maille, les microdéformations, l'analyse par granulomètre laser, la diffraction des rayons X, la microscopie électronique à balayage et l'analyse (EDS) par spectroscopie de dispersion d'énergie. La quantité moyenne mensuelle de poussière dégagée par les dépoussiéreurs de l'unité de la Préparation de la Matière Agglomérée (PMA) est de 108,45 tonnes. Les résultats obtenus des analyses des échantillons de poussières provenant des différents points du site sont différents par leur composition minérale et chimique. Les recherches ont confirmé la présence des oxydes de fer, de silicium et de nombreuses phases minérales très différentes. Les résultats d'analyse dimensionnelle prouvent que les deux échantillons sont différents par leurs tailles : ESP1 et ESP2 sont plus grossiers que ESP3 et DEP3A. Ces derniers peuvent engendrer des maladies professionnelles à long terme.

Mots clés : Sider El Hadjar, poussières sidérurgiques, caractérisation physico-chimique, environnement, pollution.

تمثل رواسب الحديد في الونزة وبوخضرة أحد المصادر الرئيسية لتوريد خام الحديد لصناعة الصلب الجزائرية. كونه ثروة أساسية متاحة للجزائر، فإن استغلال خامات الحديد واستعماله يسبب عواقب سلبية قوية على البيئة، خاصة من خلال انتشار الغبار الذي سيكون مصدراً للتدهور البيئي،

تعتبر الصناعة المعدنية جزءاً لا يتجزأ من الاقتصاد الجزائري. المشاكل البيئية التي تؤثر سلباً على صحة الإنسان والبيئة هي تلوث الهواء. وتتعلق هذه القضايا بموقع ومدينة عنابة، حيث تتطور الصناعة المعدنية. يتميز الوعي البيئي بالوعي البيئي العالي، خاصة في المناطق الحضرية ذات مصادر التلوث المعدنية. الهدف من دراستنا هو أخذ عينات من المواقع التي تولد المزيد من الغبار داخل مجمع الصلب.

تهدف دراستنا إلى توصيف غبار صناعة الفولاذ من مواقع مختلفة للمصنع من أجل التعرف على المراحل المعدنية وتركيباتها الكيميائية. تشمل الطرق التحليلية المختلفة المستخدمة التحليل الفيزيائي الكيميائي، ومضان الأشعة السينية (XRF)، والمراحل البلورية، وحجم البلورة، ومعلمات الشبكة، والسلالات الدقيقة، وتحليلات الليزر الحبيبي، وحيود الأشعة السينية، والمسح والتحليل الإلكتروني المجهرية (EDS)، والتحليل الطيفي لتشتت الطاقة. يبلغ المتوسط الشهري لكمية الغبار المنبعثة من مجمعات الغبار في وحدة تحضير المواد (PMA) الملبدة 108.45 طن. وتختلف النتائج التي تم الحصول عليها من تحليل عينات الغبار من نقاط مختلفة من الموقع في تركيبها المعدني والكيميائي. أكدت الأبحاث وجود أكاسيد الحديد والسيليكون في العديد من المراحل المعدنية المختلفة جداً. أثبتت نتائج التحليل البعدي أن العينتين مختلفتين في حجمهما ESP1 وESP2 أكثر خشونة من ESP3 وDEP3، وهذه النتائج يمكن أن تسبب أمراضاً مهنية على المدى الطويل.

كلمات مفتاحية: سيدار الحجار، غبار الفولاذ، التوصيف الفيزيائي الكيميائي، البيئة، التلوث

Abstract

The iron deposits of Ouenza and Boukhadra represent one of the main sources of iron ore supply for the Algerian steel industry. Being a fundamental wealth available to Algeria, the exploitation of iron ores and its use causes strong negative consequences on the environment, mainly by the expansion of dust, which will be a source of environmental degradation. The metallurgical industry is an integral part of the Algerian economy. Environmental problems that negatively affect the health of people and the environment are air pollution. These issues are relevant to the site and the town of Annaba, where the metallurgical industry is developed. Environmental awareness is characterized by strong environmental sensitization, especially in urban areas with metallurgical pollution sources. The object of this study is taking samples from sites that generate more dust within the steel complex plant. This study aims to characterize steelmaking dust from different sites of the plant in order to identify the mineral phases and their chemical compositions. The various analytical methods used include physico-chemical analysis, X-ray fluorescence (XRF), crystal phases, crystal size, lattice parameters, micro-deformations laser granulometry analysis, X-ray diffraction, microscopy Electronic Scanning and Analysis (EDS) Energy Dispersion Spectroscopy. It was found that the average monthly quantity of dust released by the dust collectors of the Agglomerated Material Preparation (AMP) unit is 108.45 tons. The results obtained from the dust samples analysis of dust samples from the different points of the site differ in their mineral and chemical composition. The research confirmed the presence of iron oxides, silicon, and many different mineral phases. The results of dimensional analysis prove that the two samples are different in their sizes ESP1et and ESP2 is coarser than ESP3 and FF3A, these results can lead to long-term occupational illnesses.

Keywords: *Sider El Hadjar, steel dust, physico-chemical characterization, environment, pollution.*

Liste des figures

Figure III.1 : Carte du Complexe Sider Annaba.....	34
Figure III.2 : Implémentation Des Unités De Production du Complexe Sider Annaba.....	35
Figure III.3 : Synoptique d'activité du complexe Sider Annaba	37
Figure III.4 : Vue en coupe de l'HF.....	43
Figure III.5 : Schéma De Process De Fabrication	47
Figure III.6 : Les Secteurs D'activités De L'unité PMA.....	60
Figure III.7 : Processus de Fabrication de l'unité d'agglomération AGII.....	61
Figure III.8 : Présentation Schématique des points de rejets.....	63
Figure III.9 : Schéma d'un filtre à manche.....	66
Figure III.10 : Schéma du principe Electro Filtre.....	67
Figure III.11 : Image des électro filtres ESP1 et ESP2	68
Figure III.12 : image de l'électro filtres ESP3.....	69
Figure III.13 : Dépoussiéreur DEP3A.....	70
Figure III.14 : Impact des poussières sur les installations (Accouplement et Convoyeur)	72
Figure III.15 : Les joints d'expansion et bande transporteuse détériorés - ESP3.....	72
Figure III.16 : Image d'impact de la poussière sur les transporteurs métalliques	73
Figure III.17 : Image de l'impact de la poussière sur les installations communes.....	73
Figure III.18 : Les effets éoliens sur les tas du minerai.....	75
Figure III.19 : Choix Technique Retenu.....	77
Figure III.20 : Carte Engineering De Regroupement ESP3 & ESP3B.....	78
Figure III.21 : Carte Engineering et Systeme Bypass.....	78
Figure IV.1 : Localisation du site d'étude.....	82
Figure IV.2 : Lieu de prélèvement des échantillons au niveau de la PMA.....	83
Figure IV.3 : Analyse dimensionnelle de L'échantillon ESP1 et ESP2.....	86
Figure IV.4 : Analyse dimensionnelle de l'échantillon ESP3 et DEP3A.....	86
Figure IV.5 : La balance utilisée et le creuset.....	88
Figure IV.6 : Four contenant la perle à $T^{\circ}=1200C^{\circ}$	88
Figure IV.7 : Creuset en platine contenant l'échantillon.....	88
Figure IV.8 : Appareil de fluorescence X.....	89
Figure IV.9 : l'écran d'ordinateur lie à l'appareil.....	90
Figure IV.10 : Composition chimique de la poussière de l'unité PMA par Type de dépoussiéreur.....	91
Figure IV.11 : Spectres DRX d'un Echantillon ESP1 & ESP2 et ESP3 & DEP3A.....	93
Figure IV.12 : Spectres DRX d'un Echantillon ESP1 & ESP2	94
Figure IV.13 : Spectres DRX d'un Echantillon ESP3 & DEP3A.....	94
Figure IV.14 : Taille des cristallites issues du ESP1-ESP2 et ESP3-DEP3A.....	96
Figure IV.15 : Gangue a éléments mixte constitués de Br, Fe, Ca, Si, Mn et d'éléments ferreux O et C d'un échantillon ESP1 et ESP2.....	97
Figure IV.16 : Gangue a éléments mixte constitués de Br, Fe, Ca, Si, Mn et d'éléments ferreux O et C d'un échantillon ESP3 et DEP3A.....	97
Figure IV.17 : Composition chimique de l'échantillon ESP1 et ESP2.....	98
Figure IV.18 : Composition chimique de l'échantillon ESP3 et DEP3A.....	98
Figure IV.19 : Evolution de la quantité de rejet des poussières de la PMA.....	101
Figure IV.20 : Pourcentage de l'Evolution de la quantité de poussière de la PMA par a port à la norme	102
Figure IV.21 : Evolution de la quantité de rejet des gaz de la PMA.....	103
Figure IV.22 : Evolution de la production d'agglomération de la PMA (T).....	104
Figure IV.23 : Nombre d'heures de marche des équipements de la PMA (H).....	105

Figure IV.24 : Pourcentage de Rendement Des Systèmes De Dépoussiérages.....	106
Figure IV.25 : Quantification des Rejets des poussières ESP1-ESP2 et ESP3 - DEP3A par les dépoussiéreurs de l'unité PMA	107
Figure IV.26 : Quantification des Rejets des poussières ESP1-ESP2 par les dépoussiéreurs de l'unité PMA.....	108
Figure IV.27 : Quantification des Rejets des poussières par le dépoussiéreur ESP3 de l'unité PMA	109
Figure IV.28 : Quantification des Rejets des poussières par le dépoussiéreur DEP3A de l'unité PMA.....	110
Figure IV.29 : Maladies professionnelles de la zone chaude année 1989-202.....	111
Figure V.1 : Cycle d'appels et préventifs via le système SAP pour les équipements ESP1- ESP2 -ESP3.....	116
Figure V.2 : Cycle d'appels et préventifs via le système SAP pour l'équipement DEP3A.....	117

Liste des tableaux

Tableau I.1 : liste des organismes et institutions sous tutelle du ministère de L'Environnement et des Energies Renouvelable.....	9
Tableau II.1 : Émissions de gaz (avant nettoyage) de la production métallurgique.....	25
Tableau II.2 : Sources d'émissions de gaz réglementées des principales étapes d'une Entreprise métallurgique.....	26
Tableau II.3 : Sources de génération de ferrailles et de déchets provenant des principales étapes d'une entreprise métallurgique.....	28
Tableau II.4 : Concentrations maximales admissibles (CMA) des substances nocives.....	32
Tableau III.1 : Légende de la Figure III.2 présentant la liste des unités de production du complexe Sider Annaba	36
Tableau III.2 : Légende de la Figure III.3 présente les Activités principales du complexe Sider.....	38
Tableau III.3 : localisation Agglomération (PMA)	38
Tableau III.4 : localisation Haut fourneau (HF)	41
Tableau III.5 : localisation Fours à chaux (USAC)	45
Tableau III.6 : localisation des Aciéries à oxygène 1-2	45
Tableau III.7 : localisation Laminoir A Chaud (LAC).....	49
Tableau III.8 : localisation laminoir à froid (LAF)	52
Tableau III.9 : localisation Laminoir Fil et Rond (LFR)	56
Tableau III.10 : localisation Laminoir Rond A Béton (LRB)	58
Tableau III.11 : La configuration actuel des électrofiltres ESP1 et ESP2.....	68
Tableau III.12 : La garantie et les performances des électrofiltres ESP1 et ESP2.....	68
Tableau III.13 : La configuration actuel de l'électrofiltre ESP3.....	69
Tableau III.14 : La garantie et les performances de l'électrofiltre ESP3.....	70
Tableau III.15 : La configuration actuel dépoussiéreur DEP3A.....	70
Tableau III.16 : La garantie et les performances de dépoussiéreur DEP3A.....	70
Tableau III.17 : Caractéristiques des cheminé de combustion (PMA)	74
Tableau III.18 : Caractéristiques des cheminées des dépoussiéreurs (PMA)	74
Tableau IV.1 : Localisation GPS des sources d'émission génératrice de poussières.....	82
Tableau IV.2 : Données de prélèvements des échantillons.....	85
Tableau IV.3 : Résultats d'analyse dimensionnelle des échantillons ESP, ESP2 et ESP3, DEP3A.....	86
Tableau IV.4 : Résultats d'analyse par fluorescence X des fines des dépoussiéreurs de la PMA.....	90
Tableau IV.5 : Identification des pics observés sur les spectres des échantillons ESP1 et ESP2.....	94
Tableau IV.6 : Identification des pics observés sur les spectres des échantillons ESP3 et DEP3A.....	95
Tableau IV.7 : Taille des cristallites.....	96
Tableau IV.8 : Tolérance de certaines valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques selon les catégories d'installations Sidérurgique.....	99
Tableau IV.9 : Evolution de la quantité de poussière de la PMA (T).....	101
Tableau IV.10 : Pourcentage de l'Evolution de la quantité de poussière de la PMA.....	102
Tableau IV.11 : Evolution de la quantité des Gaz de la PMA (T).....	102

Tableau IV.12 : Evolution de la production d'agflo de la PMA (T).....	104
Tableau IV.13 : Nombre d'heures de marche des équipements de la PM.....	104
Tableau IV.14 : Pourcentage de Rendement Des Systèmes De Dépoussiérages.....	106
Tableau IV.15 : Quantification des Rejets des poussières ESP1, ESP2, ESP3 et DEP3A par les dépoussiéreurs de l'unité PMA.....	107
Tableau V.1 : Cycle d'appels préventifs via le système SAP pour les équipements ESP1- ESP2 -ESP3.....	115
Tableau V.2 : Cycle d'appels préventifs via le système SAP pour l'équipement DEP3A..	116

Liste des abréviations et symboles

MEER	Ministère de l'Environnement et des Energie Renouvelables
ANCC	Agence Nationale des Changements Climatiques
AND	Agence Nationale des Déchets
CNDRB	Centre National de Développement des Ressources Biologiques
CNL	Commissariat National du Littoral
CNTPP	Centre National des Technologies de Production Plus Propres
ONEDD	Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable
PMA	Préparation matière et aggloméré
HF1	Haut fourneau N°1
HF2	Haut fourneau N°2
ACO1	Aciéries à oxygène N°1
ACO2	Aciéries à oxygène N°2
ACE	Aciérie électrique
LAC	Laminoir à chaud
LAF	Laminoir à froid
LFR	Laminoir à fil et rond
TSS	Tuberie sans soudure
TUS	Tuberie spirale
RPA	Revêtement par achèvement
LRB	Laminoir rond à béton
ALB	Acier liquide brut
PAT	Parachèvement des tubes
LAT	Laminage des tubes
COX	Central a oxygène
LCR	Ligne de cisailage et refendage
ATC X	Ateliers Centraux de maintenance
AMM	Ateliers magrébines de mécanique
ESP	Électrostatique précipitateur
DEP	Dépoussiéreur filtre à manche

SOMMAIRE

DEDICACES	II
REMERCIEMENTS	III
RESUME	III
ملخص	V
ABSTRACT	VI
LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES TABLEAUX	IX
LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES	XI
SOMMAIRE	XII
INTRODUCTION GENERALE	XVI
I. CHAPITRE I. POLITIQUE ENVIRONNEMENTALE EN ALGERIE	1
I.1 ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT EN ALGERIE.....	1
I.2 POLITIQUE ENVIRONNEMENTALE EN ALGERIE	1
I.2.1 Le principe de précaution.....	2
I.2.2 Le principe d'action préventive et corrective	2
I.2.3 Le principe pollueur-payeur.....	2
I.2.4 Le principe de participation	2
I.2.5 Le principe de substitution.....	2
I.2.6 Préservation de la biodiversité	2
I.2.7 Non dégradation des ressources naturelles	2
I.2.8 Intégration.....	2
I.3 STRATEGIE NATIONALE SUR L'ENVIRONNEMENT	3
I.4 CADRE JURIDIQUE ET REGLEMENTAIRE RELATIF A L'ENVIRONNEMENT EN ALGERIE.....	3
I.4.1 Règlementation de l'Environnement global.....	3
I.4.2 Règlementation de la Pollution industrielle	5
I.5 INSTITUTIONS ENVIRONNEMENTALES.....	9
I.5.1 Centre National de Développement des Ressources Biologiques CNDRB	9
I.5.2 Centre national des technologies de production plus propre (CNTPP).....	10
I.5.3 Agence Nationale des Déchets (AND)	10
I.5.4 Agence Nationale des Changement Climatiques (ANCC)	11
I.5.5 Commissariat National Du Littoral (CNL)	12
I.5.6 L'observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD)	12
I.6 OUTILS DE GESTION ET DE CONTROLE ENVIRONNEMENTAL.....	13
I.6.1 Système d'évaluation des incidences environnementales	13
I.6.2 Régimes juridiques particuliers.....	14
I.6.3 Etude de dangers et impacts environnementale	14
I.7 CONCLUSION.....	15
II. CHAPITRE II. EVALUATION DES RISQUES DE LA POLLUTION SUR LA SANTE DE LA POPULATION ET LEURS INTERACTIONS AVEC LE MILIEU ENVIRONNEMENTAL URBAIN	17
II.1 INTRODUCTION.....	17
II.2 ANALYSE SUR L'EVALUATION DES RISQUES DE LA POLLUTION SUR LA SANTE.....	17
II.3 ANALYSE DES RISQUES SUR LE MILIEU ENVIRONNEMENTAL.....	18

II.4	IMPACT DE LA METALLURGIE FERREUSE SUR L'ENVIRONNEMENT.....	24
II.5	IMPACT DES ENTREPRISES METALLURGIQUES SUR L'ATMOSPHERE.....	25
II.6	DECHETS SOLIDES DES ENTREPRISES METALLURGIQUES.....	27
II.7	POLLUTION DE L'ENVIRONNEMENT PAR LES ENTREPRISES METALLURGIQUES.....	28
II.8	MESURES DE COLLECTE DES POUSSIERES ET DES GAZ ISSUS DE LA PRODUCTION METALLURGIQUE... 30	
II.9	CONCLUSION.....	31
III.	CHAPITRE III. DESCRIPTION ET SOURCES DE POLLUTION DU COMPLEXE	
	SIDERURGIQUE D'EL HADJAR.....	34
III.1	PRESENTATION DU SITE.....	34
III.1.1	Agglomération (PMA).....	38
III.1.1.1	Localisation.....	39
III.1.1.2	Mélangeur.....	39
III.1.1.3	Répartiteur.....	39
III.1.1.4	Hotte d'allumage.....	39
III.1.1.5	Brise motte.....	39
III.1.1.6	Refroidisseur.....	40
III.1.1.7	Criblage.....	40
III.1.1.8	Ventilateurs.....	40
III.1.2	Hauts Fourneaux (HFX).....	41
III.1.2.1	Localisation.....	41
III.1.2.2	Lit de fusion.....	41
III.1.2.3	Centrale à vent.....	41
III.1.2.4	Cowpers.....	41
III.1.2.5	Fonctionnement du Haut Fourneau.....	42
III.1.2.6	Réactions Chimiques.....	42
III.1.2.7	Fosse à laitier et bassin de granulation.....	43
III.1.2.8	Epuration des gaz.....	43
III.1.3	Fours à chaux (USAC).....	44
III.1.3.1	Localisation.....	45
III.1.3.2	Installation d'extinction.....	45
III.1.4	Les Aciéries (ACO-1-2).....	45
III.1.4.1	Localisation.....	45
III.1.4.2	Station de déversement de la fonte brute.....	46
III.1.4.3	Convertisseurs à soufflage d'oxygène.....	46
III.1.4.4	Soufflage de l'oxygène.....	46
III.1.4.5	Traitement en poche uniquement au niveau de l'aciérie N°2.....	46
III.1.4.6	Coulée continue.....	47
III.1.4.7	Système d'épuration des gaz et dépolluissage pendant le versement de la fonte.....	48
III.1.4.8	Epuration des gaz.....	48
III.1.5	Laminoir A Chaud (LAC).....	49
III.1.5.1	Localisation.....	49
III.1.5.2	Enfournement des brames dans les fours.....	49
III.1.5.3	Chauffe des brames.....	50
III.1.5.3.1	Zone Quarto.....	50
III.1.5.3.2	Zone Finisseuses.....	50
III.1.6	Laminoir à froid « LAF ».....	51
III.1.6.1	Localisation.....	52
III.1.6.2	Description des fours de recuits.....	52
III.1.6.3	Principe de fonctionnement.....	53
III.1.6.3.1	Reconstitution de la microstructure déformée par le laminage à froid :.....	53
III.1.6.3.2	Procédé.....	54
III.1.6.3.3	Caractéristiques de four de recuit :.....	55
III.1.6.3.4	Base de recuit.....	56
III.1.6.3.5	Coiffe de protection.....	56

III.1.6.3.6	Coiffe de refroidissement.....	56
III.1.7	Laminoir Fil et Rond (LFR).....	56
III.1.7.1	Localisation :.....	56
III.1.7.2	Four de Chauffe.....	57
III.1.7.3	Train de laminage.....	57
III.1.7.4	Zone de bobinage gros fil.....	57
III.1.7.5	Zone bobinage petit fil.....	57
III.1.7.6	Stockage des produits finis.....	57
III.1.7.7	Enlèvement de la calamine.....	58
III.1.8	Laminoir Rond A Béton (LRB).....	58
III.1.8.1	Localisation :.....	58
III.1.8.2	Four de Chauffe :.....	58
III.1.8.3	Train de laminage.....	58
III.1.8.4	Système de trempe des barres nervures.....	59
III.1.8.5	Plaque de refroidissement.....	59
III.1.8.6	Zone de manutention et de formation des faisceaux.....	59
III.1.8.7	Stockage des produits finis.....	59
III.1.8.8	Mise en longueur des barres.....	59
III.2	PRESENTATION DE LA PMA.....	60
III.2.1	Le secteur Coke et additions.....	60
III.2.2	Le secteur Minerai.....	60
III.2.3	Le secteur agglomération.....	60
III.3	PROCESSUS DE FABRICATION DE L'UNITE D'AGGLOMERATION AGII- PMA.....	61
III.4	PRESENTATION SCHEMATIQUE DES POINTS DE REJETS.....	63
III.5	LES SYSTEMES DE DEPOUSSIERAGE.....	64
III.5.1	Définitions.....	64
III.5.2	Les différents types de dépoussiéreurs.....	64
III.5.3	Technologie et fonctionnement des dépoussiéreurs de la PMA.....	65
III.5.3.1	Les Filtres à manches :.....	65
III.5.3.2	Les Électrofiltres.....	66
III.5.3.3	Réseaux d'aspiration du système de dépoussiérages.....	71
III.5.3.4	Impact des poussières sur les installations.....	72
III.6	SOURCES D'EMISSIONS ATMOSPHERIQUES DE LA PMA.....	74
III.6.1	Cheminé De Combustion.....	74
III.6.2	Cheminées des dépoussiéreurs.....	74
III.6.3	Les effets éoliens.....	74
III.7	PROJET DE REHABILITATION DES DEPOUSSIEREURS DE LA PMA.....	75
III.7.1	Objet du projet.....	75
III.7.2	Les raisons de mise en œuvre du projet.....	76
III.7.3	Conséquence de la décision stratégique.....	76
III.7.4	Alternatives Techniques.....	76
III.7.5	Choix Technique Retenu.....	76
III.7.5.1	Dépoussiéreurs D'ambiance.....	77
III.8	CONCLUSION.....	79
IV. CHAPITRE IV. ANALYSE ET CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES		
POUSSIÉRES GÉNÉRÉES PAR LA PRÉPARATION ET L'AGGLOMÉRATION DES MINÉRAIS		
DE FER, ET LEURS EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT.....		80
IV.1	INTRODUCTION.....	80
IV.2	MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	81
IV.2.1	Situation géographique et endroits de prélèvements.....	82
IV.3	PRÉLEVEMENT ET ÉCHANTILLONNAGES.....	84
IV.3.1	Moyens utilisés.....	84

IV.3.2 Déroulement de l'échantillonnage manuel sur bande en mouvement :.....	84
IV.3.3 Sécurité	85
IV.3.4 Responsabilités	85
IV.3.5 Enregistrement.....	85
IV.4 RESULTAT ET DESCUSSION DE L'ANALYSE DIMENSIONNELLE PAR GRANULOMETRIE LASER DES ECHANTILLONS	85
IV.5 RESULTAT ET DESCUSSION DE L'ANALYSE PAR FLUORESCENCE X (FRX).....	87
IV.5.1 Préparation de l'échantillon.....	87
IV.5.2 Préparation de la perle	87
IV.5.3 Analyse de la perle.....	89
IV.6 RESULTAT ET DESCUSSION DE L'ANALYSE PAR DIFFRACTION DES RAYONS X (DRX).....	92
IV.7 RESULTAT ET DESCUSSION DE L'ANALYSE PAR MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE (MEB) .97	
IV.8 RESULTATS ET DESCUSSION DE L'EVOLUTION QUANTITATIVE DES EMISSIONS DES POUSSIÈRES GENEREES PAR LES CHEMINEES DE L'UNITE PMA	99
IV.8.1 Modélisation et Quantification de la Poussière.....	100
IV.9 RESULTATS ET DESCUSSION DES MALADIES PROFESSIONNELLES DE LA ZONE CHAUDE	111
IV.10 CONCLUSIONS	112
V. CHAPITRE V. RECOMMANDATIONS D'ATTENUATIONS DE LA POLLUTION ENGENDRE PAR LA POUSSIÈRE	114
V.1 INTRODUCTION.....	114
V.2 DIAGNOSTIC SUR LES LIEUX DE LA PMA.....	114
V.2.1 Volet Système D'information SAP.....	114
V.2.2 Volet Maintenance des équipements.....	117
V.2.2.1 Dépoussiéreur ESP1	118
V.2.2.2 Solutions possibles	118
V.2.2.3 Dépoussiéreur ESP2.....	118
V.2.2.4 Solutions possibles	118
V.2.2.5 Dépoussiéreur ESP3.....	118
V.2.2.6 Solutions possibles	118
V.2.2.7 Dépoussiéreur DEP3A	118
V.2.2.8 Solutions possibles	118
V.3 MESURES D'ATTENUATION POUR L'ENVIRONNEMENT.....	119
V.4 PRINCIPES DE CREATION D'UNE METALLURGIE RESPECTUEUSE DE L'ENVIRONNEMENT ET LE CONCEPT DE DEVELOPPEMENT DURABLE.....	119
V.5 DEVELOPPEMENT DURABLE RESPECTUEUX DE L'ENVIRONNEMENT	121
V.6 CONCLUSIONS	126
CONCLUSION GENERALE	128
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	130

Introduction Générale

L'industrie métallurgique occupe la deuxième place parmi toutes les autres industries en termes d'émissions atmosphériques. Lors de l'extraction des métaux, les entreprises métallurgiques ferreuses et non ferreuses sont obligées d'utiliser du minerai avec une très faible teneur en composants utiles. Ainsi, un énorme volume de minerai est fourni pour l'enrichissement et la fusion, ce qui génère à son tour de grandes quantités de gaz résiduaux provenant de composants inutilisés. C'est la pollution de l'air qui est la principale cause des problèmes environnementaux liés aux activités des géants métallurgiques.

Les émissions des canalisations entraînent la pollution des sols, la destruction de la végétation et la formation de friches artificielles autour des grandes usines. En outre, les problèmes environnementaux dans la métallurgie nationale sont aggravés en raison de l'usure élevée des équipements et des technologies obsolètes.

Les entreprises métallurgiques émettent une grande quantité de polluants dans l'atmosphère, ce qui affecte directement les habitants des grands centres métallurgiques. Dans certaines régions, la présence d'une usine métallurgique constitue le principal problème environnemental.

Au lendemain de l'indépendance, l'Algérie avait pour préoccupation majeure de contribuer au développement social des citoyens, grâce au développement économique du pays via une politique d'industrialisation intense, sans prendre en compte l'aspect environnemental. Malgré cela, depuis les années 70, l'État algérien s'est voulu soucieux et respectueux de l'environnement. Cela s'est concrétisé par la création de parcs nationaux (réserves naturelles), son adhésion et sa ratification de nombreuses conventions internationales pour la protection de l'environnement, ainsi que la promulgation d'une législation relative à la protection de l'environnement à partir des années 80.

Aujourd'hui la production d'acier est un indice de la richesse nationale et elle est à la base de la production de masse dans de nombreux secteurs industriels. Le complexe sidérurgique d'Annaba produit en moyenne plus d'un million de tonne d'acier annuellement.

La région d'Annaba souffre de la pollution de l'air en raison des activités industrielles. La sidérurgie et la métallurgie sont considérées parmi les activités les plus polluantes. Une mauvaise qualité de l'air pose des risques majeurs pour la santé humaine et pour l'environnement naturel. Par exemple, il est estimé que le complexe sidérurgique SIDER de Annaba produit en moyenne une centaine de tonnes de poussière annuellement. La région figure parmi les villes avec les niveaux de pollution atmosphérique les plus élevés.

Cette thèse synthétise l'ensemble des travaux réalisés dans le cadre de la formation doctorale. Les travaux de recherche menés dans le cadre de la préparation de la thèse de doctorat comportent cinq chapitres, y compris une introduction et une conclusion générale.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la caractérisation et de l'étude des effets des poussières générées par la préparation et l'agglomération des minerais de fer sur

l'environnement : Cas SIDER, El Hadjar – Annaba. Les résultats de recherches ont confirmé la présence d'oxydes de fer, de silicium et de nombreuses phases minérales très différentes. Ces résultats peuvent engendrer des maladies professionnelles à long terme. Pour atteindre cet objectif, une étude scientifique a été réalisée avec un prélèvement d'échantillons dans différents sites générateurs de poussières. Les chapitres suivants abordent ces aspects :

Le Chapitre I décrit l'état de l'environnement en Algérie, à savoir : la politique environnementale en Algérie à savoir le principe de précaution, le principe d'action préventive et corrective, le principe pollueur – payeur ; la stratégie nationale de l'environnement, réglementation de l'environnement global, la réglementation relative à la pollution industrielle ainsi que le système d'évaluation des incidences environnementales.

Le Chapitre II porte sur l'évaluation des risques de la pollution sur la santé de la population et leurs interactions avec le milieu environnemental urbain, ainsi que sur les impacts de la métallurgie ferreuse et des entreprises sur l'environnement et l'atmosphère. Il aborde également les mesures de collecte des poussières et des gaz issus de la production métallurgique.

Le Chapitre III donne une description détaillée du complexe sidérurgique d'El Hadjar, en abordant les sources de pollution, les différentes installations, et le processus technologique de fabrication de la fonte. Il traite également du choix des points de prélèvement des échantillons de poussières issus des différentes installations du complexe, afin de les soumettre à une étude de caractérisation.

Le Chapitre IV présente l'analyse et la caractérisation physico-chimique des poussières générées par la préparation et l'agglomération des minerais de fer, ainsi que leurs effets sur l'environnement. La poussière a été prélevée sur l'installation commune des dépoussiéreurs (ESP1 & ESP2). Pour le processus des dépoussiéreurs ou d'ambiance : La poussière a été prélevée sur l'installation commune des dépoussiéreurs (ESP3 & DEP3A). Les points de prélèvement ont été repérés par GPS. Les techniques expérimentales portent sur l'analyse physico-chimique par fluorescence X (XRF), Les analyses par granulomètre laser, les analyses par diffraction des rayons X (DRX), Les observations par MEB et l'analyse par spectrométrie X à dispersion d'énergie (EDS).

Le chapitre V propose des recommandations d'atténuations de la pollution engendré par la poussière avec des diagnostics sur les lieux de la PMA.

Chapitre I. Politique environnementale en Algérie

I.1 État de l'environnement en Algérie

L'Algérie, au lendemain de l'indépendance, avait pour préoccupation majeure de contribuer au développement social des citoyens, et ce grâce au développement économique du pays via une politique d'industrialisation intense, sans prendre en compte l'aspect environnemental. Malgré cela, l'État algérien s'est voulu, à partir des années 70, un État soucieux et respectueux de l'environnement. Cela s'est concrétisé par la création de parcs nationaux (réserves naturelles), son adhésion et sa ratification à de nombreuses conventions internationales pour la protection de l'environnement, ainsi que la promulgation d'une législation relative à la protection de l'environnement à partir des années 80.

Participation aux travaux de la première Conférence Mondiale à Stockholm en 1972 sous l'égide des Nations Unies : l'Environnement est un problème Planétaire ; toute politique à long terme n'est envisageable que dans un contexte international.

Création du Comité National de l'Environnement (C.N.E.) en 1974 : Cet organe consultatif a pour mission de proposer les éléments essentiels de la politique environnementale dans le cadre de l'aménagement du territoire et du développement économique et social.

Loi 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement : Cette loi vise à mettre en œuvre une politique nationale de protection de l'environnement, incluant la prévention et la lutte contre toute forme de pollution et nuisance, ainsi que l'amélioration du cadre et de la qualité de la vie.

Création de l'Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement (A.N.P.E.) : L'ANPE est un établissement public à caractère non administratif, placé sous la tutelle du ministère de l'Environnement. Elle a pour mission de veiller à la protection de l'environnement, la lutte contre les sources de nuisance et la dégradation du milieu nature.

I.2 Politique environnementale en Algérie

La politique nationale de protection de l'environnement s'inscrit dans un processus dynamique visant le développement socio-économique durable du pays. Elle est basée sur :

- Protection, restauration et valorisation des ressources naturelles,
- Prévention et lutte contre toute forme de pollution et de nuisance,

- Amélioration du cadre et de la qualité de vie.

I.2.1 Le principe de précaution

L'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable.

I.2.2 Le principe d'action préventive et corrective

Par priorité à la source, des atteintes à l'environnement, en utilisant les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable.

I.2.3 Le principe pollueur-payeur

Les frais résultants des mesures de prévention, de réduction de la pollution et de lutte contre celle-ci doivent être supportés par le pollueur.

I.2.4 Le principe de participation

Chacun a accès aux informations relatives à l'environnement et le public est associé au processus d'élaboration des projets ayant une incidence importante sur l'environnement ou l'aménagement du territoire.

I.2.5 Le principe de substitution

L'utilisation de substances ou de procédés moins nocifs pour l'environnement en remplacement de ceux qui sont plus polluants.

I.2.6 Préservation de la biodiversité

La protection et la conservation des espèces et des habitats naturels pour maintenir la diversité biologique.

I.2.7 Non dégradation des ressources naturelles

L'utilisation des ressources naturelles de manière à éviter leur dégradation et à assurer leur renouvellement.

I.2.8 Intégration

L'intégration des considérations environnementales dans toutes les politiques sectorielles et les décisions de développement.

I.3 Stratégie nationale sur l'environnement

Depuis mars 2024, l'Algérie a adopté une nouvelle stratégie nationale sur l'environnement qui est basée sur sept axes

- Améliorer la santé et l'hygiène de vie,
- Préserver le capital naturel et culturel national,
- Assurer une sécurité alimentaire durable,
- Développer une économie verte et circulaire,
- Augmenter la résistance de l'Algérie à la désertification,
- Accroître la résistance de l'Algérie au changement climatique et sa participation aux efforts internationaux,
- Mise en place de la gouvernance environnementale.

I.4 Cadre juridique et réglementaire relatif à l'environnement en Algérie

Le gouvernement algérien dispose d'un cadre juridique et réglementaire complet pour la protection de l'environnement, en particulier concernant la pollution industrielle et la gestion des déchets. Ce cadre inclut :

I.4.1 Règlementation de l'Environnement global

Loi n° 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et développement durable du territoire [1]. Cette loi vise à établir les orientations et les outils nécessaires pour garantir un développement harmonieux et durable du territoire national. Elle se base sur plusieurs éléments clés :

- Les choix stratégiques indispensables pour un tel développement,
- Les politiques qui soutiennent ces choix,
- La hiérarchisation des instruments pour la mise en œuvre de la politique d'aménagement et de développement durable du territoire,
- La coordination entre les différents niveaux de gouvernement et les acteurs économiques et sociaux,
- La participation des citoyens à l'élaboration et à la mise en œuvre de cette politique

Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable [2]. Cette loi a pour objectif de définir les règles de protection

de l'environnement dans le cadre du développement durable. Elle se base sur plusieurs principes fondamentaux :

- Fixer les principes fondamentaux et les règles de gestion de l'environnement,
- Promouvoir un développement national durable en améliorant les conditions de vie et en garantissant un cadre de vie sain,
- Prévenir toute forme de pollution ou de nuisance causée à l'environnement,
- Restaurer les milieux endommagés,
- Promouvoir l'utilisation rationnelle des ressources naturelles et l'usage de technologies plus propres,
- Renforcer l'information, la sensibilisation et la participation du public et des différents intervenants aux mesures de protection de l'environnement

La loi est composée de 114 articles répartis en huit titres :

- Dispositions générales,
- Instruments de gestion de l'environnement,
- Prescriptions de protection environnementale,
- Protection contre les nuisances,
- Dispositions particulières,
- Dispositions pénales,
- Recherche et constatation des infractions,
- Dispositions finales

La gestion de l'environnement repose sur l'organisation d'un système d'information, la définition de normes environnementales, la planification, l'évaluation des incidences environnementales des projets de développement, la définition de régimes juridiques particuliers, ainsi que l'intervention des individus et des associations dans la protection de l'environnement. La loi établit également des prescriptions pour la protection de la diversité biologique, de l'air et de l'atmosphère, de l'eau et des milieux aquatiques, de la terre et du sous-sol, des milieux désertiques, de la mer et du cadre de vie, ainsi que des mesures contre les nuisances telles que les substances chimiques et les nuisances acoustiques.

I.4.2 Règlementation de la Pollution industrielle

Décret exécutif n° 06-02 du 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique [3]. Ce présent décret a pour objet de définir les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique. La surveillance de la qualité de l'air concerne les substances suivantes : - le dioxyde d'azote ; - le dioxyde de soufre ; - l'ozone ; - les particules fines en suspension. La détention et l'utilisation des sources de rayonnements ionisants sont soumises au régime de l'autorisation à l'exception de celles qui satisfont aux conditions d'exemption prévues par le présent décret et qui ne nécessitent qu'une déclaration au commissariat à l'énergie atomique.

Décret exécutif n° 06-138 du 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle [4]. Ce décret a pour objet de réglementer ces émissions et de définir les conditions de leur contrôle.

Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels [5]. Ce décret a pour objet de définir les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. La mise à niveau des installations industrielles anciennes dans un délai de cinq (5) ans, les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels prennent en charge l'ancienneté des installations industrielles en déterminant une tolérance pour les rejets d'effluents liquides industriels émanant de ces installations.

Décret exécutif n° 06-198 du 31 Mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement [6]. Modifié par le **Décret exécutif n° 22-167 du 19 avril 2022**. Ce décret a pour objet de définir la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement, notamment les régimes d'autorisation et de déclaration d'exploitation des établissements classés, leurs modalités de délivrance, de suspension et de retrait, ainsi que les conditions et modalités de leur contrôle.

Décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement [7]. Ce décret a pour objet de fixer la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement. La nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement est une classification qui comporte :

Effets des poussières générées par la préparation et l'agglomération des minerais de fer sur l'environnement : (analyse et caractérisation physico-chimique) cas Sider, El Hadjar – Annaba

- L'attribution d'un numéro de rubrique de quatre chiffres.
- La désignation de l'activité d'installation classée.
- La détermination du rayon d'affichage de l'installation classée.
- Les documents à joindre à la demande d'autorisation d'exploitation des établissements classés, à savoir, selon le cas, l'étude d'impact sur l'environnement, l'étude de danger, la notice d'impact sur l'environnement et le rapport sur les produits dangereux.

Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement [8]. L'étude ou la notice d'impact sur l'environnement vise à déterminer l'insertion d'un projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs et/ ou indirects du projet, et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement par le projet concerné. L'étude ou la notice d'impact sont élaborées aux frais du promoteur par des bureaux d'études agréés par le ministre chargé de l'environnement. Dès le dépôt de l'étude ou de la notice d'impact pour leur approbation, toute modification de la dimension des installations, de la capacité de traitement et/ou de la production et des procédés technologiques doit faire l'objet d'une nouvelle étude ou notice d'impact.

Décret exécutif n° 07-207 du 30 juin 2007 réglementant l'usage des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, de leurs mélanges et des produits qui en contiennent [9]. Les dispositions du présent décret ont pour objet de réglementer l'usage des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, dénommées ci-après « substances réglementées » qu'elles se présentent isolément ou mélangées à d'autres substances, ainsi que les produits qui en contiennent.

Décret exécutif n°07-299 et n°07-300 du 27 Septembre 2007 fixant respectivement les modalités d'application de la taxe complémentaire sur la pollution atmosphérique d'origine industrielle et sur les eaux usées industrielles [10]. Ces deux décrets consacrent le principe du pollueur-payeur. La détermination des charges de pollution rejetées, afin de fixer le coefficient multiplicateur applicable, est opérée sur la base des analyses effectuées par l'observatoire national de l'environnement et du développement durable (ONEDD).

Loi n° 04-05 du 14 août 2004 modifiant et complétant la loi n° 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme [11]. Cette loi vise à définir toutes les modalités relatives à l'aménagement et à l'urbanisme.

Loi n° 04-09 du 14 Aout 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable [12]. Cette loi vise à fixer les modalités de promotion des énergies renouvelables dans ce contexte. La promotion des énergies renouvelables a pour objectif :

- De protéger l'environnement, en favorisant le recours à des sources d'énergie non polluantes,
- De contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique en limitant les émissions de gaz à effet de serre,
- De participer à un développement durable par la préservation et la conservation des énergies fossiles,
- De contribuer à la politique nationale d'aménagement du territoire par la valorisation des gisements d'énergies renouvelables, en généralisant leurs utilisations.

Loi n°04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable [13], Cette loi édicte les règles de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

Un risque majeur est défini comme toute menace probable pour l'Homme et son environnement, pouvant survenir en raison d'aléas naturels exceptionnels et/ou d'activités humaines.

Pour illustrer les mesures spécifiques de prévention et de gestion des risques majeurs dans les zones industrielles de Skikda, Arzew et In Amenas, il est crucial d'inclure les décrets exécutifs n°06-161, n°06-162 et n°06-163 du 17 mai 2006. Ces décrets, en application de la loi n°04-20 du 25 décembre 2004, jouent un rôle fondamental dans la protection de l'environnement et la sécurité des populations locales, tout en soutenant le développement durable.

Décret exécutif n°06-161 du 17 mai 2006 déclarant la zone industrielle de Skikda zone à risque majeurs [14]. Le présent décret a pour objet de fixer les mesures à prendre à

l'intérieur de la zone industrielle de Skikda et du domaine portuaire des hydrocarbures y attenant dans le cadre de la prévention d'un risque majeur et/ou de la gestion d'une catastrophe.

Décret exécutif n°06-162 correspondant au 17 mai 2006 déclarant la zone industrielle de d'Arzew zone à risque majeurs [15]. Le présent décret a pour objet de fixer les mesures à prendre à l'intérieur de la zone industrielle d'Arzew et du domaine portuaire des hydrocarbures y attenant, dans le cadre de la prévention d'un risque majeur et/ou de la gestion d'une catastrophe.

Décret exécutif n°06-163 correspondant au 17 mai 2006 déclarant le pôle In Amenas zone à risques majeurs [16]., le présent décret a pour objet de fixer les mesures à prendre à l'intérieur du périmètre d'exploitation du pôle In Amenas, dans le cadre de la prévention d'un risque majeur et/ou de la gestion d'une catastrophe. Règlements des Déchets.

Loi n° 01-19 du 12 Décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, introduisant les principes stratégiques de la gestion des déchets solides toxiques et non toxiques [17], la présente loi a pour objet de fixer les modalités de la gestion, du contrôle et du traitement des déchets, sur la base des principes suivants :

- La prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source ;
- L'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets ;
- La valorisation des déchets par leur réemploi, leur recyclage et toute autre action visant à obtenir, à partir de ces déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie ;
- Le traitement écologiquement rationnel des déchets ;
- L'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leur impact sur la santé et l'environnement, ainsi que les mesures prises pour prévenir, réduire ou compenser ces risques.

Décret exécutif n° 05-314 du 10 septembre 2005 fixant les modalités d'agrément des groupements de générateurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux [18]. Le présent décret a pour objet de fixer les modalités d'agrément des groupements de générateurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux. Aux fins du présent décret, on entend par groupement de générateurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux toute société civile au sens des dispositions de l'article 416 de l'ordonnance n° 75-58 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée.

Décret exécutif n° 05-315 du 10 septembre 2005 fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux [19]. Le présent décret a pour objet de fixer les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux. Les informations relatives à la nature, à la quantité, aux caractéristiques, au traitement des déchets et aux mesures prises et à prévoir pour éviter la production des déchets, qui constituent la déclaration des déchets spéciaux dangereux.

Décret exécutif n° 06-104 du 28 Février 2006 Fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux [20]. Le présent décret a pour objet de réglementer l'activité de collecte des déchets spéciaux et de fixer les prescriptions techniques relatives à cette collecte.

Décret exécutif n° 07-205 du 30 juin 2007 Fixant les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés [21]. Le présent décret a pour objet de fixer les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision dudit schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés.

I.5 Institutions environnementales

Il y a lieu de signaler que L'état Algérien possède des organismes et institutions sous tutelle du ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables (MEER) [22] à savoir :

Tableau I.1 liste des organismes et institutions sous tutelle du ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables

CNDRB	Centre National de Développement des Ressources Biologiques
CNTPP	Centre National des Technologies de Production plus Propre
AND	Agence Nationale des Déchets
ANCC	Agence Nationale des Changements Climatiques
CNL	Commissariat National Du Littoral
ONEDD	L'observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable

I.5.1 Centre National de Développement des Ressources Biologiques CNDRB

Est un établissement public à caractère administratif créé par le Décret exécutif n° 02-371 du 11 novembre 2002. Il a pour mission principale les activités liées à la connaissance, la conservation et la valorisation de la diversité biologique (Centre National de Développement des Ressources Biologiques (CNDRB),2002) [82].

Les missions du centre incluent :

- Centraliser l'ensemble des inventaires de la faune, de la flore, des habitats et des écosystèmes.
- Contribuer, en concertation avec les secteurs concernés, à l'élaboration des plans de valorisation des ressources biologiques dans le cadre du développement durable.
- Proposer, en concertation avec les secteurs concernés, la conservation des ressources biologiques nationales selon les modalités fixées par la réglementation en vigueur.
- Promouvoir la mise en œuvre des programmes de sensibilisation du public concernant la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique.

I.5.2 Centre national des technologies de production plus propre (CNTPP)

Est un établissement public à caractère industriel et commercial. Créé par **décret exécutif n° 02-262 du 17 août 2002**. Dans le cadre de la mise en œuvre de la politique nationale en matière de protection de l'environnement, notamment pour la réduction des formes de pollution et de nuisance industrielles à la source, le centre est notamment chargé entre autre de fournir aux industries toutes les informations relevant de ses attributions, dans leurs démarches en vue de l'amélioration des procédés de production, par l'accès aux technologies plus propres et de l'obtention des certifications y afférentes, afin de promouvoir le concept de développement des technologies de production plus propre (Centre National Des Technologies De Production Plus Propre (CNTPP),2002) [83].

I.5.3 Agence Nationale des Déchets (AND)

(Agence Nationale des Déchets (AND), 2002) [84]. L'Agence nationale des déchets est un établissement public à caractère industriel et commercial, Créé par **décret exécutif n° 02-175 du 20 mai 2002**, ses missions sont multiples, elle a pour rôle de :

- Contribuer à l'élaboration de plans nationaux, régionaux et locaux de gestion des déchets ménagers ;
- Promouvoir les activités de tri, de collecte, de transport, de traitement, de valorisation et d'élimination des déchets
- Entreprendre des opérations pilotes dans le domaine du tri, de la collecte sélective et de la valorisation des déchets ;

- Fournir l'assistance aux collectivités locales dans le domaine de la gestion des déchets
- Entreprendre des études et réaliser des expériences pilotes destinées à réduire à la source la production des déchets ;
- Traiter les données et informations sur les déchets, constituer et actualiser une banque nationale de données sur les déchets
- Initier et contribuer à la mise en œuvre de programmes de sensibilisations et d'informations.

I.5.4 Agence Nationale des Changement Climatiques (ANCC)

(Agence Nationale des Changements Climatiques (ANCC), 2005) [85]. Créée par décret exécutif n° 05-375 du 26 septembre 2005, l'ANCC a pour mission de promouvoir l'intégration de la problématique des changements climatiques dans tous les plans de développement et de contribuer à la protection de l'environnement.

Dans le cadre de la stratégie nationale dans le domaine des changements climatiques, l'ANCC est responsable de la mise en œuvre d'actions d'information, de sensibilisation, d'étude et de synthèse. Ces actions sont relatives aux émissions et à la séquestration des gaz à effet de serre, à l'adaptation aux changements climatiques, à l'atténuation de leurs effets et aux impacts socioéconomiques associés.

L'agence est notamment chargée de :

- Contribuer au renforcement des capacités nationales dans différents secteurs en matière de changements climatiques ;
- Maintenir et mettre à jour une base de données sur les changements climatiques ;
- Élaborer régulièrement des rapports sur les changements climatiques, ainsi que d'autres rapports et notes de conjoncture ;
- Recenser toutes les activités des différents secteurs visant à lutter contre les changements climatiques et contribuer à tout inventaire national de gaz à effet de serre conformément à la réglementation en vigueur ;
- Coordonner les actions sectorielles dans le domaine des changements climatiques et assurer la synergie avec les autres domaines environnementaux, tels que la conservation de la diversité biologique et la lutte contre la désertification ;

- Promouvoir et participer à toutes études, recherches et travaux se rapportant à son objet.

I.5.5 Commissariat National Du Littoral (CNL)

(Commissariat National du Littoral, 2004) [86]. Le Commissariat National du Littoral, créé par décret exécutif n° 04-113 du 13 avril 2004, est chargé de :

- Assurer la préservation et la valorisation du littoral, des zones côtières et de leurs écosystèmes ;
- Appliquer les mesures de protection réglementaires pour ces zones ;
- Offrir une assistance aux collectivités locales dans ses domaines d'intervention ;
- Conserver, restaurer et réhabiliter les espaces terrestres et marins essentiels à l'équilibre naturel ;
- Promouvoir des programmes de sensibilisation et d'information sur la conservation et l'utilisation durable des espaces littoraux et de leur biodiversité.

I.5.6 L'observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD)

(Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable, 2002) [87]. L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable, établissement public à caractère industriel et commercial, a été créé par décret exécutif n°02-115 du 03 avril 2002. Il a pour objectif de répondre aux nombreuses questions concernant l'impact croissant des activités humaines et industrielles sur l'environnement. L'ONEDD fait partie du dispositif mis en place par l'État pour mettre en œuvre la politique environnementale dans le cadre de la Stratégie Nationale pour l'Environnement (SNE) et du Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable.

Parmi les missions de l'ONEDD, on trouve la gestion des réseaux d'observation et de mesure de la pollution ainsi que la surveillance des milieux naturels. Cela lui permet de contrôler les rejets liquides des différentes unités industrielles dans les milieux naturels et de déterminer ainsi la charge de pollution au niveau des cours d'eau, des sédiments et des biotes.

L'ONEDD est impliqué aussi dans la mise en œuvre de la stratégie nationale de protection du littoral et de valorisation de ses ressources conformément à la loi **02-02 du 5 février 2002**. Grâce à son réseau de surveillance, il intervient à différents niveaux :

Effets des poussières générées par la préparation et l'agglomération des minerais de fer sur l'environnement : (analyse et caractérisation physico-chimique) cas Sider, El Hadjar – Annaba

- Au niveau des eaux côtières, par la surveillance de la qualité physicochimique des eaux de baignade durant toute la saison estivale.
- Au niveau des eaux de mer par la détermination de la pollution marine provenant de sources et activités situées à terre. Cette évaluation a fait l'objet du programme MEDPOL (la composante d'évaluation et de maîtrise de la pollution marine du PAM) initié en 2005, et relancé en 2011 en collaboration avec le MATE, qui a comme objectif de formuler et mettre en œuvre des programmes de surveillance continue de la pollution, y compris des mesures de maîtrise de la pollution, et à élaborer des plans d'action visant à éliminer la pollution d'origine tellurique.

I.6 Outils de gestion et de contrôle environnemental

L'Outils de gestion et de contrôle environnemental est un Eléments phare de cette loi **n° 03-10 du 19 juillet 2003, Art. 5.** — Les instruments de gestion de l'environnement sont constitués par :

- Une organisation de l'information environnementale ;
- Une définition des normes environnementales ;
- Une planification des actions environnementales menées par l'Etat ;
- Un système d'évaluation des incidences environnementales des projets de développement ;
- Une définition des régimes juridiques particuliers et des organes de contrôle ;
- L'intervention des individus et des associations au titre de la protection de l'environnement.

En fait, et grâce à ces instrument la prise en charge des problèmes liés à l'environnement est devenu partie intégrante des projets pour les autorités et les entreprises.

I.6.1 Système d'évaluation des incidences environnementales

Art. 15. — Les projets de développement, infrastructures, installations fixes, usines et autres ouvrages d'art et tous travaux et programmes de construction et d'aménagement, qui par leurs incidences directes ou indirectes, immédiates ou lointaines sur l'environnement et notamment sur les espèces, les ressources, les milieux et espaces naturels, les équilibres écologiques ainsi que sur le cadre et la qualité de la vie, sont soumis au préalable, selon le cas, à une étude d'impact ou à une notice d'impact sur l'environnement.

Eléments de prévention très efficace pour minimiser les impacts de l'industrie sur l'environnement, avec l'obligation de la prise en charge de toutes les nuisances par le promoteur du projet, ce qui implique un régime particulier (statut particulier pour les installations qui ont un impact sur l'environnement)

I.6.2 Régimes juridiques particuliers

Art. 17. — Il est institué au titre de la présente loi des régimes juridiques particuliers pour les établissements classés et les aires protégées.

Art. 18. — Sont soumis aux dispositions de la présente loi, les usines, ateliers, chantiers, carrières et mines et, d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter des dangers pour la santé, l'hygiène, la sécurité, l'agriculture, les écosystèmes, les ressources naturelles, les sites, les monuments et les zones touristiques ou qui peuvent porter atteinte à la commodité du voisinage.

Art. 19. — Les installations classées sont soumises, selon leur importance et les dangers ou inconvénients que leur exploitation génère, à autorisation du ministre chargé de l'environnement et du ministre concerné lorsque cette autorisation est prévue par la législation en vigueur, du wali ou du président de l'assemblée populaire communale. Les installations dont l'implantation ne nécessite ni étude d'impact ni notice d'impact, sont soumises à déclaration auprès du président de l'assemblée populaire communale concernée.

Art. 21. — La délivrance de l'autorisation prévue à l'article 19 ci-dessus est précédée d'une étude d'impact ou d'une notice d'impact, d'une enquête publique et d'une étude relative aux dangers et incidences éventuels du projet pour les intérêts mentionnés à l'article 18 ci-dessus, ainsi que, le cas échéant, de l'avis des ministères et collectivités locales concernés. Cette autorisation n'est accordée qu'après réalisation des mesures prévues à l'alinéa ci-dessus.

Décret exécutif n° 06-198 du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.

I.6.3 Etude de dangers et impacts environnementale

L'Etude de Dangers et notice d'impact Environnementale est inscrite dans le **Décret exécutif n° 06-198 du 31 mai 2006**.

Art. 11. Les modalités d'élaboration et d'approbation des études d'impact sur l'environnement ainsi que les conditions applicables aux notices d'impact sont régies conformément à la réglementation en vigueur en la matière.

Art. 12. L'étude de danger a pour objet de préciser les risques directs ou indirects par lesquels l'activité de l'établissement classé met en danger les personnes, les biens et l'environnement, que la cause soit interne ou externe.

L'étude de danger doit permettre de définir les mesures d'ordre technique propres à réduire la probabilité et les effets des accidents ainsi que les mesures d'organisation pour la prévention et la gestion de ces accidents.

I.7 Conclusion

L'industrie sidérurgique est confrontée actuellement à des sérieux problèmes de pollution très préoccupants. Les pollutions causées par les rejets atmosphériques industrielles non traitées sous forme de poussière et de gaz nocif posent des sérieux problèmes pour l'environnement.

Généralement les déchets dangereux et poussières, issus de la production sidérurgique et autres domaines industriel participent directement dans la dégradation de l'écosystème, l'état de l'environnement industriel est devenu très alarmant.

Le cadre institutionnel et réglementaire de gestion de l'environnement son objectif principal, est d'organiser efficacement l'activité de l'environnement, il a été bonifié grâce à la mise en place de moyens nécessaires pour le contrôle et mesures de la pollution via des équipements et des laboratoires de l'environnement gérés par ministère de l'environnement et des énergies renouvelables.

Le contrôle se fait conformément aux **décrets 06-138 du 15 avril 2006** réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumée, vapeur, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle, et **06-141 du 19 avril 2006** définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels, ce contrôle a lieu à deux niveaux :

- Un contrôle interne « Un autocontrôle » qui est de la responsabilité de l'entreprise.
- Un contrôle externe assuré par les services de l'environnement

L'Algérie est un des pays leader en matière de législation et lois de l'environnement, vu l'armada importante de textes législatifs, se fonde sur plusieurs axes pour la protection de l'environnement, ces derniers imposent Une nouvelle approche basée sur la participation efficace et réel de tous les acteurs et les secteurs pour préserver l'environnement.

Chapitre II. Evaluation des risques de la pollution sur la Santé de la population et leurs interactions avec le milieu Environnemental urbain

II.1 Introduction

L'industrie métallurgique occupe la deuxième place parmi toutes les autres industries en termes d'émissions atmosphériques (Agence Internationale de l'Énergie, 2021) [88]. Les entreprises métallurgiques ferreuses et non ferreuses sont obligées d'utiliser du minerai avec une très faible teneur en composants utiles lors de l'extraction des métaux. Ainsi, un énorme volume de minerai est fourni pour l'enrichissement et la fusion, ce qui génère à son tour de grandes quantités de gaz résiduaires provenant de composants inutilisés. C'est la pollution de l'air qui est la principale cause des problèmes environnementaux liés aux activités des géants métallurgiques [23].

Les émissions des canalisations causent la pollution des sols, la destruction de la végétation et la formation de friches artificielles autour des grandes usines. De plus, les problèmes environnementaux dans la métallurgie nationale sont amplifiés par l'usure des équipements et l'utilisation de technologies obsolètes, rendant une partie des infrastructures industrielles inefficaces et non rentables.

II.2 Analyse sur l'évaluation des risques de la pollution sur la Santé

Les métallurgistes contribuent à la pollution atmosphérique de diverses manières. Les entreprises métallurgiques émettent une quantité importante de polluants dans l'atmosphère, ce qui affecte les habitants des grands centres métallurgiques. Dans certaines régions, la présence d'une usine métallurgique constitue le principal problème environnemental.

Bien entendu, non seulement l'air, mais aussi l'eau et le sol souffrent des activités des entreprises métallurgiques. Les eaux usées des entreprises métallurgiques non ferreuses, par exemple, contiennent une grande quantité de métaux lourds, qui ont la capacité de s'accumuler dans les sédiments du fond et dans les chaînes trophiques. Les écosystèmes de nombreuses rivières et lacs adjacents aux usines se dégradent. Ces dernières années, la part de la métallurgie dans le volume total des rejets d'eaux usées a augmenté.

Cela ne veut pas dire que les métallurgistes n'investissent rien dans l'environnement. Selon les statistiques, les investissements des entreprises métallurgiques liés à la protection de l'environnement sont élevés. Cependant, ce montant ne peut pas résoudre tous les

Effets des poussières générées par la préparation et l'agglomération des minerais de fer sur l'environnement : (analyse et caractérisation physico-chimique) cas Sider, El Hadjar – Annaba

problèmes, et la part de la métallurgie dans le volume total des investissements environnementaux diminue progressivement. Et bien que de nombreuses entreprises industrielles déclarent avoir alloué des sommes importantes à des fins environnementales, il est extrêmement rare que le public sache exactement où est allé cet argent. Les gouvernements, dans leurs relations avec les géants industriels, n'ont jusqu'à présent fait preuve que d'un respect de principes en matière fiscale [24].

L'air des villes, en particulier dans les régions en développement du monde, est en train de devenir un problème environnemental sérieux. La pollution de l'air est due à une interaction complexe de dispersion et d'émission de polluants toxiques provenant des usines. La pollution de l'air causée par l'introduction de particules de poussière, de gaz et de fumée dans l'atmosphère dépasse les niveaux de qualité de l'air [35].

II.3 Analyse des risques sur le milieu environnemental

Les polluants atmosphériques sont les précurseurs du smog photochimique et des pluies acides qui provoquent des problèmes respiratoires tels que l'asthme et peuvent conduire à de graves maladies, y compris le cancer du poumon. Ils appauvrissent également l'ozone stratosphérique et contribuent au réchauffement climatique. Dans l'ère actuelle de l'économie industrielle, la pollution de l'air est un produit inévitable qui ne peut être complètement éliminé, mais des mesures sévères peuvent la réduire.

La pollution peut être atténuée par des efforts collectifs et individuels. Parmi les principales sources de pollution atmosphérique figurent les industries, les combustibles fossiles, les déchets agricoles et les émissions des véhicules. Pour réduire les polluants qui contribuent à la pollution atmosphérique industrielle, il est important d'améliorer les processus industriels, d'augmenter l'efficacité énergétique, de contrôler la combustion des déchets agricoles et de convertir les carburants.

Des mesures d'atténuation sont nécessaires pour réduire la menace de pollution de l'air en utilisant les différentes technologies applicables, telles que :

- La séquestration du CO₂,
- L'efficacité énergétique industrielle,
- L'amélioration des processus de combustion des moteurs des véhicules,
- La réduction de la production de gaz provenant des cultures agricoles.

Les défis environnementaux et de durabilité sont devenus des problèmes sérieux qui attirent de plus en plus l'attention. Le contrôle de la consommation des ressources énergétiques et des émissions de polluants atmosphériques est nécessaire à l'amélioration de l'environnement et est crucial pour la durabilité du développement économique et de la transformation industrielle. Il est essentiel de mener des recherches détaillées sur les co-bénéfices de la conservation des ressources énergétiques et de l'atténuation des émissions et d'explorer des approches de développement durable [28].

La production d'acier brut en Chine est passée de 107 Mt en 1996 à 804 Mt en 2015 avec la demande croissante des secteurs de construction d'infrastructures. Poussée par le développement rapide du processus d'urbanisation, l'industrie sidérurgique chinoise (CISI) ne peut éviter les défis de la consommation des ressources énergétiques et des émissions de polluants atmosphériques, qui représentaient 22 %, 23 %, 11 %, 9 % et 29 % de la consommation industrielle d'énergie, de la consommation d'eau, des émissions de SO₂, de NO_x et de poussières du pays en 2014, respectivement (Bureau national des statistiques, 2015 ; Ministère de l'Écologie et de l'Environnement de la République populaire de Chine (MEEPRC), 2017 [34]).

Avec une production d'acier brut en constante augmentation, l'industrie sidérurgique chinoise (CISI) consomme énormément de ressources énergétiques et émet une quantité significative de polluants atmosphériques. En 2014, elle représentait 22 % de la consommation industrielle d'énergie, 23 % de la consommation d'eau, ainsi que 11 %, 9 % et 29 % des émissions nationales de SO₂, de NO_x et de poussières respectivement.

Face à ces défis, le CISI a le potentiel de jouer un rôle crucial dans l'amélioration de l'efficacité énergétique, la conservation des ressources et la réduction des émissions. En adoptant des technologies plus propres et des pratiques durables, l'industrie peut non seulement réduire sa consommation d'énergie, mais aussi minimiser son impact environnemental en diminuant les émissions de polluants.

Pour connaître la composition des éléments, la morphologie et les sources potentielles de plomb de la poussière atmosphérique dans une ville sidérurgique du sud-ouest de la Chine, des échantillons de poussière atmosphérique ont été collectés dans trois zones d'utilisation des terres différentes, y compris les zones à fort trafic (HTA), les zones résidentielles [34].

Les zones résidentielles (RA) et les zones industrielles (RA) ont été analysées par ICP-MS, SEM-EDX et MC-ICP MS. Les résultats ont montré que les particules de poussière atmosphérique à Panzhihua étaient caractérisées par des morphologies sphériques, massives, en colonnes, en couches et irrégulières, et que les particules contenant des minéraux étaient principalement composées de quartz, de calcite, de gypse, de feldspath, de dolomite, de fer et de titane.

Les concentrations moyennes de Zn (795,9 µg/g), Pb (225,3 µg/g), Cr (507,3 µg/g) et Cu (134,7 µg/g) dans la poussière atmosphérique de Panzhihua étaient supérieures aux valeurs de fond locales du sol, à l'exception du Cd (0,86 µg/g). Le plomb montrait un enrichissement significatif. L'indice de risque écologique (IR) indiquait un faible risque de pollution dans les trois zones étudiées. Les rapports isotopiques du plomb ont révélé que les principales sources de plomb étaient les fonderies, les gaz d'échappement des véhicules et le sol.

Ce passage est inclus en entier pour fournir une vue d'ensemble complète des résultats de l'analyse des particules de poussière atmosphérique à Panzhihua. Chaque élément est crucial pour :

- *Montrer l'ampleur de la pollution* : Les concentrations de métaux dépassent les valeurs de fond locales, indiquant des niveaux de contamination élevés.
- *Évaluer l'impact environnemental* : L'enrichissement significatif en plomb souligne la gravité de la pollution et la nécessité de mesures de contrôle.
- *Contextualiser les résultats* : L'indice de risque écologique (IR) permet de comprendre l'impact global sur l'environnement.
- *Identifier les sources de pollution* : Les rapports isotopiques du plomb identifient les principales sources de pollution, essentielles pour élaborer des stratégies de réduction des émissions.

En résumé, ce passage est essentiel pour une analyse complète et détaillée des résultats, permettant une meilleure compréhension des sources et des impacts de la pollution atmosphérique à Panzhihua.

Dans le monde d'aujourd'hui, la production globale de l'industrie sidérurgique chinoise représente plus de 50 % de la production mondiale d'acier ; cependant, l'industrie sidérurgique chinoise est dominée par des processus longs comportant plusieurs étapes, une

consommation d'énergie élevée, une grande variété de polluants et de grandes quantités de polluants. L'industrie sidérurgique est un pilier de l'économie nationale chinoise et implique un large éventail d'industries connexes ; elle joue ainsi un rôle central dans le développement de l'économie nationale. Avec le renforcement continu du contrôle de la pollution atmosphérique, notamment depuis la mise en œuvre d'émissions ultra-faibles dans l'industrie thermique, les principales émissions polluantes de l'industrie sidérurgique ont dépassé celles de l'industrie électrique [33].

Devenant ainsi la plus grande source de polluants industriels. Malheureusement, les émissions massives de polluants freinent considérablement le progrès économique et social. Depuis le 13e plan quinquennal, des mesures puissantes ont été introduites aux niveaux central et local pour promouvoir des émissions ultra-faibles dans l'industrie sidérurgique. Avec l'intensification de ces mesures, une gouvernance approfondie de l'industrie sidérurgique est imminente.

Plusieurs technologies traditionnelles de contrôle des polluants ont été mises en œuvre. De plus, des recherches récentes ont exploré la « technologie d'élimination synergique de plusieurs polluants basée sur la méthode du magnésium ».

Quatre nouvelles technologies à émissions ultra-faibles dans l'industrie sidérurgique ont été identifiées : la technologie de collecte et d'élimination par adsorption de plusieurs polluants pour les gaz de combustion, la technologie de purification catalytique synergique à température moyenne-basse de plusieurs polluants, la technologie de frittage des fumées, et la technologie de circulation de gaz.

La mise en œuvre de ces technologies est essentielle pour réduire les émissions de polluants dans l'industrie sidérurgique, mais elle présente des défis importants, notamment en termes de coûts, de complexité technique et de modifications nécessaires des infrastructures existantes.

Des recommandations ont été formulées pour rationaliser et promouvoir les émissions ultra-faibles, et les perspectives pour la prochaine étape de gouvernance des sources ont été discutées. Il est bénéfique de promouvoir le contrôle et le traitement coordonnés de multiples processus et de multiples polluants dans l'industrie sidérurgique.

L'industrie sidérurgique est l'un des plus grands consommateurs d'énergie au monde parmi les secteurs industriels. Il est généralement admis que l'énergie et l'environnement sont intimement liés. La production d'acier est un processus énergivore qui a un impact environnemental important. Les progrès réalisés en matière de consommation d'énergie, d'émissions de dioxyde de carbone et de consommation d'eau dans l'industrie sidérurgique à l'échelle mondiale. [32].

La diminution des ressources en eau douce, combinée aux effets du réchauffement climatique, met de plus en plus de pression sur les industries, notamment celle de l'acier, pour réduire leur pollution globale, y compris leur empreinte hydrique et carbone. Ces défis entraînent des répercussions importantes sur la chaîne de valeur de l'industrie sidérurgique. Les nouvelles technologies émergentes pour la fabrication du fer et de l'acier jouent un rôle crucial dans cette transition. De plus, des aspects essentiels pour une industrie durable, comme le recyclage de l'acier et des sous-produits de sa production, sont également pris en compte.

L'histoire de l'industrie sidérurgique est pleine de leçons, parmi lesquelles la nécessité de garder les rêves vivants. On attend en effet de résoudre les problèmes créés par le progrès technique.

L'acier est considéré comme l'une des ressources les plus utilisées au monde. Elle occupe une place prépondérante dans l'industrie depuis le début de la révolution industrielle, qui a coïncidé avec le développement des grandes unités de production sidérurgique. L'acier a accompagné le développement technologique de la civilisation grâce à sa haute résistance à la pression à haute température, à ses agents atmosphériques, à ses agents corrosifs et à sa ductilité, ou encore la capacité d'un composant à subir la déformation plastique que subit le matériau avant que la rupture ne se produise [31].

L'industrie sidérurgique est historiquement une industrie cyclique qui connaît de nombreuses périodes d'expansion et de récession. Ces dernières années, le commerce mondial des produits sidérurgiques a enregistré un nouveau record. De l'augmentation rapide de la demande mondiale d'acier à la chaîne d'approvisionnement mondiale en acier, les producteurs d'acier sont également confrontés à des pressions sur les matières premières et sur leurs prix.

La consommation d'énergie, la production de déchets et les émissions élevées sont des caractéristiques notables de l'industrie métallurgique en Chine. Zhang et al. (2019) ont proposé un cadre conceptuel pour le développement durable de cette industrie, en se concentrant sur la gestion durable de la chaîne d'approvisionnement (SSCM). Leurs recherches indiquent que la plupart des grandes entreprises métallurgiques chinoises sont conscientes de l'importance du SSCM [28].

La Chine domine incontestablement le commerce mondial de l'acier, représentant environ la moitié de la production mondiale avec plus de 800 millions de tonnes produites en 2016. Cependant, avec le ralentissement progressif de la croissance économique chinoise, le marché intérieur est moins en mesure d'absorber les matières premières, ce qui entraîne une augmentation des exportations d'acier l'année dernière à 109 millions de tonnes, dépassant ainsi la production totale d'ArcelorMittal, la plus grande entreprise sidérurgique du monde. Des études ont également montré que les granulats naturels génèrent une plus grande quantité de CO₂ en raison de la consommation de carburant nécessaire à leur transport [36].

Pour réduire les émissions de l'industrie sidérurgique, la Chine a imposé une série de normes d'émission renforcées depuis 2012. Un impact précis de la réduction des émissions sur la qualité de l'air est essentiel pour évaluer l'efficacité des politiques (Tang et al. [30]).

L'étude de Tang et al. (2020) constitue la première tentative visant à explorer la contribution des émissions de l'industrie sidérurgique chinoise à la qualité de l'air ambiant à l'échelle nationale, après la mise en œuvre des normes actuelles en 2012. Premièrement, toutes les sources d'émissions dans les processus de production ont été estimées au niveau unitaire dans l'industrie chinoise, couvrant le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x) et les particules (PM 2,5), etc. Deuxièmement, les impacts correspondants sur la qualité de l'air ont été modélisés avec le modèle complet de qualité de l'air avec extensions (CAMx). Les résultats montrent que les points chauds d'émission de l'industrie sidérurgique chinoise présentent les aspects suivants [30].

1- D'un point de vue spatial, les plus grands contributeurs aux émissions et à la concentration ambiante étaient principalement concentrés dans les régions de l'est de la Chine, avec une production élevée d'acier brut.

2- Parmi les trois principaux polluants (c'est-à-dire SO₂, NO_x et PM_{2,5}), le SO₂ a contribué le plus à la concentration ambiante dans l'industrie sidérurgique chinoise.

3- Quant à la répartition temporelle, les sources d'émission ont présenté la plus grande contribution à la concentration de la qualité de l'air en été.

4- Pour l'évaluation des politiques, selon les normes actuelles en 2012, la contribution des émissions de l'industrie sidérurgique à la qualité de l'air a diminué de 92,07 % et de 72,91 % pour le SO₂ et les PM_{2,5}, respectivement. Par conséquent, ces résultats seront essentiels pour refléter les caractéristiques actuelles des émissions et souligner de nouvelles opportunités de réduction des émissions.

II.4 Impact de la métallurgie ferreuse sur l'environnement

Les métaux jouent un rôle extrêmement important dans l'économie de n'importe quel pays.

Parallèlement, la métallurgie, notamment ferreuse, est un puissant polluant environnemental (PE).

Une entreprise métallurgique moderne pour la production de métaux ferreux comprend les principales étapes suivantes : production de pellets et de frittés, coke, haut fourneau, fabrication d'acier et production de laminages. Les entreprises peuvent également inclure la production de ferroalliages, de produits réfractaires et de fonderie. Tous ces éléments sont des sources de pollution de l'air et de l'eau. De plus, les entreprises métallurgiques occupent de vastes zones de production et des décharges, ce qui implique l'aliénation des terres. La concentration de substances nocives dans l'atmosphère et le milieu aquatique des grands centres métallurgiques dépasse largement la norme [26].

Les effets néfastes des entreprises métallurgiques sont causés par un certain nombre de raisons :

- Sous-estimation de l'impact environnemental des entreprises industrielles lors de la localisation des villes, de sorte que nombre d'entre elles sont situées à proximité immédiate des zones résidentielles ;
- L'utilisation de processus technologiques et d'équipements technologiques obsolètes dans d'anciennes usines métallurgiques, au cours desquelles une quantité

- spécifique plus importante de polluants est rejetée dans l'atmosphère (par rapport à la production moderne) ;
- L'équipement insuffisant des unités technologiques en systèmes de nettoyage et de neutralisation et le fonctionnement inefficace des usines de traitement des poussières et des gaz existantes ;
 - Un nombre important de systèmes décentralisés d'évacuation et de purification des gaz dans les entreprises et, par conséquent, un grand nombre de petites sources de pollution atmosphérique avec des canalisations de hauteur relativement faible.

II.5 Impact des entreprises métallurgiques sur l'atmosphère

Tous les processus technologiques connus, la production de fonte, d'acier et leur traitement ultérieur s'accompagnent de la formation de grandes quantités de déchets sous forme de gaz et de poussières nocifs, de scories, de boues, d'eaux usées contenant divers composants chimiques, de ferraille, de tartre, de réfractaires cassés, déchets et autres émissions qui polluent l'atmosphère, l'eau et la surface de la terre [25].

Tous les procédés métallurgiques sont sources de pollution par les poussières, les oxydes de carbone et le soufre (Tableau II.1).

Tableau II.1 : Émissions de gaz (avant nettoyage) de la production métallurgique [26].

Composants d'émission	Production de l'aggloméré, kg/t d'aggloméré	Production de haut fourneau, kg/t de fonte brute	Production d'acier, kg/t d'acier	Production roulante
Poussière	20-25	100-106	13-32	0,1-0,2 kg/t d'acier laminé
Monoxyde de carbone	20-50	600-605	0,4-0,6	0,7 t/m de surface métallique
Oxydes de soufre	3-25	0,2-0,3	0,4-35	0,4 t/m de surface métallique
Oxydes d'azote		10-60	0,3-3,0	0,5 t/m de surface métallique
Sulfure d'hydrogène				
Aérosols de solutions de gravure				Dans les sections de décapage
Vapeur d'émulsion				Dans l'élaboration des métaux

Une entreprise métallurgique moderne, avec ses divers ateliers et usines, peut gravement aggraver l'environnement (Tableau II.2) par la pollution et la consommation excessive de ressources.

Tableau II.2 : Sources d'émissions de gaz réglementées des principales étapes d'une entreprise métallurgique [27]

Type de fabrication	Opérations de base	Opérations auxiliaires
Agglomération et pelletisation	Frittage de la charge de l'aggloméré, refroidissement de l'aggloméré et retour, cuisson des pellets	Concassage, criblage et transport de charge
Haut fourneau	Chargement des matériaux de charge, fusion et coulée de fonte	Livraison des matériaux de charge à l'atelier du haut fourneau et déchargement au parc à minerai et dans les soutes du chevalet
Sidérurgie	Fusion et coulée de l'acier, chargement des matériaux de charge dans cuire	
Ferroalliage	Fusion des ferroalliages et leur sortie du four, chargement des matériaux de charge	Granulation, refroidissement, chargement des métaux, séchage, chauffage, nettoyage des poches ; ramollissement

Dans la production de hauts fourneaux, du sulfure d'hydrogène et des oxydes d'azote supplémentaires sont libérés, dans la production de laminages - des aérosols de solutions de décapage, des vapeurs d'émulsion et des oxydes d'azote [28].

Les entreprises de métallurgie ferreuse représentent 15 à 20 % de la pollution atmosphérique industrielle totale, qui s'élève à plus de 10,3 millions de tonnes de substances nocives par an, et dans les zones où se trouvent de grandes usines métallurgiques, jusqu'à 50 %.

En moyenne, pour une production annuelle de 1 million de tonnes dans les usines de métallurgie ferreuse, les émissions quotidiennes sont les suivantes (en tonnes par jour) : poussières - 350, dioxyde de soufre (SO₂) - 200, monoxyde de carbone (CO) - 400, oxydes d'azote (NO_x) - 42.

Les principales sources de pollution atmosphérique provenant des émissions des entreprises métallurgiques sont la production de coke, de frittage, de hauts fourneaux, de ferroalliages et de sidérurgie [29].

Selon les statistiques, la pollution de l'environnement autour des entreprises de métallurgie des métaux ferreux, en fonction des vents dominants, se fait sentir dans un rayon de 20 à 50 km. 5 à 15 kg de poussière tombent par mètre carré de ce territoire par jour.

Autour des entreprises métallurgiques se forment des zones technogéniques dont toutes les formations superficielles (sol, neige, eau, végétation) contiennent un large éventail de substances nocives.

II.6 Déchets solides des entreprises métallurgiques

Les entreprises métallurgiques dotées d'un grand nombre d'ateliers et de services de soutien occupent jusqu'à 1000 hectares. La superficie des terres perturbées par les opérations minières, occupées par des décharges, des décharges de cendres et de boues, est d'environ 130 000 hectares [28].

Dans la production métallurgique, en particulier dans la métallurgie des métaux ferreux, une grande quantité de déchets solides est générée au cours des processus technologiques. Les déchets industriels solides désignent les restes de matières premières, de matériaux, de produits semi-finis générés lors de la fabrication de produits ou lors de l'exécution de travaux et qui ont perdu en tout ou partie leurs propriétés de consommation.

Les déchets sont stockés sur de vastes zones, qui occupent des milliers d'hectares de terres utilisables. En Chine, par exemple, environ 500 millions de tonnes de scories ont été accumulées, et environ 80 millions de tonnes sont ajoutées chaque année. Les décharges de scories ont dans la plupart des cas un effet néfaste sur l'environnement.

La production métallurgique génère des déchets solides à presque toutes les étapes. Environ 4,7 tonnes de matières premières sont nécessaires pour produire 1 tonne d'acier, dont 0,406 tonne de déchets solides. Les entreprises métallurgiques produisent environ 3 millions de tonnes de déchets, mais seulement 34 % sont recyclés. Les principales sources de déchets sont les hauts fourneaux (1 %), la fabrication d'acier (5 %), le laminage (30 %) et la fonderie (9 %). Les quantités de déchets varient selon le type de produit, par exemple, 7-10 kg/t pour la fonte, 35-40 kg/t pour l'acier, 280 kg/t pour les produits laminés, 530 kg/t pour la fonderie d'acier, 350 kg/t pour la fonderie de fonte, 110-120 kg/t pour les tuyaux en acier, 170-200 kg/t pour les tuyaux en fonte, et 175-180 kg/t pour les pièces forgées et embouties (Tableau II.3). [31].

La majeure partie des scories métallurgiques est constituée de scories de haut fourneau (lors de la production de 1 tonne de fonte, 0,4 à 0,65 tonne de scories sont formées). Dans la production sidérurgique, il se forme 2 fois moins de scories.

Toutes les scories métallurgiques contiennent, outre le fer, des quantités importantes de composés de phosphore et de CaO, ainsi que d'autres éléments utilisés en agriculture comme engrais.

Tableau II.3 : Sources de génération de ferrailles et de déchets provenant des principales étapes d'une entreprise métallurgique [26]

Type de production	Opérations
Haut fourneau	Production et coulée de fonte en fossés et en poches de fonte (résidus, rebuts de fonte)
Aciérie	Production et coulée d'acier (portes, sous-remplissages, lingots défectueux, résidus métalliques dans les poches), nettoyage des lingots (copeaux, ferrailles)
Laminage	Découpe (des chutes, copeaux), laminage (contre-dépouille), nettoyage des pièces (poussières, copeaux)
Fonderie	Fonderie de métaux (résidus en poches, carottes), fonderie (rebut, ferrailles)

II.7 Pollution de l'environnement par les entreprises métallurgiques

Le monde consomme des milliards de tonnes de matières premières minérales, de carburants, d'eau et d'oxygène atmosphérique, et environ 1 % des ressources naturelles consommées aboutissent dans le produit fini. En même temps, env. 1 milliard de tonnes d'aérosols et de gaz (dont CO, SO₂, NO, NO₂), soit à peu près la même quantité de suie ; Plus de 500 milliards de tonnes d'eaux usées industrielles et domestiques pénètrent dans les réservoirs naturels [25].

Les déchets et les émissions issus de la métallurgie, notamment celle des métaux ferreux, épuisent les ressources naturelles non renouvelables et ont des effets nocifs sur l'environnement et les conditions humaines. La métallurgie est une industrie à forte consommation d'énergie et de ressources, utilisant des milliers de tonnes de ressources minérales chaque année, dont moins de 30 % se retrouvent dans le produit final. Les émissions de gaz à effet de serre et d'autres polluants contaminent l'air, l'eau et le sol, rendant certaines ressources naturelles inutilisables ou moins disponibles. De plus, ces émissions perturbent les écosystèmes, affectant la disponibilité des ressources renouvelables et menaçant les moyens de subsistance des communautés dépendantes de ces

ressources. En somme, la métallurgie contribue à l'épuisement des ressources naturelles en consommant des combustibles fossiles et en dégradant l'environnement.

Ainsi, une usine métallurgique à cycle complet d'une capacité de 10 millions de tonnes d'acier par an, avant l'introduction de contrôles stricts, émettait chaque année plus de 200 000 tonnes de poussières, 50 000 tonnes de composés soufrés, 250 000 tonnes de monoxyde de carbone, oxydes d'azote, etc. La concentration de poussières dans les émissions atteignait 50 à 120 kg/t d'acier produit. Dans les procédés métallurgiques améliorés, ces émissions sont réduites à 10 kg/t d'acier. [25].

Les émissions gazeuses des usines métallurgiques s'élèvent à environ 2 500 m³/t d'acier. Les sources de composés soufrés rejetés dans l'atmosphère sont principalement le coke (40 à 60 %) et le minerai (5 à 30 %). 45 à 55 % du soufre est éliminé des unités métallurgiques avec des scories, et jusqu'à 6 % du soufre entre dans les produits sidérurgiques, le reste du soufre est rejeté dans l'atmosphère. La principale source d'émissions de SO₂ est l'agglomération (45 à 55 % des émissions totales de SO₂). Une quantité importante de SO₂ ou H₂S est rejetée dans l'atmosphère lors du refroidissement et du traitement des scories (10 à 35 %). La quantité restante de SO₂ pénètre dans l'environnement par les canalisations des chaufferies, des fonderies d'acier et des ateliers de laminage. [25].

Le cyanure d'hydrogène HCN est présent principalement dans les gaz de haut fourneau. Sa concentration est de mg/m³ : dans la production de fonte brute 200-400, dans la production de fonte miroir 300-400 et dans la production de ferromanganèse 1500-3500. Les émissions de cyanure d'hydrogène des unités de cokerie peuvent atteindre 0,5 kg/t de coke. [25].

Les oxydes d'azote se forment dans les hauts fourneaux, les fours à sole et les fours de chauffage, les fours à coke et les chaudières à vapeur. Dans les hauts fourneaux, la source d'émission d'oxydes d'azote est constituée par les réchauffeurs de haut fourneau, dont les gaz d'échappement ont une teneur en NO_x de $(1,7 \div 6,6) \cdot 10^{-4}$ %. La concentration d'oxydes d'azote dans les canaux verticaux des fours à sole pendant le chauffage sans intensificateurs est en moyenne de 0,03 % ; lorsque l'oxygène est fourni, il augmente jusqu'à 0,1 % et atteint dans certains cas 0,25 %. La quantité moyenne d'émissions d'oxydes d'azote est de 2,5 kg/t d'acier. [25].

II.8 Mesures de collecte des poussières et des gaz issus de la production métallurgique

La plupart des procédés pyrométallurgiques se caractérisent par la formation de grandes quantités de gaz. Outre l'utilisation éventuelle de composants gazeux précieux (principalement le SO₂), il est nécessaire de les neutraliser afin de protéger l'environnement. Protéger le système d'exploitation des émissions nocives est l'un des problèmes les plus urgents de notre époque. Une entreprise métallurgique moderne est un complexe de production comprenant divers ateliers et parfois des usines individuelles, qui peuvent polluer considérablement l'air environnant. Il est impossible d'éviter complètement cela au niveau actuel de développement technologique [26].

La part des entreprises métallurgiques (à la fois non ferreuses et ferreuses) représente environ 20 à 25 % du total des émissions nocives dans l'atmosphère et, dans les zones où se trouvent les grandes usines métallurgiques, plus de 50 % de la quantité totale de pollution. À cet égard, l'industrie a réalisé et continue de réaliser un travail important pour augmenter le nombre d'usines de traitement des gaz et améliorer leur performance.

La principale caractéristique de la pollution de l'air est la concentration d'impuretés, c'est-à-dire la quantité d'une substance par unité de volume d'air dans des conditions normales, généralement exprimée en mg/m³. Les concentrations maximales admissibles de substances nocives dans l'air atmosphérique des zones peuplées sont divisées en deux types : les concentrations maximales admissibles ponctuelles (CMAa.p.) – la concentration unique maximale admissible d'une substance nocive dans l'air des zones peuplées, qui ne devrait pas provoquer de réactions réflexes dans le corps humain lorsqu'elle est inhalée pendant 30 minutes, et les CMAq.m. quotidiens moyens – la concentration quotidienne moyenne maximale admissible d'une substance nocive dans l'air des zones peuplées, qui ne devrait pas avoir d'effet nocif direct ou indirect sur une personne soumise à une exposition indéfiniment longue (années) [25].

Le tableau II.4 présente les concentrations maximales admissibles de substances nocives dans l'air de la zone de travail et dans l'air des zones peuplées, ainsi que les classes de danger d'un certain nombre de substances nocives que l'on trouve le plus souvent dans l'atmosphère des zones où les entreprises métallurgiques ferreuses sont localisées. Une évaluation de l'état du bassin atmosphérique y est également présentée.

Le moyen le plus efficace de lutter contre les émissions de poussières et de composants gazeux nocifs dans l'air par les entreprises est l'installation de dispositifs d'épuration des gaz. Cependant, comme l'a montré la pratique, les émissions de poussières et de gaz peuvent être considérablement réduites en les supprimant ainsi que l'aspiration locale, et en mettant en œuvre un certain nombre de mesures technologiques et de planification. Tout d'abord, il convient d'introduire une technologie à faibles déchets, qui peut réduire considérablement la charge sur les appareils d'épuration des gaz et ainsi augmenter l'efficacité de leur fonctionnement, et parfois même se passer de leur installation [27].

II.9 Conclusion

L'industrie métallurgique, en particulier dans les régions en développement, a un impact significatif sur l'environnement et la santé humaine. Les émissions atmosphériques, les rejets d'eaux usées et la dégradation des sols sont parmi les principaux problèmes environnementaux associés à cette industrie. Ces polluants ont des effets néfastes sur la santé humaine, provoquant des maladies respiratoires et contribuant à des problèmes de santé plus graves comme le cancer du poumon. De plus, la pollution de l'air, de l'eau et du sol affecte également les écosystèmes locaux, entraînant la dégradation des habitats naturels et la perturbation des chaînes trophiques. Malgré les investissements dans la protection de l'environnement, les problèmes persistent en raison de l'usure des équipements, des technologies obsolètes et de l'absence de transparence dans l'utilisation des fonds alloués à la protection de l'environnement.

Il est donc crucial de mettre en œuvre des mesures d'atténuation efficaces pour réduire la pollution et promouvoir la durabilité. Cela peut inclure l'amélioration des processus industriels, l'augmentation de l'efficacité énergétique, le contrôle de la combustion des déchets agricoles et la conversion des carburants. De plus, des recherches approfondies sur les co-bénéfices de la conservation des ressources énergétiques et de l'atténuation des émissions sont nécessaires pour explorer des approches de développement durable. Enfin, il est important de noter que la pollution de l'air n'est pas seulement un problème local, mais aussi un problème mondial. Par conséquent, une coopération internationale est nécessaire pour résoudre ce problème de manière efficace et durable. Il est essentiel que tous les acteurs, y compris les gouvernements, les industries et les individus, travaillent ensemble pour protéger notre environnement pour les générations futures.

Tableau II.4 : Concentrations maximales admissibles (CMA) des substances nocives, Issues d'une publication scientifique russe spécifique [27].

Substance	Classe de danger	Concentration maximale admissible, mg/m ³			État du bassin atmosphérique à des concentrations supérieures à, mg/m ³			Effet sur le corps humain
		Dans l'air de la zone de travail	Dans l'air des zones peuplées		Provoque des inquiétudes	Dangereux	Extrêmement dangereux	
			CMAap	CMAqm				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Monoxyde de carbone	4.0	20.0	5.0	3.0	1.0	5.0	26.0	Très toxique, poison sanguin, perturbe la respiration, réduit la consommation d'oxygène des tissus, provoque des convulsions
Hydrocarbures saturés (en termes de carbone)	4	300.0	-	-	1.5	7.6	37.5	A un effet narcotique, provoque des vertiges, de la toux, affecte le système hématopoïétique
Suie	4.0	4.0	0.15	0.05	0.05	0.25	1.25	Cancérogène, provoque des maladies de peau
Ammoniac	4.0	20.0	0.2	0.2	0.2	1.0	5.0	Irritant
Phénol	3.0	0.3	0.01	0.01	0.1	0.04	0.16	Généralement toxique, cancérigène, absorbé par la peau
Poussière non toxique	3.0	10.0	0.5	0.15	0.15	0.76	3.75	Irritant, provoque conjonctivite, dermatite, fibrose pulmonaire
Le dioxyde de soufre	3.0	10.0	0.5	0.06	0.06	0.18	0.2	A un effet toxique général, irritant et effet embryotoxique
Dioxyde d'azote	2.0	5.0	0.085	0.085	0.085	0.250	0.766	Très toxique, a des effets toxiques généraux, irritants et effets allergènes
Sulfure d'hydrogène	2.0	10.0	0.008	0.008	0.006	0.024	0.072	Très toxique, a un effet toxique général, est adsorbé par la peau intacte, provoque des étourdissements, des larmolements et des troubles du système cardiovasculaire.
Suite du Tableau II.4								

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Le disulfure de carbone	2.0	1.0	0.03	0.005	0.005	0.015	0.045	A un effet toxique général et embryonnaire, favorise le développement de maladies cardiovasculaires, d'ulcères gastriques
Acide sulfurique	2.0	1.0	0.3	0.1	0.1	0.3	0.8	A un effet irritant et caustique. Provoque des spasmes laryngés, des lésions pulmonaires et des brûlures
Acide hydrochlorique	2.0	5.0	0.2	0.2	0.2	0.6	1.8	Irrite les voies respiratoires supérieures et provoque des brûlures
Plomb	1.0	0.01	-	0.0003	0.0007	0.00126	0.00224	Très toxique, a un effet toxique général, cancérigène et mutagène, provoque des dommages au système nerveux, au sang et aux vaisseaux sanguins.
Mercure	1.0	0.01	-	0.0003	0.0003	0.00064	0.00096	Très toxique, irritant, généralement toxique, cancérigène et allergène, absorbé par la peau intact

Chapitre III. Description et sources de pollution du complexe sidérurgique d'El Hadjar

III.1 Présentation Du Site

La Société Nationale de Sidérurgie (SNS) a été créée par la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS) en 1959 dans le cadre du plan de Constantine. En 1964, la SNS a été chargée de construire un complexe sidérurgique à El Hadjar. La SNS, abrégée SIDER, a été créée par décret en 1983. En 2000, le complexe a pris le sigle ISPAT. En 2001, un partenariat avec Mittal Steel a permis l'acquisition de 70% du capital. En 2005, il a été renommé ArcelorMittal. En 2016, le complexe a été nationalisé et est devenu SIDER El Hadjar. Il est situé dans la commune de Sidi-Amar, à 3 km de la daïra d'El-Hadjar et à 12 km de la ville d'Annaba.

Il est limité :

- Au Nord par la commune de Sidi -Amar ;
- A l'Est la Daïra d'El Hadjar ;
- A Est –sud Est par l'Oued Meboudja et la Daïra d'El-Hadjar ;
- Au Sud-Ouest par : Bergougua et Derradji Redjem (commune de Sidi-Amar).

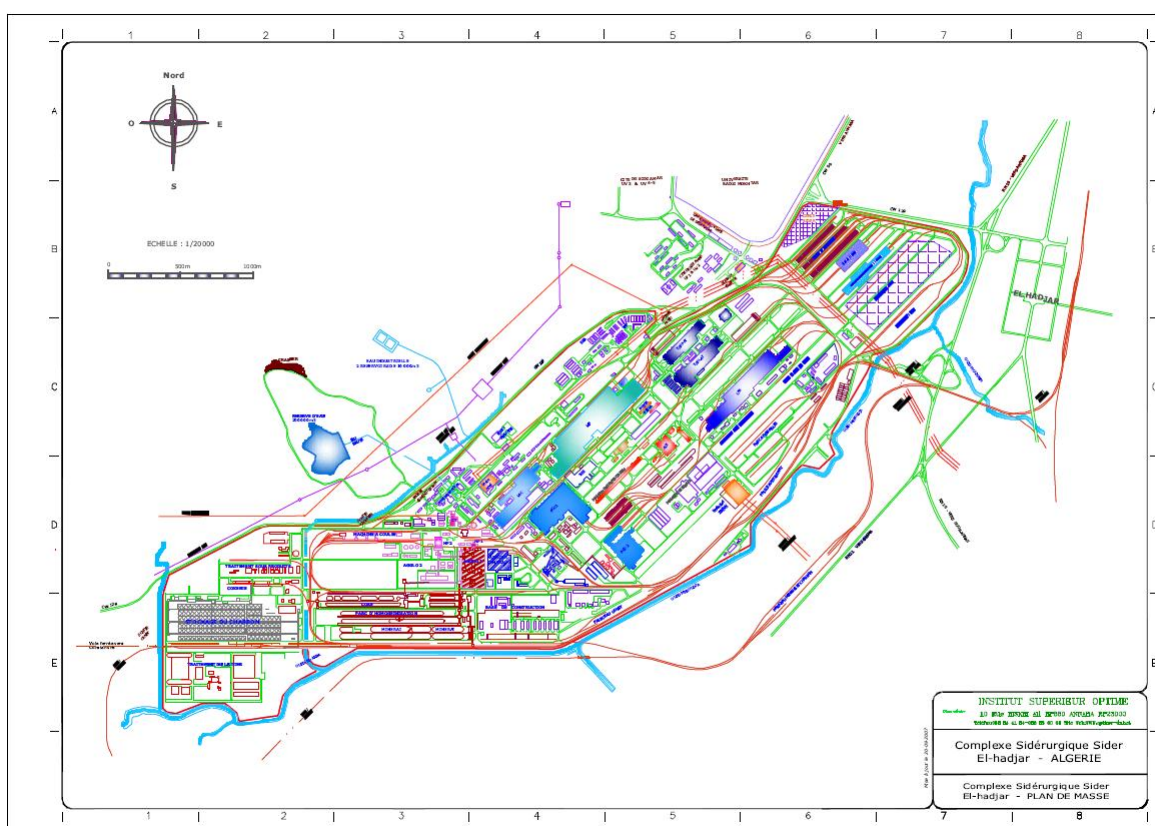


Figure III.1 : Carte du Complexe Sider Annaba (document interne de l'entreprise)

La Figure III.2 et le Tableau III.1 présentent une vue d'ensemble des différentes unités de production et leurs descriptions qui composent le complexe sidérurgique d'Annaba. Elles se composent de la préparation matière et aggloméré, des unités de transformation comme les hauts fourneaux N°1 et N°2, et les aciéries à oxygène N°1 et N°2, ainsi qu'une aciérie électrique qui jouent un rôle crucial dans le processus de production. Il y a aussi des unités de produits plats comme le laminoir à chaud et le laminoir à froid, et des unités de produits longs comme le laminoir à fil et rond a béton.

Enfin, des unités comme les tuberies sans soudure et spirale qui jouent un rôle important dans le processus de production. Chaque unité a un rôle spécifique et contribue à la chaîne de production globale, permettant au complexe de produire une gamme diversifiée de produits sidérurgiques.

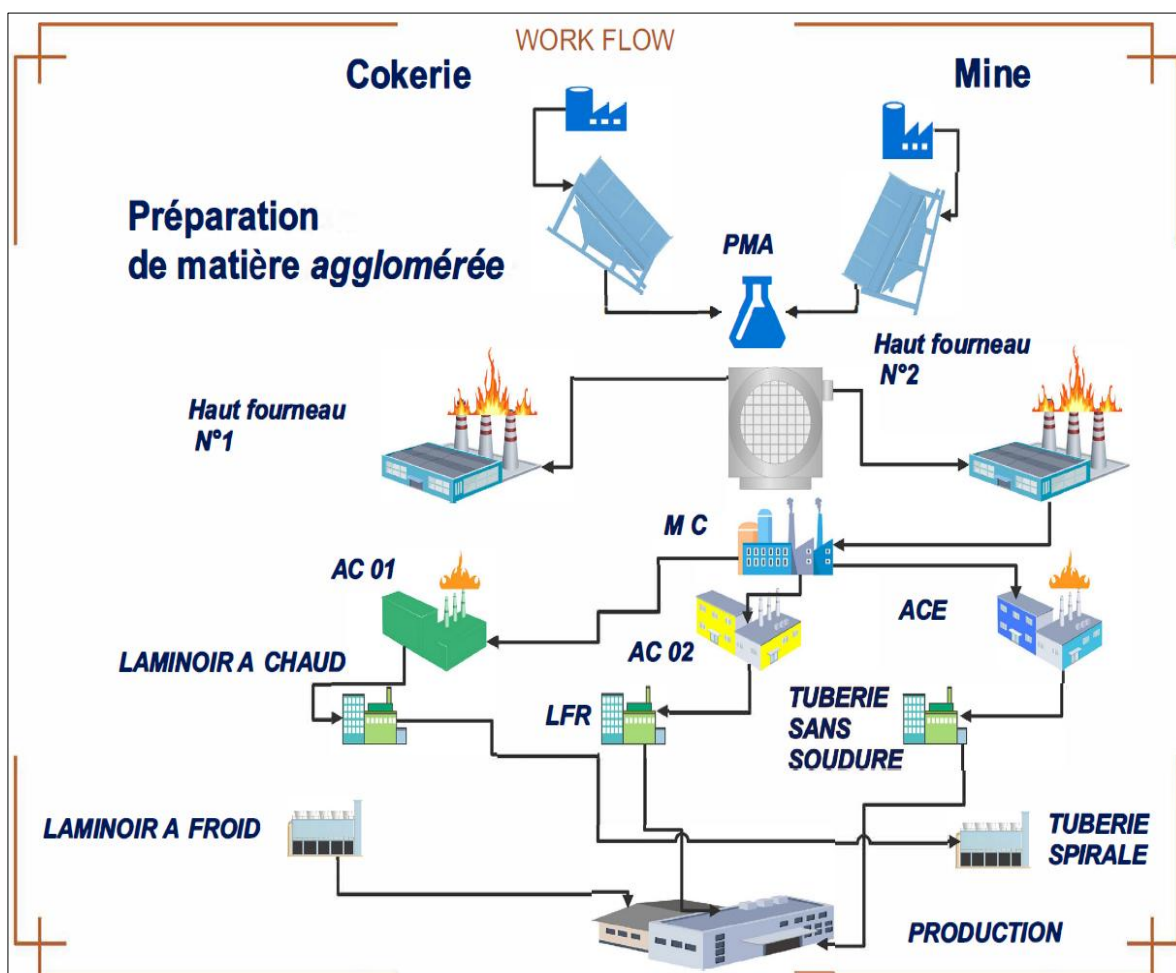


Figure III.2 : Implémentation Des Unités De Production du Complexe Sider Annaba (document interne de l'entreprise)

Tableau III.1 : Légende de la Figure III.2 présentant la liste des unités de production du complexe Sider Annaba.

MINES	Mine de l'Ouenza et Boukhadra	LAC	Laminoir à chaud
COKERIE	Cokerie	LAF	Laminoir à froid
PMA	Préparation matière et aggloméré	LFR	Laminoir à fil et rond
HF1	Haut fourneau N°1	TSS	Tuberie sans soudure
HF2	Haut fourneau N°2	TUS	Tuberie spirale
AC01	Aciéries à oxygène N°1	RPA	Revêtement par achèvement
AC02	Aciéries à oxygène N°2	LRB	Laminoir rond à béton
ACE	Aciérie électrique		

La Figure III.3 et le Tableau III.2 présentent schématiquement les diverses installations et leurs principales activités au sein du complexe sidérurgique d'Annaba. Parmi les installations de production primaire, on trouve la Cokerie, l'Unité de préparation matière et aggloméré (PMA), et les Hauts fourneaux (HF_x). Les Aciéries à oxygène (ACO1 et ACO2) produisent de l'acier liquide, avec ACO1 se concentrant sur les brames et ACO2 sur les billettes. L'Aciérie électrique (ACE) produit également de l'acier liquide, des billettes et des lingots.

Les unités de finition comprennent le Laminoir à chaud (LAC) pour les bobines, le Laminoir à froid (LAF) pour les bobines galvanisées et les Tôles Nervurées galvanisées, et le Laminoir à fil et rond (LFR, LRB) pour le fil machine et le rond à béton. L'Unité de Tuberie sans soudure (TSS) fabrique des tubes casing et pipe-line. Les Ateliers de construction (ATC) (AMM) assurent la maintenance, tandis que l'Atelier de traitement de surface (RPA) s'occupe de l'électrodéposition du cuivre, du nickel et du chrome.

Chaque installation est essentielle au bon fonctionnement du complexe et permet de produire une variété de produits sidérurgiques.

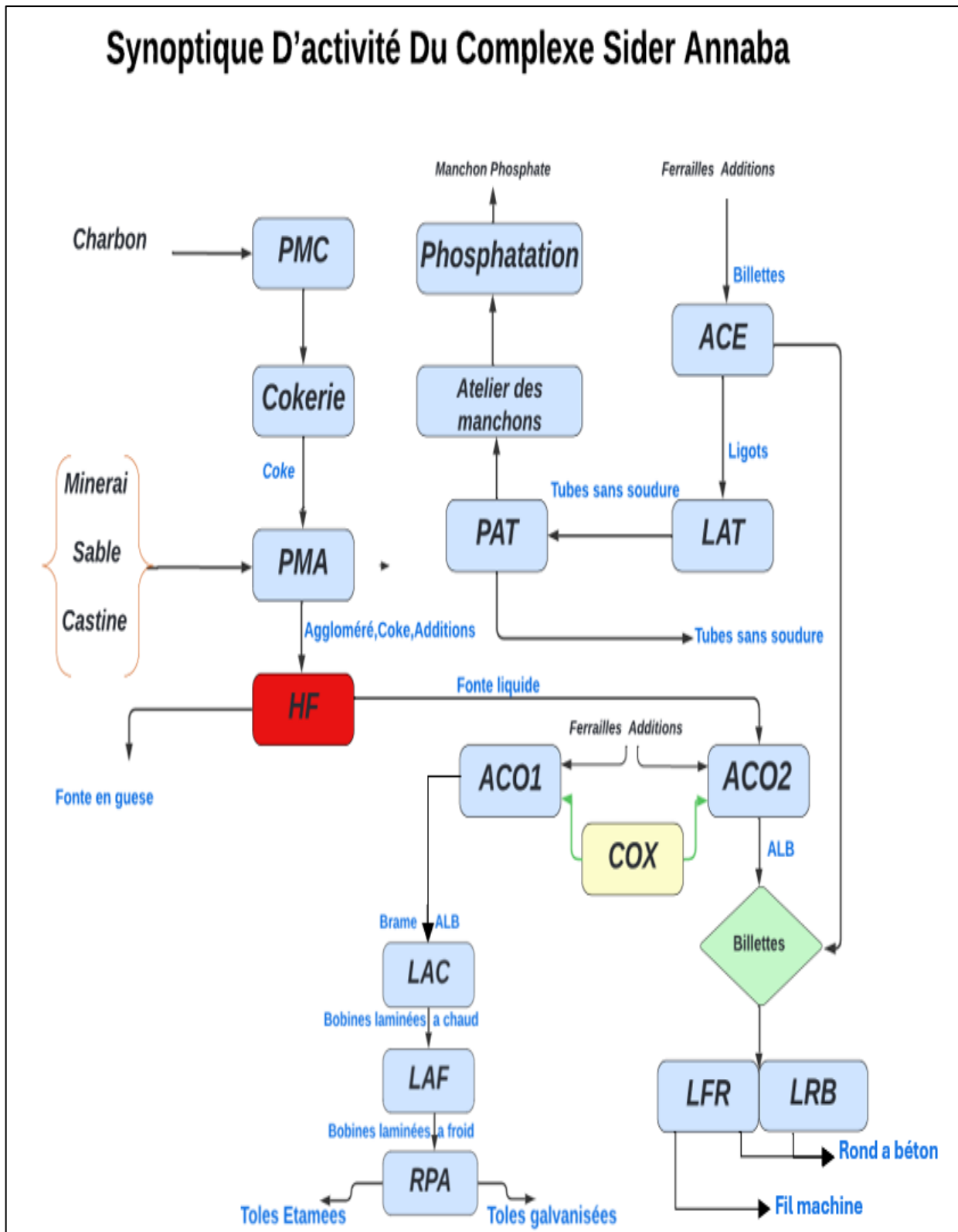


Figure III.3 : Synoptique d'activité du complexe Sider - Annaba (document interne de l'entreprise)

Tableau III.2 : Légende de la Figure III.3 présente les Activités principales du complexe Sider

Dénomination des installations	Activité principale
Cokerie	Production du coke
Unité de préparation matière et aggloméré (PMA)	Production d'aggloméré
Hauts fourneaux (HFx)	Production de la fonte liquide
Aciéries à oxygène (ACO1 et ACO2)	Acier liquide ACO1 : Brames ACO2 : Billettes
Aciérie électrique (ACE)	Acier liquide, billettes et lingots
Laminoir à chaud (LAC)	Bobines
Laminoir à froid (LAF)	Bobines, Bobines galvanisée, TN 40 galvanisées
Laminoir à fil et rond (LFR, LRB)	Fil machine et rond à béton
Unité de Tuberie sans soudure (TSS)	Tubes casing et pipe-line
Ateliers de construction (ATC) (AMM)	Maintenance
Atelier de traitement de surface (RPA)	Electrodéposition du cuivre –nickel et chrome

III.1.1 Agglomération (PMA)

La division PMA (Préparation des Matières et Agglomérations) est mise en service depuis la création de l'usine et constitue le pilier fort de la sous-direction de la MPF (Matières Premières et Fonte). L'agglomération est un secteur de la PMA, tout comme le secteur coke et le secteur minerais. Deux agglomérations sont installées dans le complexe SIDER El Hadjar. L'agglomération est responsable de la manutention et du traitement des matières premières nécessaires à l'alimentation des hauts fourneaux pour la fabrication de la fonte. Elle reçoit le minerai traité provenant du secteur du minerai, ainsi que la fine de coke et d'autres additifs en provenance du secteur coke. Ces matières premières sont ensuite préparées et mélangées pour être utilisées dans les hauts fourneaux.

III.1.1.1 Localisation

Tableau III.3 : localisation Agglomération (PMA) du complexe Sider

Nord : Haut fourneau HF	Sud : Oued Mebaoudja
Est : Fours à chaux (USAC)	Ouest : Cokerie

III.1.1.2 Mélangeur

Chaque silo de stockage déverse son contenu dans un extracteur grâce à un doseur qui régule le débit souhaité. La quantité déversée est ensuite transportée par des transporteurs à bandes jusqu'au mélangeur. Deux rampes d'arrosage, fonctionnant simultanément, ajoutent de l'eau au mélange, avec un taux compris entre 9 % et 11 %. Une fois le mélange homogénéisé, il est dirigé vers le répartiteur de charge.

III.1.1.3 Répartiteur

Le répartiteur à tambour dépose d'une façon uniforme le mélange sur les barreaux de grille des chariots de la chaîne d'agglomération, cette couche du mélange d'environ 200 mm d'épaisseur est étalée uniformément sur toute la surface du chariot.

III.1.1.4 Hotte d'allumage

La hotte d'allumage joue un rôle essentiel dans le traitement de la pâte. Au fur et à mesure que la chaîne se déplace, la pâte passe sous la hotte d'allumage où la couche superficielle est grillée par 18 brûleurs alimentés au gaz naturel. Ces brûleurs opèrent à une température élevée de 1200°C, permettant une cuisson initiale homogène en environ deux minutes.

Pour garantir une cuisson complète de l'ensemble de la pâte, 15 boîtes à vent sont stratégiquement placées sous la chaîne. Ces boîtes, reliées à deux ventilateurs aspirateurs, assurent une circulation efficace de l'air chaud en déplaçant celui-ci de la couche supérieure vers la couche inférieure.

Le processus de cuisson est guidé par le déplacement du front de flamme, qui suit une courbe caractéristique décroissante. À la fin de ce front de flamme, toute la pâte est proportionnellement cuite, garantissant une homogénéité optimale sur l'ensemble du produit.

III.1.1.5 Brise motte

Le matériau traité passe par le brise-motte pour être fragmenté en morceaux d'une granulométrie comprise entre 0 et 150 mm. Ces fragments sont ensuite déversés sur un crible

dont les mailles ont une dimension de 5 mm. Les particules dont la taille est inférieure à 5 mm sont renvoyées vers le mélangeur sous forme de fines de retour, tandis que celles supérieures à 5 mm passent dans une goulotte, avant d'être acheminées vers le refroidisseur.

III.1.1.6 Refroidisseur

Trois ventilateurs aspirent l'air frais à travers une cheminée, et le refoule par une gaine vers le refroidisseur pour faire chuter la température de 1200°C à 1000°C environ. L'aggloméré sera transporté par deux transporteurs en série et déversant le produit dans le crible.

III.1.1.7 Criblage

Les particules de 50 à 150 mm sont dirigées vers un broyeur pour être fragmentées. Celles dont la taille est comprise entre 0 et 50 mm sont directement acheminées, par un transporteur, vers un crible équipé de deux mailles : une première maille de 15 mm et une seconde de 25 mm.

- Les particules inférieures à 15 mm sont transférées vers le crible 4.
- Les particules comprises entre 15 mm et 25 mm passent à travers la seconde maille.
- Les particules supérieures à 25 mm sont également prises en charge par le processus suivant.

Le transporteur principal achemine finalement un aggloméré de 5 à 50 mm directement vers le silo de stockage destiné aux hauts fourneaux

III.1.1.8 Ventilateurs

Les deux ventilateurs de cuisson (VEN1, VEN2) sont parmi les principaux organes de l'agglomération, ils servent à aspirer le gaz bridé et la fumée de la chaîne, à travers des boîtes à vent, gaine d'aspiration GAI1, cette dernière doit être filtrée par deux dépoussiéreurs chacun à un débit de 700 000 m³/h pour l'agglomération N°2.

Le dépoussiéreur contient un électro filtre, qui capte la poussière qui est riche en fer de 60 ÷ 70% à l'aide d'un système anode cathode à haute tension, les particules de fer se collent sur les plaques métalliques transversales.

Le transporteur vibrant décharge sur un transporteur à bande où le recyclage des fines de retour au mélangeur. Les gaz seront dégagés par la cheminée CAP dans l'atmosphère.

III.1.2 Hauts Fourneaux (HFX)

La fabrication de la fonte est un procédé de fusion qui consiste à produire de la fonte liquide par la réduction de matières contenant du fer sous forme d'oxyde. Ce procédé de fusion se déroule dans un haut fourneau à cuve doublée de matériaux réfractaires. Le complexe est doté de deux (02) hauts fourneaux, où, dès la première étape de la fabrication de l'acier, on produit de la fonte brute à partir du minerai de fer. Dès cette phase, la constitution de la charge en minerais et additions est adaptée de manière précise au produit final, à savoir la tôle forte.

III.1.2.1 Localisation

Tableau III.4 : localisation Haut fourneau (HF) du complexe Sider

Nord : Zone administrative	Sud : Agglomération (PMA)
Est : laminoir à chaud (LAC)	Ouest : Cokerie

III.1.2.2 Lit de fusion

Les matières du lit de fusion, comme les agglomérés, les boulettes, le minerai rocheux, de petites quantités de fondants et du coke sont finement dosés et transportés en alternance jusqu'au sommet du haut fourneau par skip. Les matières sont alors chargées en couches.

III.1.2.3 Centrale à vent

L'air envoyé aux cowpers est produit par la centrale à vent. Elle dispose de deux soufflantes de 260 000 Nm³/heure et d'une autre soufflante de faible capacité entraînée par un diesel. La production d'air se fait par une seule soufflante tandis que l'autre est en attente, en cas de coupure d'électricité la troisième se met en en marche immédiatement ce qui permet de mettre le haut fourneau en veilleuse si la coupure est prolongée.

III.1.2.4 Cowpers

Ils alimentent le haut fourneau en courant d'air chaud (vent) qui déclenche la réaction chimique. Les empilages de briques réfractaires dans le récupérateur de chaleur du haut fourneau sont chauffés par le gaz naturel et du haut fourneau (gaz de gueulard). Ensuite, ces briques brûlantes sont traversées par le vent qui peut atteindre des températures supérieures à 1300 °C (régénérateur). L'énergie nécessaire au chauffage du vent provient donc du processus d'élaboration au haut fourneau - une méthode très respectueuse de l'environnement.

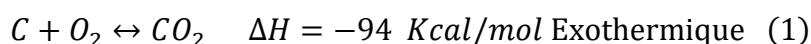
III.1.2.5 Fonctionnement du Haut Fourneau

Le haut fourneau travaille selon le principe du contre-courant : la colonne des charges, composée de minerai, de coke et des fondants, descend vers sa conversion. Par contre, les gaz du gueulard montent et réchauffent la colonne des charges. Dans la partie inférieure du fourneau, le minerai de fer subit une réduction chimique le vent réagit avec le coke ; des températures pouvant atteindre 2000 °C donnent naissance à du gaz carbonique et à de l'oxyde de carbone. L'oxyde de carbone réduit le minerai de fer. C'est la naissance de la fonte brute. Le laitier se forme à partir des autres éléments du minerai et des fondants.

Au niveau du plancher de coulée, la fonte brute liquide passe tout d'abord par le trou de coulée du haut fourneau et par une fosse de coulée garnie d'un matériau réfractaire. Elle est ensuite chargée dans des wagons poche et transportée jusqu'aux aciéries. Avec une teneur en silicium variant entre 0,3 % et 0,5 %, elle répond dès à présent aux besoins de l'aciérie et des laminoirs. Le laitier produit dans le processus de haut-fourneau a un poids spécifique plus faible et surnage donc au-dessus de la fonte liquide dans la fosse de coulée ; il est séparé de la fonte et déversé dans les fosses à laitier pour se solidifier, ou directement granulé à l'eau sous haute pression. Le laitier solidifié est utilisé comme matériau routier ; quant au granulé, il est livré à l'industrie du ciment.

III.1.2.6 Réactions Chimiques

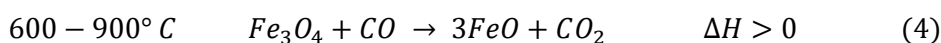
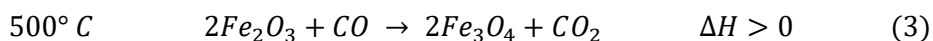
Production du CO :



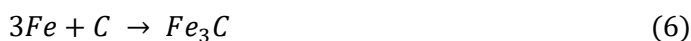
A haute température ($T > 700^\circ\text{C}$), l'équilibre (2) est déplacé vers la droite.

Réduction des oxydes de fer et des autres oxydes métalliques par CO :

150°C déshydratation



Au niveau du ventre (1300-1500°C) se produit l'étape de cémentation (carburation du fer)



Bilan : les oxydes de fer ont formé la fonte à 1500°C (quelques impuretés) et la gangue le laitier.

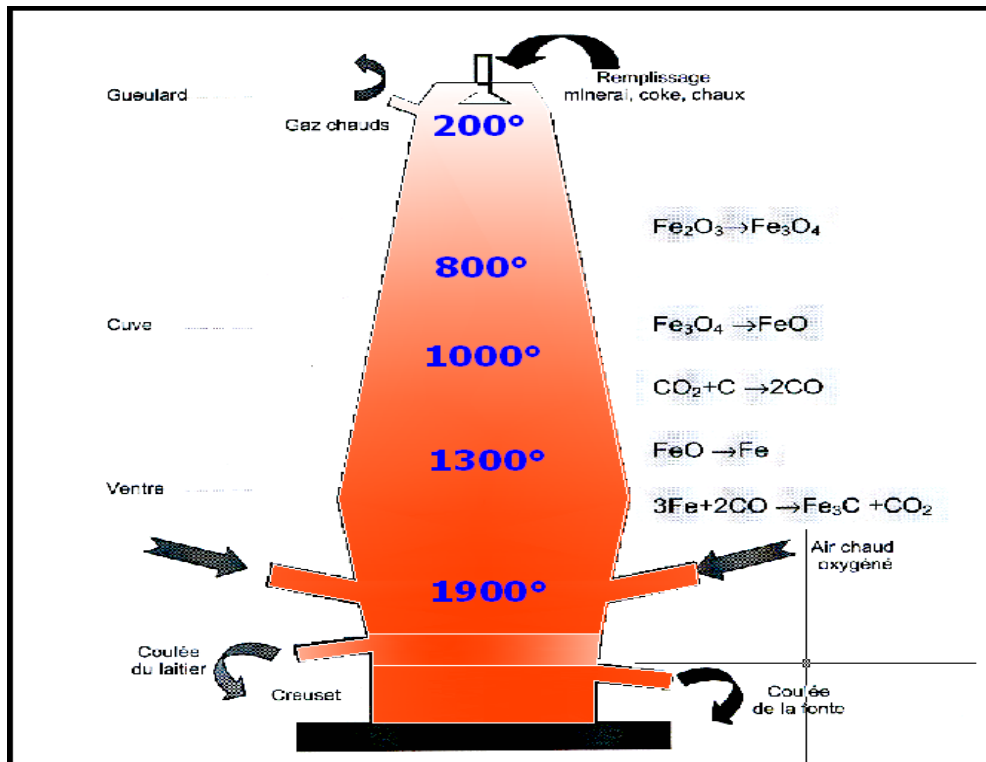


Figure III.4 : Vue en coupe de l'HF

III.1.2.7 Fosse à laitier et bassin de granulation

Le laitier peut être récupéré dans les deux fosses à laitier à l'air libre, de 2400 m³ de volume utiles chacun, ou il est arrosé, une fois froid, il est repris par des pelles mécanique et évacué par camions. Le laitier peut être récupéré dans le bassin de granulation, ou à son arrivée de multiples jets d'eau sous pression (1000 m³/h) le refroidissent et le figent en grains de faible granulométrie. Il tombe sur un lit filtrant de 120 m² à travers lequel l'eau est récupérée. Le laitier est repris par un pont roulant à benne preneuse et déversé dans quatre trémies d'un volume de 250m³, situé au sud du bassin et munies de trappe à casques à commande pneumatique.

III.1.2.8 Epuration des gaz

L'épuration de gaz se fait en 3 étapes :

- Épuration primaire des gaz : dépoussiéreur : (3 à 5 g/m³ représente 80 à 85% de poussière)

- Gaz semi épuré : scrubber (laveur), tubes venturis et septum valve. (10 à 11% de poussière selon le poids)
- Gaz épuré : électro filtre (4 à 10 % de poussière)

Le gaz traité du HF 01 est stocké dans un gazomètre doté de 3 torchères, il est situé juste à la sortie de l'électro filtre. Ce gaz est destiné uniquement au besoin du haut fourneau et éventuellement de la cokerie. L'excédent de gaz du HF 02 est brûlé par la torchère qui sert à la régulation automatique de la pression imposée du gaz HF dans les conduites à gaz extérieures. La capacité de la torchère est de l'ordre de 300 000 m³/h (Il en existe six (6) étrangleurs de (50 000m³/h) chacune).

III.1.3 Fours à chaux (USAC)

La castine, livrée à l'usine par camion ou par wagon, est déchargée dans des trémies. Un circuit de transporteurs en assure la décharge sur l'un quelconque des quatre tas prévus dans la zone de stockage. La castine destinée aux fours à chaux est reprise dans cette zone et déposée sur une série de transporteurs qui l'amènent jusqu'aux trémies d'alimentation des fours, en passant par un poste de criblage et des silos de stockage de castine calibrée. La castine est calcinée dans les trois fours à chaux rotatifs, dont un seul est actuellement en service, pour produire de la chaux. Chaque four dispose d'une capacité de production de 300 tonnes de chaux tout venant par jour, et l'installation permet une production totale allant jusqu'à 720 tonnes par jour.

Le processus inclut deux silos en béton, de 50 m³ et 100 m³, équipés d'extracteurs vibrants et de transporteurs navette surélevés, pour le déchargement de la castine et son transfert vers une zone de stockage à ciel ouvert. Dans cette zone, des silos accompagnés d'un convoyeur à godets métalliques, d'un poste de criblage et d'un extracteur oscillant assurent le transport et le stockage de la castine avant qu'elle n'alimente les fours. La chaux calcinée est ensuite acheminée vers les cribles et silos de stockage, puis transportée vers l'ACO1 et l'ACO2 ou expédiée par camion.

Les fines de chaux sont envoyées à une installation de broyage située au nord des silos, produisant des granulés de moins de 2 mm destinés aux fours électriques. Ce système comprend également des unités de dépoussiérage et un séparateur magnétique pour éliminer les débris de ferraille. Enfin, les poussières générées par l'usine à chaux sont collectées dans trois bâtiments distincts, bien que ce système soit actuellement hors service

III.1.3.1 Localisation

Elle est située au centre du complexe de sidérurgique,

Tableau III.5 : localisation Fours à chaux (USAC) du complexe Sider

Nord : Aciérie n°1	Sud : Ateliers et faisceau Est
Est : Aciérie N°2	Ouest : PMA et HFx

III.1.3.2 Installation d'extinction

La chaux calcinée provenant des fours y est broyée, hydratée, séchée et ensachée. Les équipements comprennent un transporteur, une trémie enterrée, un silo, un broyeur, une unité d'extinction trois étages, un séparateur pneumatique, un silo calorifugé et une unité d'ensachage.

III.1.4 Les Aciéries (ACO-1-2)

Le procédé d'oxygénation de base utilisé pour la fabrication de l'acier consiste à convertir le fer issu des hauts fourneaux en acier par l'injection d'oxygène à l'état pur dans le bain de fer liquide. Cette opération permet d'extraire le carbone, le silicium et d'autres éléments indésirables. La conversion se réalise dans un convertisseur doublé de matériaux réfractaires.

Dans les aciéries, la fonte provenant des hauts fourneaux est affinée par insufflation d'oxygène pour produire de l'acier brut. Ce procédé inclut également l'utilisation de ferrailles soigneusement sélectionnées. L'affinage comprend des traitements métallurgiques secondaires, comme le traitement sous vide de l'acier liquide, permettant un réglage précis de l'alliage en fonction des propriétés mécaniques recherchées. Cette précision est essentielle pour l'adapter aux opérations de laminage qui suivent, garantissant ainsi la qualité des produits finaux. Les principaux produits finaux des aciéries sont constitués de brames coulées en continu, atteignant une épaisseur maximale de 290 mm

III.1.4.1 Localisation

Tableau III.6 : localisation des Aciéries à oxygène 1-2 du complexe Sider

Direction	Aciérie à oxygène N°1	Aciérie à oxygène N°2
Nord	Le laminoir à chaud	Le laminoir à froid
Sud	L'aciérie à oxygène N°2	Faisceau ferroviaire
Est	Les hauts fourneaux	Agglomération
Ouest	La Tuberie et le parc à fer	Magasins généraux

III.1.4.2 Station de déversement de la fonte brute

La fonte des hauts fourneaux est amenée sous forme liquide dans des poches tonneaux. Après avoir été versée dans les poches de chargement de l'aciérie d'une capacité de 300 t, elle est soumise à un traitement de désulfuration en fonction des exigences de l'analyse de destination de l'acier. L'insufflation d'un agent de désulfuration lie le soufre contenu dans la fonte en donnant un laitier, ce qui permet alors de l'éliminer.

III.1.4.3 Convertisseurs à soufflage d'oxygène

Les deux aciéries fonctionnent avec le même principe, elles diffèrent par leur capacité, l'ACO1 est doté de trois convertisseurs de 90 tonnes chacun et l'ACO2 est équipé de trois convertisseurs de 60 tonnes chacun.

III.1.4.4 Soufflage de l'oxygène

La fonte est affinée par insufflation d'oxygène dans les convertisseurs, ce qui permet de brûler les constituants indésirables tels que le carbone, le silicium etc. Le résultat de cette conversion est la transformation de la fonte en acier brut. Pour abaisser la température inhérente au procédé,

Ils ajoutent environ 25 % de ferrailles. Les riblons d'acier, notamment, trouvent ainsi une nouvelle utilisation économique. Pour la déphosphoration dans le convertisseur, ils utilisent de la chaux éteinte. Les scories récupérées lors de la conversion peuvent être utilisées pour diverses applications. Au niveau de l'ACO1, l'acier est complètement élaboré dans le convertisseur et il est évacué dans des poches aciers vers les machines à coulée radiale et vers l'aciérie électrique qui travaille en duplex, tandis au niveau de l'ACO2 Pendant la conversion, il se produit déjà un alliage sommaire de l'acier qu'il sera évacué par poche acier vers la zone de traitement.

III.1.4.5 Traitement en poche uniquement au niveau de l'aciérie N°2

L'affinage de l'acier se fait dans une installation de dégazage à réservoir sous vide, via un décarburage intensif, un rinçage homogénéisant et un alliage fin de l'acier. Sur le plan métallurgique, ce traitement permet d'obtenir les plus basses teneurs en soufre, d'éliminer l'hydrogène, de réduire et/ou d'allier l'azote, de réduire au minimum les teneurs en carbone, d'obtenir un excellent degré de pureté non métallique ainsi qu'un réglage précis de la température du bain pour optimiser le processus de coulée qui suit.

III.1.4.6 Coulée continue

L'alimentation des laminoirs est assurée par les machines de coulée en continue. L'aciérie N°1 coule une partie de sa production dans les machines à couler continues et produisent des brames pour alimenter le laminoir à chaud. L'aciérie N°2 coule la totalité de sa production dans les machines de coulée radiales comportant chacune deux lignes pour produire des billettes. Le passage à l'horizontale ne se fait qu'après solidification complète. Puis les barres sont coupées aux longueurs données.

- Le format des billettes sont des carrés de 200 par 12 000mm.
- Le format des brames est de largeur de 1200 à 1500 mm épaisseur de 200 à 220 et longueur jusqu'à 12000mm.

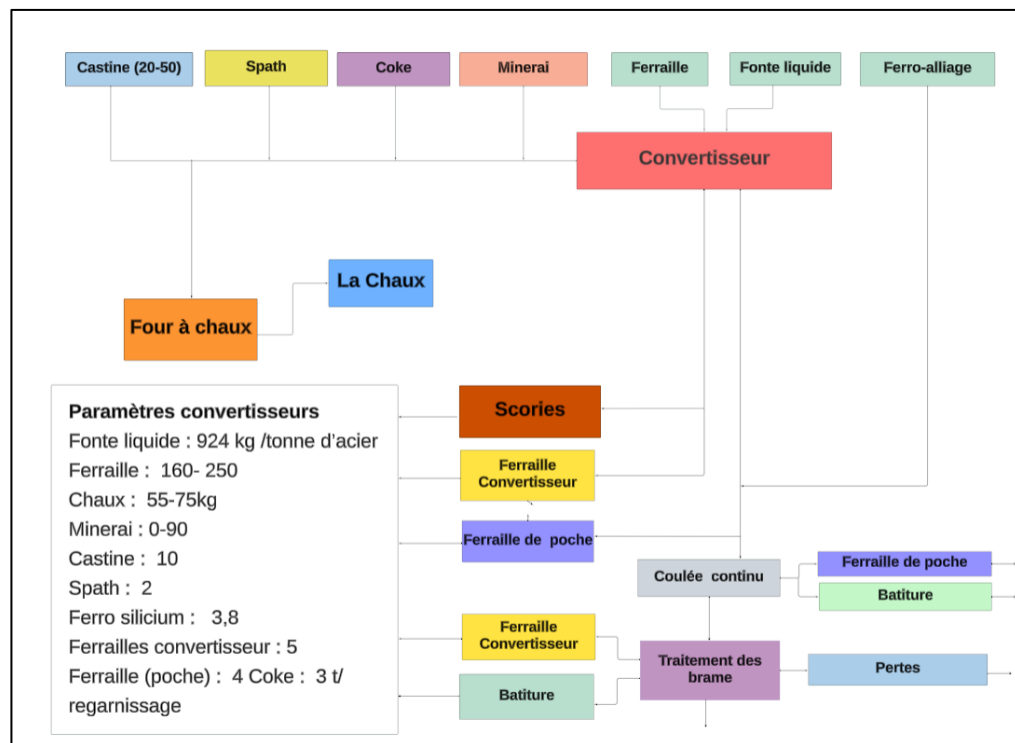
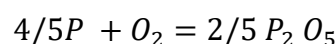
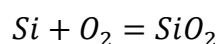
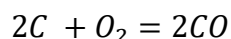
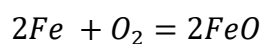
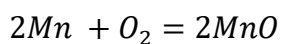


Figure III.5 : Schéma de processus de fabrication

L'ordre dans lequel s'effectue l'oxydation chimique des éléments chimiques pendant le déroulement du processus d'élaboration dépend des paramètres suivants :

- Affinité de l'oxygène pour les éléments à éliminer, cette affinité est mesurée par la variation de l'enthalpie libre $DG^{\circ}T$ de formation des oxydes à partir d'une mole d' O_2 .
- Réaction





III.1.4.7 Système d'épuration des gaz et dépoussiérage pendant le versement de la fonte

Les gaz et poussières générés durant le transvasement et la désulfuration sont captés au niveau de chaque poste de transvasement par des gaines d'extraction conduisant à un collecteur commun qui transporte les gaz chargés de poussières à une installation de filtre à sacs disposés en 3 rangées de cellules. Chaque gaine d'extraction peut être isolée par un registre.

Les filtres sont nettoyés par inversion du courant d'air. Les poussières sont évacuées par trois transporteurs vis en alimentant un quatrième qui se déverse dans un silo central.

Chaque poste de transvasement est équipé de moyens permettant de désulfurer la fonte liquide par addition de carbonate de sodium anhydre.

III.1.4.8 Epuration des gaz

Le système de refroidissement et de traitement des gaz sera du type combustion partielle "OG", qui présente l'avantage de ne dégager qu'un faible volume de gaz lors du fonctionnement du converti.

Pour chaque convertisseur le système comprend une Jupe, une hotte, une cheminée de refroidissement des gaz, une soupape de sécurité, des dépoussiéreurs, des venturis, un ventilateur tirage forcé et une torche. Il existe en outre trois circuits d'eau indépendants, le circuit principal de refroidissement, un circuit de refroidissement divers et un circuit d'eau de dépoussiérage comportant l'équipement nécessaire pour refroidir et recycler l'eau et éliminer les boues.

Les fumées diffuses qui se dégagent durant le soufflage d'oxygène, le CO principalement, sont aspirées par la hotte et indirectement refroidies par la hotte et la cheminée de refroidissement. Le circuit d'eau de dépoussiérage est chargé du refroidissement direct, et les poussières sont éliminées en deux stades par l'équipement de dépoussiérage des gaz.

Le gaz épuré est rejeté dans l'atmosphère par le ventilateur, via la conduite de gaz et la torchère.

Les fumées qui se dégagent de la gueule d'enfournement pendant le convertisseur du convertisseur lorsque la jupe est relevée avant l'allumage, durant le soufflage à l'oxygène et la coulée, sont aspirées par le système de ventilation secondaire. Celui-ci comprend une hotte et une conduite pour chaque convertisseur, un registre d'admission d'air de dissolution, un ventilateur d'extraction et une salle de filtres sac, la poussière amenée dans les trémies des filtres à sac est transférée au moyen d'un transporteur à vis d'Archimède vers une trémie de déchargement.

III.1.5 Laminoir A Chaud (LAC)

Les brames produites par l'aciérie à oxygène sont transportées par wagon et stockées dans les halls du laminoir à chaud, en attente de programmation. Le laminage à chaud, procédé de déformation à haute température, adoucit le matériau, améliorant sa capacité de déformation par rapport à la déformation à froid. À ces températures, la limite d'élasticité est fortement réduite. Ce procédé permet une production annuelle allant jusqu'à 1 000 000 tonnes, sous forme de bobines et de tôles fortes destinées au LAF ou au commerce.

Dans la halle de stockage, un pont roulant empile les brames sur un convoyeur à longerons mobiles, qui les achemine vers le pont d'épileur. Celui-ci prélève les brames une à une pour les positionner sur un banc de rouleaux, devant le four en service, où débute le processus de laminage.

III.1.5.1 Localisation

Tableau III.7 : localisation Laminoir A Chaud (LAC) du complexe Sider

Nord : la centrale oxygène et le poste 60KV	Sud: ACO 1
Est : le laminage à froid	Ouest: HF1

III.1.5.2 Enfournement des brames dans les fours

Chaque four est doté d'une pousseuse de brames, de sa position d'attente, elle est amenée contre les brames rangées les unes contre les autres pour les placer en position d'enfournement. Les brames sont introduites par la pousseuse une par une en fonction de la cadence de production dans le four.

III.1.5.3 Chauffe des brames

La chauffe des brames dans le four sera calculée de façon dynamique par un modèle qui tient compte de la cinétique de l'oxydation et la décarburation.

Dans le four, la répartition de température sur les parois est régulée par un système de régulation en température des zones. Cette régulation peut être représentée par une courbe température - distance (sur la longueur totale du four) en cas d'écart entre les zones supérieures et inférieures. Le cycle de défournement commence par ouverture suffisante de la porte du four pour permettre l'introduction des doigts de la défourneuse dans le four (toujours une position fixe) ; ensuite, lorsque la porte est complètement ouverte la brame à défournée est soulevée (toujours position fixe).

Une fois atteinte la fin de course de levée, la défourneuse amène la brame vers le banc de rouleau. Ce banc peut transporter les brames vers la cage brise oxyde où reprendre les brames non destinées au laminage- les brames à étriquer ou trop froides- et les positionner en vue de leur retrait par dispositif d'évacuation.

III.1.5.3.1 Zone Quarto

La Laveuse à brames elle est destinée à éliminer la calamine primaire à l'aide d'un jet d'eau de pression de 140 bars, composé de 02 rampes supérieurs et 02 rampes inférieure dont chaque rampe est composée de 16 gicleurs sous un angle de 17° dans le sens inverse de déplacement de la brame.

La brise oxyde elle sert à briser la calamine et permettant ainsi de réduire (largeur ≈ 50 mm max et épaisseur $\approx 12\%$) des brames en une seule passe, elle est composée de 02 cages (vertical et horizontal) et une décalamineuse d'un jet d'eau de 140 bars qui sert à écarter la calamine brisée.

Le train dégrossisseur sert à réduire l'épaisseur et largeur de la brame pour en faire une ébauche d'environ 25-40mm, qui sera ensuite laminé dans le train finisseur.

III.1.5.3.2 Zone Finisseuses

La cisaille volante elle sert Le laminage des brames dans le dégrossisseur provoque une élongation en forme de queue de poisson de la tête et de la queue de l'ébauche. Ces extrémités doivent être coupées avant le laminage dans le finisseur. Les chutes résultant de l'éboutage sont évacuées par l'intermédiaire d'une goulotte et tombent dans une benne.

Le décalaminage sert à enlever la couche d'oxyde qui se forme sur l'acier au-delà de 560°C. La décalamineuse travaille avec deux rampes de gicleurs de chaque côté, projetant l'eau à une pression de l'ordre de 140 bars pour une bonne amélioration de la surface de l'ébauche et l'augmentation de la durée de vie des cylindres de travail.

Le train finisseur se compose de 06 cages qui réduisent l'épaisseur selon un taux de réduction décroissant de l'ébauche de la cage F1÷F6, les cages sont équipées de 4 cylindres (2 cylindres d'appui et 02 cylindres de travail) placées aussi proches que possibles les unes des autres.

La bande est refroidie d'environ de 840-900°C à 500-700°C en fonction de la nuance d'acier et du traitement ultérieur de la bande à chaud. Ce refroidissement a pour but de diminuer la température de la bande, lui fixer une structure normalisée à grains fins. De plus pour empêcher l'oxydation de la bande durant son évacuation vers bobineuses.

Les cylindres de travail constituent les outils du procédé de laminage et doivent donc être traités avec un soin particulier. Les contraintes thermiques doivent être compensées par refroidissement pour éviter les criques dues à la chaleur. Ces criques dues aux chocs thermiques causeraient des défauts de surface sur la bande. La sensibilité aux criques dépend de la longueur du contact.

La dernière étape dans le procédé de laminage à chaud est la mise en bobine. La bande est guidée par des guides latéraux et par un rouleau pinceur vers le mandrin de la bobineuse, où elle est prise par les rouleaux enveloppeurs et appliquée légèrement sur le mandrin. Un élévateur incorporé dans le chariot extracteur est soulevé jusqu'au contact de la bobine et suit la contraction du mandrin et le transport de la bobine jusqu'au culbuteur bobines. Ce dernier à la fonction de culbuter de 90° la bobine et de la déposer sur un chariot qui la transporte jusqu'à l'élévateur du convoyeur.

III.1.6 Laminoir à froid « LAF »

Le laminoir à froid (LAF) suit le laminage à chaud (LAC) et réduit l'épaisseur des tôles tout en respectant les normes dimensionnelles, l'aspect de surface et les caractéristiques mécaniques du métal. Il permet également de produire des tôles étamées, galvanisées et nervurées (TN40). Les tôles noires, sous forme de bobines issues du LAC, sont transformées via différentes lignes de production pour obtenir des produits semi-finis ou finis, tels que :

- Tôles noires et galvanisées en bobines ou en feuilles.

- Tôles étamées en feuilles.
- Tôles nervurées (TN40) en feuilles.

Ces produits répondent à des usages spécifiques :

- Les tôles noires galvanisées sont utilisées dans la construction métallique et l'électroménager.
- Les tôles étamées servent à l'emballage alimentaire.
- Les tôles nervurées (TN40) sont destinées à la construction de hangars.

Le laminoir à froid (LAF) joue un rôle clé en soutenant les industries moyennes et petites grâce à ses lignes de production spécialisées, conçues pour répondre à des besoins spécifiques de fabrication et de transformation.

- Une ligne de décapage.
- Une ligne Tandem à 5 cages.
- Une ligne de dégraissage électrolytique.
- Deux laminoirs "skin pass".
- Une batterie de fours de recuit.
- Une salle de pompes pour le système de refroidissement de l'ensemble des installations.

III.1.6.1 Localisation

Tableau III.8 : localisation laminoir à froid (LAF) du complexe Sider

Nord : Zone fluide	Sud : L'aciérie à oxygène N°1 (AC01)
Est : ALFATUS	Ouest : Central A Oxygène (COX)

III.1.6.2 Description des fours de recuits

Après le laminage à froid, le métal écroui est soumis à un traitement thermique dans des fours à cloche mobiles pour restaurer ses propriétés mécaniques, en particulier sa formabilité. Ces fours se composent de trois éléments principaux : une base, une coiffe de protection et une cloche chauffante. Le cycle de recuit comprend plusieurs étapes : changement ou déchargement de la base, chauffe (base, coiffe de protection et four), refroidissement (base, coiffe de protection et coiffe de refroidissement), suivi d'un second refroidissement.

Les fours comportent des cloches équipées de brûleurs situés à différentes hauteurs, permettant un chauffage uniforme. Les fumées dégagées sont utilisées pour préchauffer l'air frais entrant dans le four, un processus appelé préchauffage de l'air. Les brûleurs sont disposés tangentiellement pour éviter que la flamme n'endommage le capuchon protecteur.

III.1.6.3 Principe de fonctionnement

Le recuit en pile reste la méthode la plus courante et la plus simple. C'est pourquoi une grande partie des bobines laminées à froid est encore recuite dans des fours normaux, malgré l'évolution vers le procédé de recuit en passage continu. La raison de l'utilisation généralisée du procédé de recuit en pile est la suivante : il est possible d'adapter les exigences du processus de recuit à une large gamme de qualités, offrant ainsi une grande flexibilité pour effectuer différents types de recuit dans les mêmes fours. Les fours à cloche sont alimentés en bobines laminées à froid par la cage tondeuse ou la cage réversible. Ces bobines sont préalablement dégraissées, puis retournées à l'aide d'un basculeur

Le recuit des aciers laminés à froid permet d'obtenir l'amélioration des caractéristiques suivantes :

- Amélioration des propriétés mécaniques
- Augmentation de la ductilité (due en particulier à la reconstitution de la structure granulaire normale, disposition de l'état écroui après laminage à froid.
- Égalisation de la composition chimique dans toute la bande
- Élimination des tensions internes.

III.1.6.3.1 Reconstitution de la microstructure déformée par le laminage à froid :

Chaque acier peut être recuit au-dessus de son point de recristallisation par réchauffement. Entre (710 °C et 910 °C) la teneur en carbone et le nombre de façonnages à froid n'influencent pas les résultats finaux. Il est possible d'obtenir une structure finale parfaite recuit, ceci quelle que soit la teneur en carbone, plus la teneur est élevée plus la température de recuit est basse par le procédé de recuit, on détruit les effets des façonnages à froid antérieurs, car il se forme un nouveau grain qui a une forme normale (alors que les grains du métal écroui sont écrasés allongés). Toutefois, il est nécessaire de procéder à un refroidissement lent, parce que les aciers à haute teneur en carbone risquent d'être trempés par un refroidissement trop rapide. En outre, les aciers à faible teneur en

carbone peuvent subir un grossissement exagéré des grains lors d'un séjour trop prolongé à la température de recuit.

Pour l'acier, il y a donc deux méthodes de recuit ; l'une est le recuit à haute température, suivi d'un refroidissement lent, l'autre est le recuit à basse température qui s'effectue à une température inférieure à AC1 (721°C) et on l'appelle recuit de recristallisation.

Le niveau de la température du recuit de recristallisation dépend du taux de réduction des déformations antérieures (laminage à froid). Et cette température est d'autant plus basse que le taux de déformation est plus important.

III.1.6.3.2 Procédé

Le recuit des bobines serrées s'effectue sur des basses comportant un dispositif de circulation destiné à accélérer les échanges thermiques. La charge se compose de bobine superposée qui constituent les piles (5 bobines de largeur max de 900mm par pile).

Chaque pile est coiffée d'une cloche étendue par joint torique au sable (coiffe de protection en acier spécial d'une teneur de 20 % de Cr et 12 % de Ni) sous laquelle on envoie un gaz de protection (gaz HNX95 % N, 5% H₂), afin d'éviter toute oxydation du métal et tout dépôt de carbone sur la tôle pendant l'opération.

Un four à cloche, venant coiffer l'ensemble assure le chauffage de la charge à une température voisine de 700 C⁰

- Poids d'un four 22.5t
- 12 brûleurs disposés tangentiellement à la cloche et répartis-en 2 étages
- Combustible : gaz naturel (pré mélange d'air et gaz circulant à grande vitesse).

Après une durée de maintien qui dépend du métal à recuire et des caractéristiques à obtenir, on enlève la cloche chauffante et la charge se refroidit par rayonnement de sa coiffe de protection, ensuite par circulation d'air forcé (extra- cool), autour de cette coiffe de protection à l'aide d'une coiffe de refroidissement. Le procédé permet de refroidir les charges de 700c^o à la température de décaissage (en général déterminée par le risque d'oxydation des bobines chaudes).

Le refroidissement extra cool utilise des échangeurs de chaleur et des ventilateurs extérieurs. Ils sont isolé des gaz chauds pendant le chauffage, au cours du refroidissement une partie du gaz (HNX) est déviée à travers le système externe, il est envoyé dans un échangeur grâce à la ventilation (ventilateur) et ensuite est réintroduit refroidie dans la base.

Tous les gains et tous les dispositifs sont parfaitement étendus aux infiltrations d'air, car ce sont les principaux risques pour la qualité du produit

Après refroidissement extra-cool, un second refroidissement est utilisé. On retire les bobines des bases pour les mettre sur une installation de ventilation, accélérant ainsi le temps de refroidissement nécessaire entre la température de décrochage et la température au SKIN.PASS.

III.1.6.3.3 Caractéristiques de four de recuit :

Le four de recuit est un élément essentiel dans le processus de production sidérurgique. Voici quelques caractéristiques spécifiques de ce type de four :

- **Nombre de bases** : Le four dispose de 63 bases. Cela indique la capacité du four à traiter plusieurs charges en même temps, ce qui peut augmenter l'efficacité de la production.
- **Nombre de fours** : Il y a 31 fours en total. Cela pourrait signifier que l'installation a la capacité de traiter une grande quantité de matière première.
- **Combustible et consommation** : Le four utilise du gaz naturel comme combustible, avec une consommation de 915 fgf. Cela indique que l'installation est conçue pour être économe en énergie tout en maintenant une production efficace.
- **Diamètre extérieur de refroidissement de la pile** : Le diamètre extérieur de refroidissement de la pile est de 1880 mm. Cela donne une idée de la taille de la charge que le four peut traiter.
- **Diamètre inférieur de la bobine** : Le diamètre inférieur de la bobine varie entre 508 et 610 mm. Cela pourrait indiquer la taille des produits finis que le four est capable de produire.
- **Température de recuit** : La température de recuit est de l'ordre de 720°C. Cette température est essentielle pour assurer le bon déroulement du processus de recuit, qui vise à améliorer les propriétés mécaniques du métal.

Ces caractéristiques montrent que le four de recuit est conçu pour une production à grande échelle, tout en étant économe en énergie. Il est capable de produire une gamme de tailles de produits, ce qui lui confère une grande flexibilité dans le processus de production.

III.1.6.3.4 Base de recuit

Ceux-ci supportent les matériaux à recuire et comporte une arrivée et une sortie de gaz de protection HNX, les éléments de thermorégulation et au centre un ventilateur entraîné par un moteur asynchrone à cage (moteur de base).

- Le poids des bobines est supporté par la charpente métallique de four.
- Les espaces vides entre les charpentes sont garnis de briques réfractaires.

La base supporte la plaque de base qui est sillonnée par des rainures en forme spirale. Le gaz de protection qui arrive au centre du plateau passe à travers ces rainures pour aller vers l'extérieur. Le gaz de protection passe dans le milieu de bobine et ressort à travers cette ouverture en spirale pratiquée dans la plaque conductrice de la chaleur. Ces plaques assurent une circulation correcte du gaz de protection et augmentent la vitesse de chauffage.

III.1.6.3.5 Coiffe de protection

Le capuchon qui coiffe l'empilement de bobines est fabriqué en acier réfracteur au nickel. Chrome. Sans ce capuchon, circule le gaz de protection.

III.1.6.3.6 Coiffe de refroidissement

Quand les périodes de chauffage et de maintien sont terminées le matériau va être refroidi sous atmosphère protection avec circulation d'air à l'extérieur du capuchon de refroidissement et le capuchon protecteur sera créé par un ventilateur situé au sommet de ce capuchon.

III.1.7 Laminoir Fil et Rond (LFR)

- Produit fabriqué : fil et rond à béton, Fil de : Ø 5,5 à 13 mm, Rond à béton : Ø12 à 25 mm
- Matière première : billettes 115x115x 12 000 mm ACO2
- Capacité de production : 600 000 t/an

III.1.7.1 Localisation :

Tableau III.9 : localisation Laminoir Fil et Rond (LFR) du complexe Sider

Nord : Tuberie sans soudure	Sud : faisceau ferroviaire
Est : Laminoir Rond à béton	Ouest : Aciérie électrique

Le Laminoir Fil et Rond est installé sur une surface de 153 800 m² dont 60 600 m² couverte et son Procédé de fabrication est généralement le suivant :

III.1.7.2 Four de Chauffe

La cadence de production nominale du four est de 150 t/h, il est doté d'une table de chargement et table à rouleaux de déchargement.

Le four est équipé d'une zone de récupération, ou les billettes sont préchauffées avec la chaleur sensible des gaz de combustion venant des zones de réchauffage. De cette façon, le préchauffage des billettes est très doux et uniforme et la température des gaz brûlés à la sortie du four est très basse, avec une épargne de combustible.

III.1.7.3 Train de laminage

Les cages de laminage sont prévues pour laminée quatre (4) billettes simultanément rigides avec un entretien facile.

Les cages de laminage fonctionnent séparément, elles sont équipées de moteurs à vitesse variable et on peut contrôler la tension intercage de la barre, dans des limites acceptables.

III.1.7.4 Zone de bobinage gros fil

Une bobineuse est installée sur chaque veine pour enrouler le gros fil sortant des cages intermédiaires de laminage.

Les rouleaux de gros fils sont transportés par un convoyeur aérien à chaîne vers le parc de stockage durant le temps son transport il est refroidi à l'air. Les rouleaux seront repris dans le parachèvement pour les opérations de dressage, torsadage et la mise en longueur ou soit commercialisé en l'état.

III.1.7.5 Zone bobinage petit fil

À la sortie du laminage des blocs de finition le fil est pris une machine pour l'enrouler en forme de spires pour déposer sur un tapis métallique qui l'amènera vers un accumulateur pour être pressée sous forme couronne à l'aide d'un tourniquet les couronnes sont transportées vers le lieu de stockage.

III.1.7.6 Stockage des produits finis

Les bobines grosses fil ou petit fil sont stockées dans une halle parallèle à la halle de laminage où sont les dresseuses et les torsadeuses. La manutention des couronnes, des bobines dans la halle de stockage se fait par des ponts roulants.

III.1.7.7 Enlèvement de la calamine

La calamine tombe dans les jonctions entre les longerons amovibles et les longerons fixes, elle est ramassée dans des cuves.

III.1.8 Laminoir Rond A Béton (LRB)

- Produit fabriqué : Rond à Béton
- Capacité de production : 466 600 t/an

III.1.8.1 Localisation :

Tableau III.10 : localisation Laminoir Rond A Béton (LRB) du complexe Sider

Nord : LCR	Est : AMM
Sud : ATC	Ouest : LFR

Le Laminoir Rond A Béton (LRB) du complexe Sider son Procédé de fabrication est généralement le suivant :

III.1.8.2 Four de Chauffe :

La cadence de production nominale du four est de 80 t/h, il est doté d'une table de chargement et table à rouleaux de déchargement.

Le four est équipé d'une zone de récupération, où les billettes sont préchauffées avec la chaleur sensible des gaz de combustion venant des zones de réchauffage. De cette façon, le préchauffage des billettes est très doux et uniforme et la température des gaz brûlés à la sortie du four est très basse, avec une épargne de combustible.

Entre les zones de préchauffage et celles de réchauffage un écran de séparation est installé afin de limiter le pliage des billettes et les pertes d'écaillés, en évitant la radiation des zones à températures élevées.

Les têtes des longerons mobiles aux soles de défournement, sont refroidies par l'eau au moyen d'un circuit approprié.

III.1.8.3 Train de laminage

Les cages de laminage font partie de la série "Red Ring », elles sont rigides avec un entretien facile.

III.1.8.4 Système de trempe des barres nervures

Le système de trempe VAI POMINI (P.Q.S.) est installé entre la dernière cage du laminoir finisseur et la plaque de refroidissement.

Le système de trempe P.Q.S. garantit une limite d'élasticité élevée et permet d'obtenir de l'acier soudable à béton armé avec des billettes de départ peu coûteuses.

III.1.8.5 Plaque de refroidissement

Après, la mise à la longueur commerciale par la cisaille volante et elles sont envoyées au refroidisseur sur une table à rouleaux équipées de parties mobiles ascendantes.

Dans la première partie, la plaque de refroidissement comprend une série de grilles façonnées (chaque grille de 400 mm de longueur) pour tenir la barre droite.

On a prévu une série de râteaux fixes et mobiles afin d'assembler et de refroidir la barre venant de la cisaille à tronçonner.

Les queues courtes ne sont pas envoyées à la plaque de refroidissement mais au système d'accumulation des queues courtes, qui se trouve à côté de la table à rouleaux de chargement de la plaque.

III.1.8.6 Zone de manutention et de formation des faisceaux.

Une machine à dresser est installée sur la ligne avec une cisaille volante à froid du type marche/arrêt dresse les barres et les coupe en longueur commerciale.

Un système de formation des faisceaux entièrement automatique pour (l'accumulation des barres ou bien pour l'empilage des profils) de façon à former des paquets ou faisceaux.

Les paquets ou faisceaux sont ficelés par des machines hydrauliques et puis sont transférés à la zone d'accumulation, ou ils seront étiquetés et stockés temporairement.

III.1.8.7 Stockage des produits finis

Les barres finies sont placées dans une halle parallèle à la halle de laminage. Le stockage se fait par des grues convenablement équipées.

III.1.8.8 Mise en longueur des barres

La cisaille volante froide à bielle est un produit unique et elle est faite pour couper en longueurs commerciales les couches des barres froides venant de la plaque de refroidissement.

III.2 Présentation de La PMA

La division PMA (Préparation des Matières et Agglomérations), illustrée dans la Figure III.6, est mise en service depuis l'essor de l'usine et constitue le pilier fort de la direction de la MPF (Matières Premières et fonte). Elle est chargée de la manutention et du traitement des matières destinées à l'alimentation des deux hauts fourneaux pour la fabrication de la fonte. L'ensemble des installations regroupées dans cette division comprend :

III.2.1 Le secteur Coke et additions

Il réceptionne, stocke, traite et achemine les combustibles et les additions nécessaires au fonctionnement des hauts fourneaux et des agglomérations.

III.2.2 Le secteur Minerais

Le rôle est identique au précédent en ce qui concerne le minerai acheminé par wagons des mines de Boukhadra et d'Ouenza à la station de déchargement.

III.2.3 Le secteur agglomération

IL comprend deux unités :

L'agglomération N°1 mise en service en juin 1969 réformé en 2018 et de l'agglomération N°2 mises en service en mai 1980 et d'une capacité de 8250 t/j.

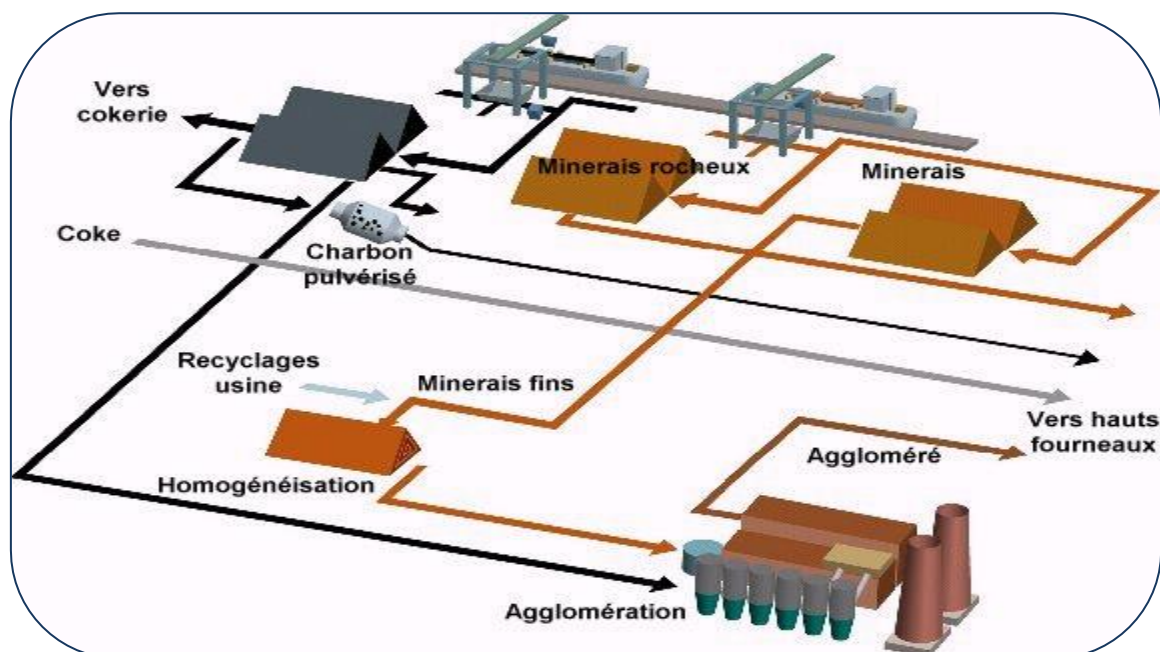


Figure III.6 : Les Secteurs d'activités de l'unité PMA (document interne de l'entreprise)

III.3 Processus de fabrication de l'unité d'agglomération AGII- PMA

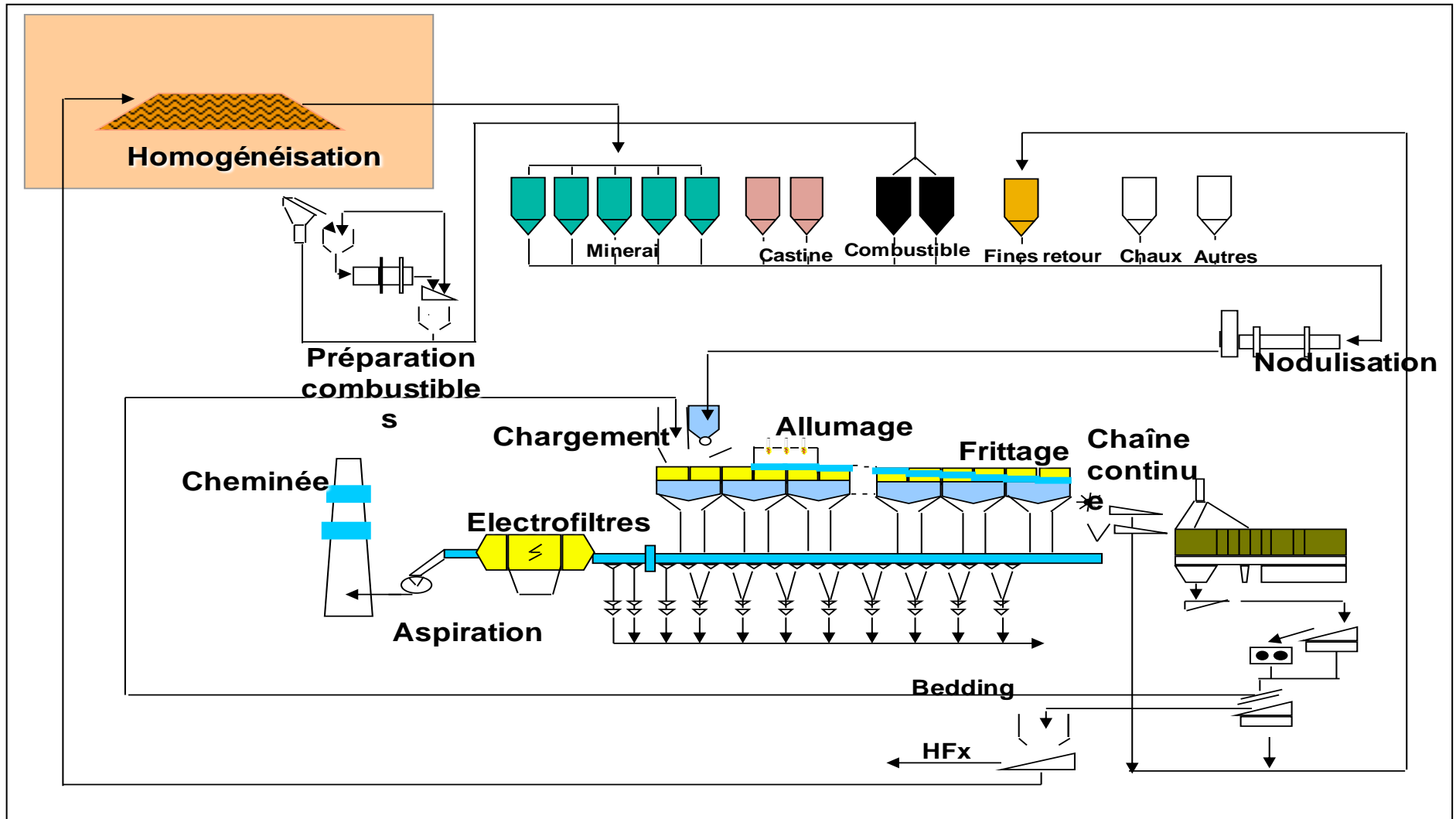


Figure III.7 : Processus de Fabrication de l'unité d'agglomération AGII (document interne de l'entreprise)

La Figure III.7 illustre le processus de fabrication de l'unité d'agglomération AGII. Ce processus est basé sur le flux du processus d'homogénéisation du minerai et la préparation du combustible jusqu'au chargement des chariots de l'agglomération.

Les chariots passent sous les brûleurs à gaz jusqu'au système d'aspiration, représentant l'emplacement des électrofiltres ainsi que les cheminées de l'agglomération n°2.

Cela semble être une étape très importante dans le processus de production, où le minerai homogène et mélangé avec d'autres additions est transformé en un produit plus uniforme et utilisable. Les électrofiltres jouent un rôle important dans la filtration et la purification de l'air, contribuant ainsi à un environnement de travail plus sûr et plus propre.

Il serait intéressant de noter comment ce processus est optimisé pour assurer une efficacité maximale et minimiser les pertes de matières premières ou d'énergie. De plus, les mesures de sécurité et les protocoles environnementaux en place lors de cette étape seraient également des points importants à considérer.

En somme, cette figure donne un aperçu détaillé et technique du processus d'agglomération, mettant en lumière les différentes étapes et composants impliqués. C'est un excellent outil pour comprendre comment le minerai est transformé en un produit fini dans cette unité d'agglomération.

III.4 Présentation Schématique des points de rejets

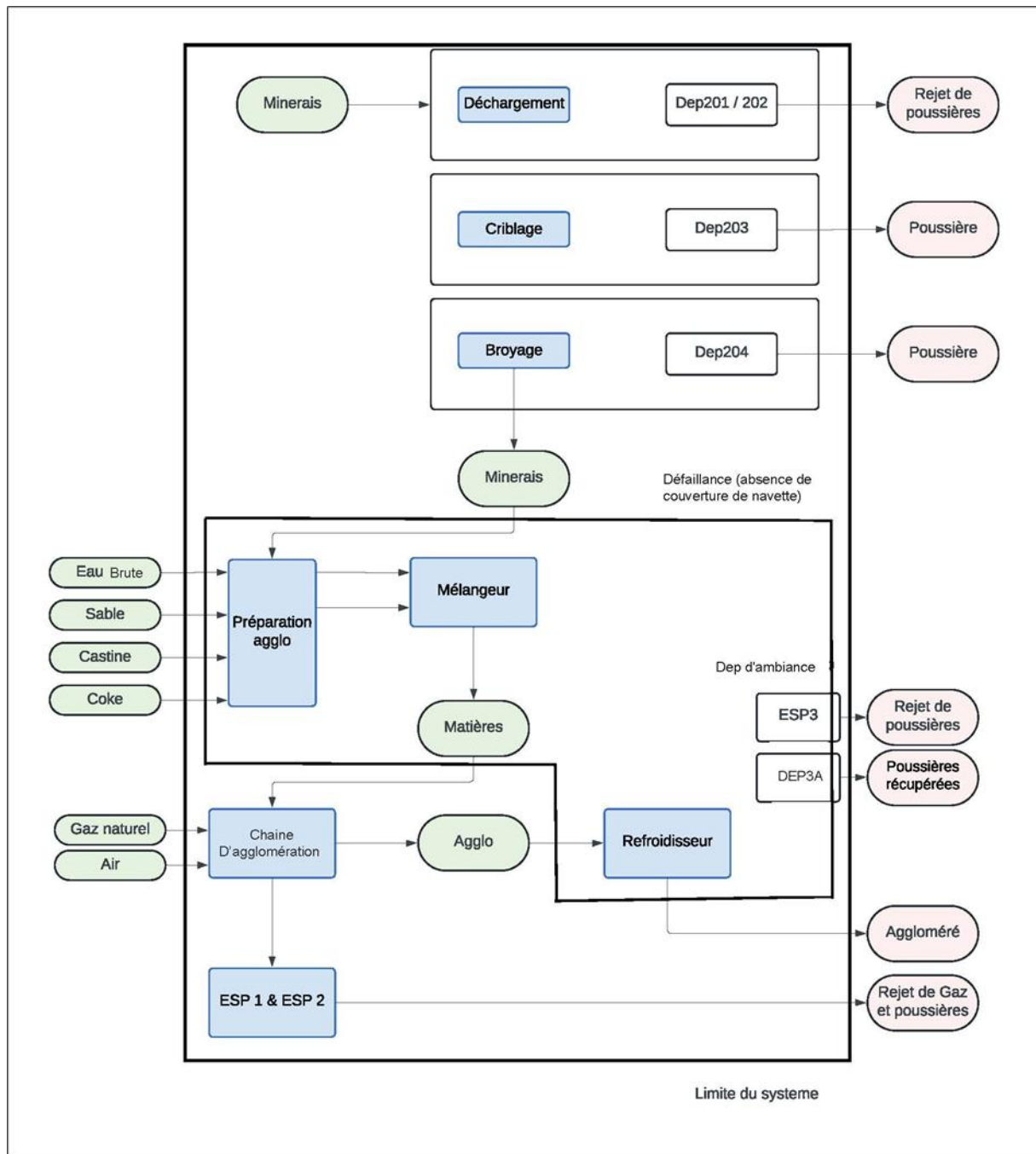


Figure III.8 : Présentation Schématique des points de rejets (document interne de l'entreprise)

La Figure III.8 présente un schéma des points de rejet de poussière, inspiré de l'implantation actuelle des installations de la PMA.

Ce schéma est un outil essentiel pour comprendre comment les poussières sont gérées dans le processus de production. Il met en évidence les points spécifiques où les matériaux sont rejetés, ce qui peut aider à identifier leurs emplacements. Cette figure donne un aperçu précis des points de rejet dans le processus de production, fournissant une compréhension claire des installations de la PMA.

III.5 Les Systèmes de Dépoussiérage

III.5.1 Définitions

Le dépoussiérage industriel consiste à supprimer les émissions de poussières en les captant sur les installations de production et de manutention. D'une manière générale, une installation de dépoussiérage, c'est :

- **La captation**, de préférence au plus près de la source d'émission de manière à éviter la dispersion des polluants, à diminuer le débit global de captation, la surface filtrante, la taille du dépoussiéreur et surtout l'investissement, mais cela reste toujours un compromis avec les utilisateurs.
- **La filtration** avec tout type de dépoussiéreur (cartouches, manches, poches) en fonction des performances attendues (rejets), de l'application, des procédés et des produits traités (granulométrie, explosivité,). En cas de quantité de poussières importantes, une pré-filtration peut être effectuée dans un cyclone ou un pré-séparateur.
- **Le transport des poussières** à une vitesse dans les tuyauteries cohérente avec la valeur des poussières, ni trop faible (dépôt, bouchage), ni trop importante (usure, abrasion).
- **La récupération des poussières** : après filtration et grâce au système de décolmatage automatique, récupération des poussières dans un fût étanche ou un big-bag (après écluse rotative, vis, clapets ...).
- **Le recyclage** : l'air extrait par le système de dépoussiérage peut, dans certains cas, être réintroduit après filtration secondaire, ce qui évite les pertes de calories inutiles.
- **Epuration** : L'épuration des fumées sert à éliminer les polluants de l'air avant qu'ils n'entrent dans l'atmosphère. Cette technique est utilisée principalement dans les centrales électriques et les usines dans le but de fournir de l'air frais et un environnement propre.

III.5.2 Les différents types de dépoussiéreurs

Le traitement des émissions de poussières présente souvent un double intérêt :

Il protège le personnel par un assainissement des lieux de travail, ou limite les impacts sur l'environnement par une épuration des gaz rejetés dans l'atmosphère ;

Il récupère, sous certaines conditions, des poussières qui peuvent présenter une valeur marchande et être valorisées par réutilisation ou par recyclage.

Le traitement peut se faire en utilisant différents matériels :

- **Dépoussiérage mécanique (cyclones, etc....)**
- **Dépoussiérage par lavage (laveurs, etc....)**
- **Dépoussiérage par media filtrant (manches, etc....)**
- **Dépoussiérage électrique**

Le choix d'une technique de dépoussiérage adaptée et efficace dépend de différents facteurs.

- **Les caractéristiques des poussières** (composition granulométrique, masse volumique, forme et surface spécifique, composition chimique, résistivité, vitesse de chute) ;
- **Les caractéristiques des gaz à traiter** (débit, température, composition chimique, point de rosée acide).

III.5.3 Technologie et fonctionnement des dépoussiéreurs de la PMA

Les dépoussiéreurs recommandés pour les secteurs d'activités comme la métallurgie, industrie agro-alimentaire ainsi que les cimenteries, la pétrochimie, industrie de la pâte à papier, industrie du bois sont les suivant :

- **Dépoussiérage par media filtrant (manches, etc....)**
- **Dépoussiérage électrique (électro filtre, etc....)**

III.5.3.1 Les Filtres à manches :

Le filtre à manche, illustré à la Figure III.9 est constitué d'un caisson fermé à sa base par une trémie, dans lequel sont suspendues des manches filtrantes en feutre ou en tissu ouvertes à une extrémité. Les gaz chargés de poussières pénètrent dans la partie basse du caisson et rencontrent un déflecteur qui permet dans un premier temps de séparer les grosses particules de poussières. Ils traversent ensuite les manches de l'extérieur vers l'intérieur. Les poussières sont alors retenues sur la surface extérieure des manches sous forme de couche, appelée « gâteau de filtration ».

Principe de base :

- Séparation à travers une couche filtrante poreuse

Efficacité :

- Recommandé pour les captations de poussières fines (rendement très élevé) ainsi que pour la captation des polluants gazeux (injection d'absorbants).

Avantage :

- Dispositif le mieux adapté aux fines poussières grâce à l'effet « gâteau »
- Possibilité de capter les polluants gazeux par injection de réactifs en amont du filtre

Inconvénient :

- Manches fragiles et parfois chères
- Média filtrants classiques non résistants aux températures élevées (au-delà de 250°)
- Frais d'entretien élevés dus à la présence de pièces d'usure
- Risques d'inflammation et d'explosion dans le cas de poussières combustibles
- Quelques manches percées peuvent remettre en cause les performances du filtre
- Maintenance et surveillance contraignantes

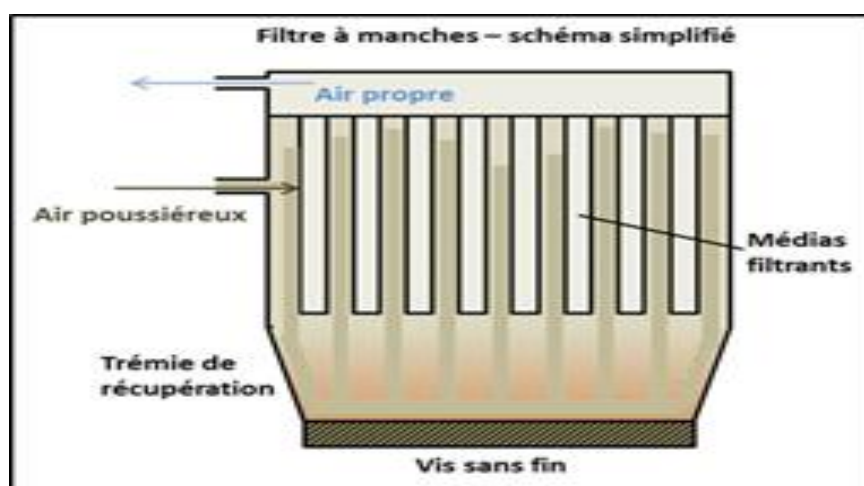


Figure III.9 : Schéma d'un filtre à manche

III.5.3.2 Les Electrofiltres

Le procédé repose sur la précipitation électrostatique, où les poussières, chargées électriquement, sont attirées par des électrodes. L'électrofiltre, illustré par la figure III.10, est composé de plaques réceptrices verticales reliées à la masse et de fils émissifs alimentés en électricité. Le gaz traverse le filtre horizontalement, et le champ électrique, proche des électrodes émissives, crée des électrons qui ionisent les molécules de gaz. Les ions chargent les poussières, qui migrent vers les plaques réceptrices où elles adhèrent, formant une couche. Il existe deux types d'électrofiltres : les humides et les secs.

Principe de base :

- Forces électrostatiques agissant sur les particules chargées.

Efficacité :

- Possibilité de bons rendements pour la captation de poussières fines pour les deux types d'électro filtres, recommandé pour la captation de polluants gazeux : l'électro filtre sec mais pas l'humide.

Avantage :

- Absence de pièces d'usure ou fragiles susceptibles de réduire les performances de l'équipement
- Faibles pertes de charge
- Possibilité de fonctionnement à températures élevées
- Frais d'entretien réduits
- Meilleures éliminations des fines particules
- Absorption simultanée des gaz acides et des métaux lourds gazeux
- Efficacité indépendante de la récessivité des poussières
- Meilleure conductibilité des gaz en ambiance humide
- Surface de captation supérieure
- Adapté aux poussières explosibles et aux gaz inflammables

Inconvénient :

- Risques électriques ;
- Moins adapté pour certains types de poussières ;
- Performances limitées pour capter les poussières très fines ;
- Sensibles aux variations de débit et de teneur en poussières en entrée ;
- Risques d'inflammation et d'explosion suivant les caractéristiques du gaz et poussières ;

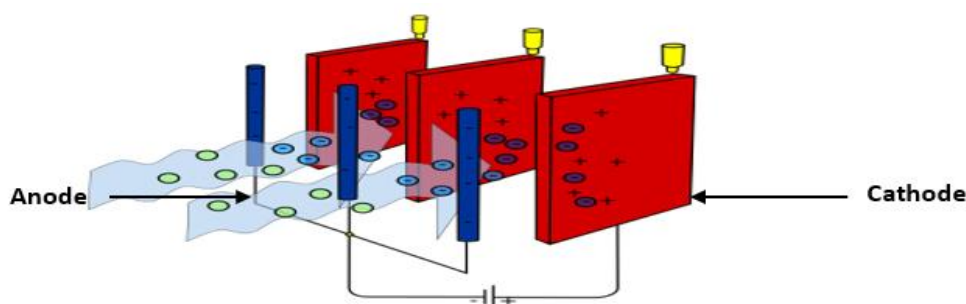


Figure III.10 : Schéma de principe Electro Filtre

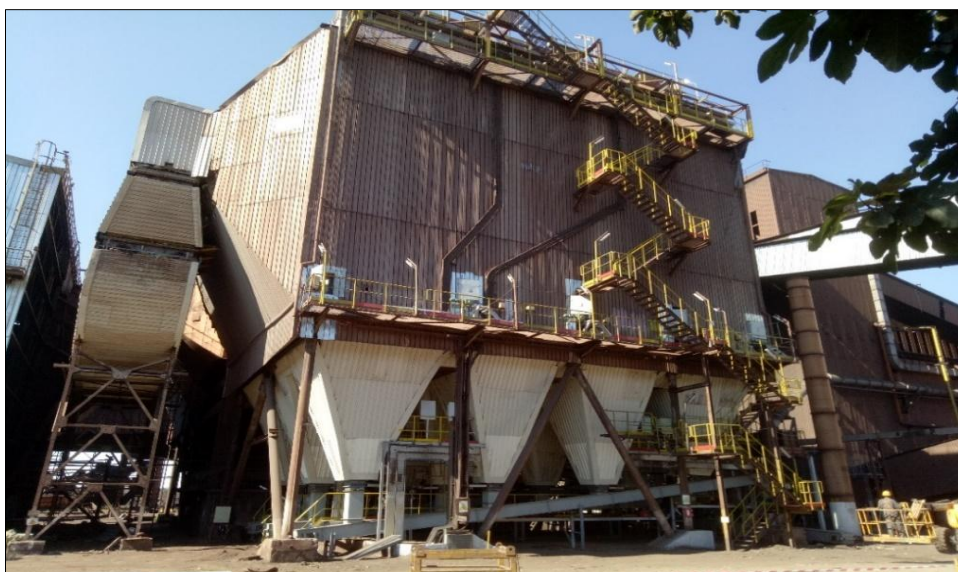


Figure III.11 : Image des électro filtres ESP1 et ESP2

Tableau III.11 : La configuration actuel des électrofiltre ESP1 et ESP2

Caractéristiques générales	Champ 1 & 2	Champ 3 & 4
Nombre de rues	33	26
Nombre de plaques par rangée/champ	8	8
Largeur des rues	400 mm	500 mm
Hauteur de plaques	13,5 m	13,5 m
Largueur des plaques	480 mm	480 mm
Type d'électrodes réceptrices	Sigma	Sigma
Type d'électrodes émissives	Pipe and spike	Pipe and spike
Mécanisme battage plaques	Marteau fouet	Marteau fouet
Mécanisme battage des émissives	Marteau fouet	Marteau fouet
Trémies collecte des poussières	Pyramidale	Pyramidale
Transformateur HT	Existant	Existant

Tableau III.12 : La garantie et les performances des électrofiltre ESP1 et ESP2

Paramètre de garantie	Valeur	Unité
Rejets des poussières	50	mg/Nm ³
Débit de fumées	700.000	m ³ /h
Température des fumées	70 < T < 140	°C
Dépression	1200	mmCE
Charge en poussières	6.000	mg/Nm ³
Composition gazeuse : H ₂ O	>10	% vol.
Composition poussières :		mg/Nm ³
- Basicité	< 1.3	sec
- Chlorures alcalins	< 100	
Répartition gazeuse	< 12	% RMS

Les Tableaux III.11 et III.12 montrent la configuration actuelle et les performances des électrofiltres ESP1 et ESP2, illustrées dans la Figure III.11. Après leur rénovation, une garantie sur des rejets de poussières inférieurs à 50 mg/Nm³ est assurée.



Figure III.12: image de l'électrofiltres ESP3

Tableau III.13 : La configuration actuel de l'électrofiltre ESP3

Paramètres et Conditions	Valeurs	Unités
Nb de chambre	1	pcs
Bus sections en service	All	
Bus sections en service, total	3	
Volume de gaz entrée filtre @ 21,7 % O ₂ dry	378.448	Nm ³ /h
Correspondant à	97 (interval 40 - 100°C)	m ³ /h
Témpérature de service	529.202	°C
Pression de service	-2.942	Pa
- Correspondant à	-300	mmWg
H ₂ O	1	vol%
Point de rosée (H ₂ O)	7	°C
O ₂ entrée filtre	21,7	vol % dry
O ₂ entrée filtre, garantie	21,7	vol % dry
Teneur de poussières @ 21,7 vol% O ₂	15	g/Nm ³ ,W
- Correspondant à	15,2	g/Nm ³ ,W
Altitude au-dessus du niveau de la mer	15	m
Pression atmosphérique	1012	mbar
Section efficace	115	m ²
Vitesse du gaz	1,28	m/s
Temps de rétention	9	s
Superficie spécifique totale de collecte	45	m ² /m ³ /s

Tableau III.14 : La garantie et les performances de l'électrofiltre ESP3

Performance Garantie	Valeurs	Unités
Point de fonctionnement	Gas 1	
Chambers en fonctionnement	1	pcs
Emissions de poussières	50	mg/Nm ³ ,D @ 21,7 vol%O ₂

Les Tableaux III.13 et III.14 montrent la configuration actuelle et les performances des électrofiltres ESP1 et ESP2, illustrées dans la Figure III.12. Après leur rénovation, une garantie sur des rejets de poussières inférieurs à 50 mg/Nm³ est assurée.



Figure III.13 : Dépoussiéreur DEP3A

Tableau III.15 : La configuration actuel dépoussiéreur DEP3A

Paramètres et Conditions	Valeurs	Unités
Chambres en fonctionnement	1	Pièces
Débit de gaz	72.327	Nm ³ /h (total)
Température des gaz	40	deg C
Pression de service	-150	mm WG
Charge de poussières d'entrée	15	g/Nm ³ (dry)
Teneur en O ₂ des fumées	20,7	Vol%
Teneur en H ₂ O des fumées	4	Vol%
Point de rosée des fumées	6,9	deg C

Tableau III.16 : La garantie et les performances de dépoussiéreur DEP3A

Performance Garantie	Valeurs	Unités
Point de fonctionnement	Gas 1	-
Chambers en fonctionnement	1	Pcs
Emissions de poussières	20	mg/Nm ³ ,D @ 21,7 vol%O ₂

Les Tableaux III.15 et III.16 montrent la configuration actuelle et les performances du Dépoussiéreur DEP3A, illustrées dans la Figure III.13. Après leur rénovation, une garantie sur des rejets de poussières inférieurs à 20 mg/Nm³ est assurée.

III.5.3.3 Réseaux d'aspiration du système de dépoussiérages

Selon les dessins et les photos faites à l'installation existante, quelques changements ont été faits au Réseau des conduits originaux. Les réseaux ESP3 et DEP3A sont aussi connectés en deux points.

Ces deux points seront déplacés, puisqu'il est recommandé que les trois systèmes d'aspiration soient indépendants, parce qu'ils ont été projetés séparément. Certains points sont aussi endommagés, les accouplements et les joints d'expansion sont détériorés qui nécessitent un changement, Le réseau original sera ré-établi, à moins de quelque point additionnel, installées après la conception originale, qui ont besoin d'une hotte d'aspiration.

Aussi la démolition et le contrôle du réseau existant, en changeant toutes les parties qui Ne sont pas en bonnes conditions. Par exemple, nous avons inséré quelques photos des tuyaux qu'il Devrait être changer, puisqu'ils sont clairement en mauvaises conditions. Autres points sont endommagés,

Mais à cause de la poussière présente dans le milieu, les photos ne sont pas assez claires pour être Visionnées. Les ouvertures seront installées sur les tuyaux principaux pour aider les opérations de Nettoyage pour l'entretien.

Aussi, les équipements des filtres à manches et des ventilateurs ne sont pas en bon état, ou ne sont pas capables d'assurer les meilleures performances après la modernisation de certaines parties. Pour cette raison, un plan d'investissement et de réhabilitation des systèmes de dépoussiérage d'ambiance AG2 a déjà été lancé et réalisé, visant à résoudre les contraintes de la réhabilitation des dépoussiérages du processus et d'ambiance, ainsi que d'autres équipements de l'unité PMA.

III.5.3.4 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 d'élimination de tout contact entre matériel et matières (Figure III.14). Ce contact engendre plusieurs défaillances et anomalies sur le déroulement des machines (Figures III.15 et III.16) et qui provoque un dysfonctionnement des procès (Figure III.17).



*Figure III.14 : Impact des poussières sur les installations
(Accouplement et Convoyeur)*



Figure III.15 : Les joints d'expansion et bande transporteuse détériorés - ESP3



Figure III.16 : Image d'impact de la poussière sur les transporteurs métalliques



Figure III.17 : Image de l'impact de la poussière sur les installations communes.

III.6 Sources d'émissions atmosphériques de La PMA

Dans le cadre de notre étude sur le complexe Sider, nous avons recueilli des informations détaillées sur les cheminées de combustion et les dépoussiéreurs de la PMA. Ces informations sont présentées dans les tableaux, Tableau III.17, Tableau III.18

III.6.1 Cheminé De Combustion

Tableau III.17 : Caractéristiques des cheminées de combustion (PMA) du complexe Sider

Cheminées	Hauteur (m)	Débit des gaz rejetés (Nm³/h)	Type de polluants émis	Coordonnées GPS
Cheminées Électrofiltres chaîne d'agglomération ESP 1, ESP 2	50	1400000	Particules, CO ₂ , NO _x , SO ₂ .	N36°47'20.7" E007°41'33.0"

III.6.2 Cheminées des dépoussiéreurs

Tableau III.18 : Caractéristiques des cheminées des dépoussiéreurs (PMA) du complexe Sider

Cheminées	Hauteur (m)	Débit d'air Traité (Nm³/h)	Type de polluants émis	Coordonnées GPS
Cheminée dépoussiéreur d'ambiance AGII ESP 3	20	750000	Poussières	N36°47'21.5" E007°41'26.8"
Cheminée dépoussiéreur d'ambiance AGII DEP3A	20	750000	Poussières	N36°47'21.5" E007°41'23.9"

III.6.3 Les effets éoliens

Dans l'étude de l'unité d'agglomération, il est crucial de comprendre l'influence du vent. Lorsque le vent traverse les matériaux stockés, il peut entraîner des particules et de la poussière dans l'air.

Comme le montre le gradient de la vitesse du vent dans la Figure III.18, la vitesse du vent peut fluctuer. Plus la vitesse du vent est élevée, plus elle peut transporter de particules. Ces particules peuvent ensuite être acheminées vers différentes zones de l'unité d'agglomération.

Il existe des points de séparation où la trajectoire de l'air et des particules change. Il y a également des zones de pression et de dépression, ainsi que des zones tourbillonnantes où l'air

et les particules se déplacent en spirale. Enfin, il y a un point de chute où les particules retombent de l'air.

Ces phénomènes peuvent avoir un impact négatif sur la santé des travailleurs et l'efficacité des machines. Par conséquent, des mesures doivent être prises pour minimiser ce risque et garantir un environnement de travail sûr et efficace.

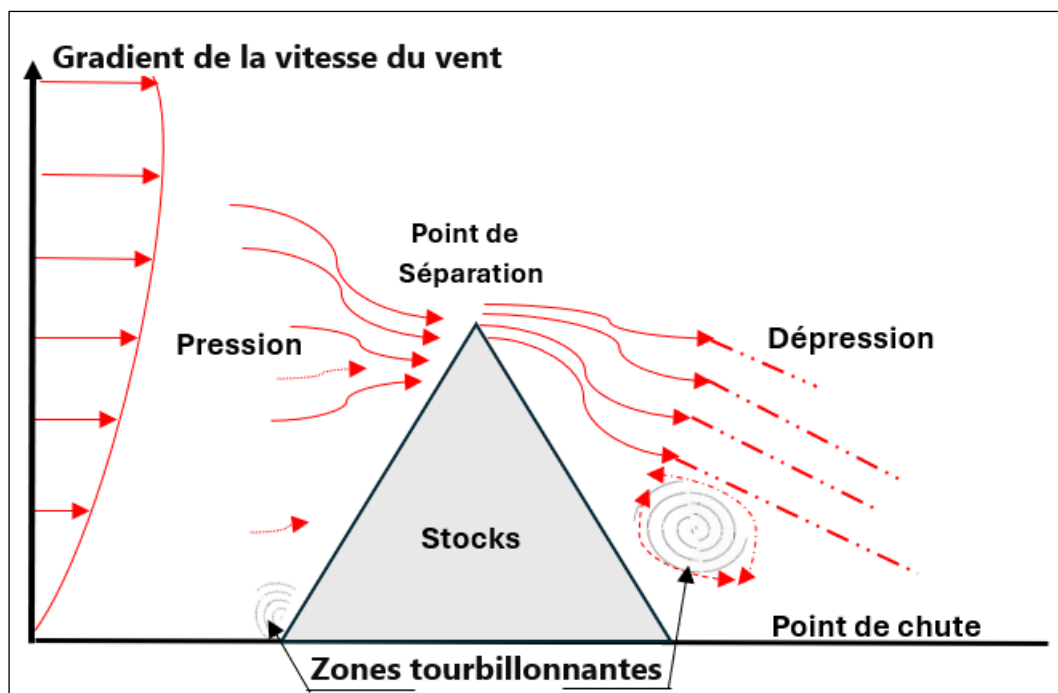


Figure III.18 : Les effets éoliens sur les tas du minerai

III.7 Projet de Réhabilitation des Dépoussiéreurs de La PMA

III.7.1 Objet du projet

En 2014, Sider, précédemment connu sous le nom d'ArcelorMittal, a initié un appel d'offres pour la restauration des électrofiltres ESP1, ESP2, ESP3 et DEP3A de l'unité d'agglomération AG2. Ces électrofiltres, fournis par l'entreprise BIPROMET, ont été installés en 2009, mais leur dégradation rapide, principalement due à la corrosion des électrodes, a été constatée.

En raison de l'échec du fournisseur, l'entreprise a exprimé son intention de remettre en service ces systèmes de dépoussiérage. Ce projet, qui a été réalisé et testé fin 2017, fait partie de la réhabilitation globale de l'AG2, dont la remise en service est prévue pour le premier trimestre de 2016. Un critère clé de ce projet est que la concentration de poussière dans les gaz émis par les électrofiltres et les dépoussiéreurs doit être inférieure à 50 mg/Nm³/h. Cette étude de cas illustre l'importance de la réhabilitation dans la gestion des équipements industriels et souligne les défis associés à la mise en œuvre de tels projets.

III.7.2 Les raisons de mise en œuvre du projet

- Préserver l'environnement, la sécurité et la santé des salariés et des riverains.
- Atteindre le plus rapidement possible en matière de poussière la valeur $\leq 50 \text{ mg/Nm}^3$ selon la Norme international dans les rejets atmosphériques.
- Dimensionner les installations pour qu'elles garantissent un rejet de ($\leq 50 \text{ mg/Nm}^3$) après le Doublement de la production de l'AG2 et du HF2 à partir de début 2016.

III.7.3 Conséquence de la décision stratégique

- Améliorer la mise au mille des fines de retour (gain économique).
- Diminuer le nombre des pannes (surchauffe d'équipements noyés sous la poussière)
- Diminuer la fréquence des nettoyages des installations.

III.7.4 Alternatives Techniques

Le système d'aspiration, qui comprend trois filtres, a été évalué pour la réhabilitation du système de dépoussiérage d'ambiance AG2. Trois scénarios ont été envisagés :

- *Scénario 1* : Ce scénario propose la réhabilitation (ou le remplacement par du neuf) d'un seul électro filtre, ESP3.
- *Scénario 2* : Ce scénario suggère la réhabilitation de l'électro filtre ESP3, qui regroupe ESP3B, et du filtre à manche DEP3A.
- *Scénario 3* : Ce scénario envisage la réhabilitation des trois filtres.

Chaque scénario a ses propres avantages et inconvénients, et le choix dépendra de divers facteurs tels que le coût, le temps, l'efficacité et l'impact sur l'environnement de travail. Il est important de prendre une décision éclairée après avoir soigneusement examiné tous ces aspects.

III.7.5 Choix Technique Retenu

Après une analyse technique détaillée des trois options proposées, les participants ont pris une décision. Ils ont choisi de rénover les électrofiltres du processus ESP1 et ESP2 et ont sélectionné l'option technique N° 2 illustrée à la Figure III.19 pour les électrofiltres d'ambiance ESP3 et DEP3A.

Ce choix implique la réhabilitation de deux filtres : ESP3 et DEP3A. Il est essentiel de souligner que, dans ce contexte, ESP3 englobe ESP3B avec DEP3A rénové. Cela illustre une approche stratégique visant à optimiser l'utilisation des ressources existantes tout en améliorant l'efficacité.

III.7.5.1 Dépoussiéreurs D'ambiance

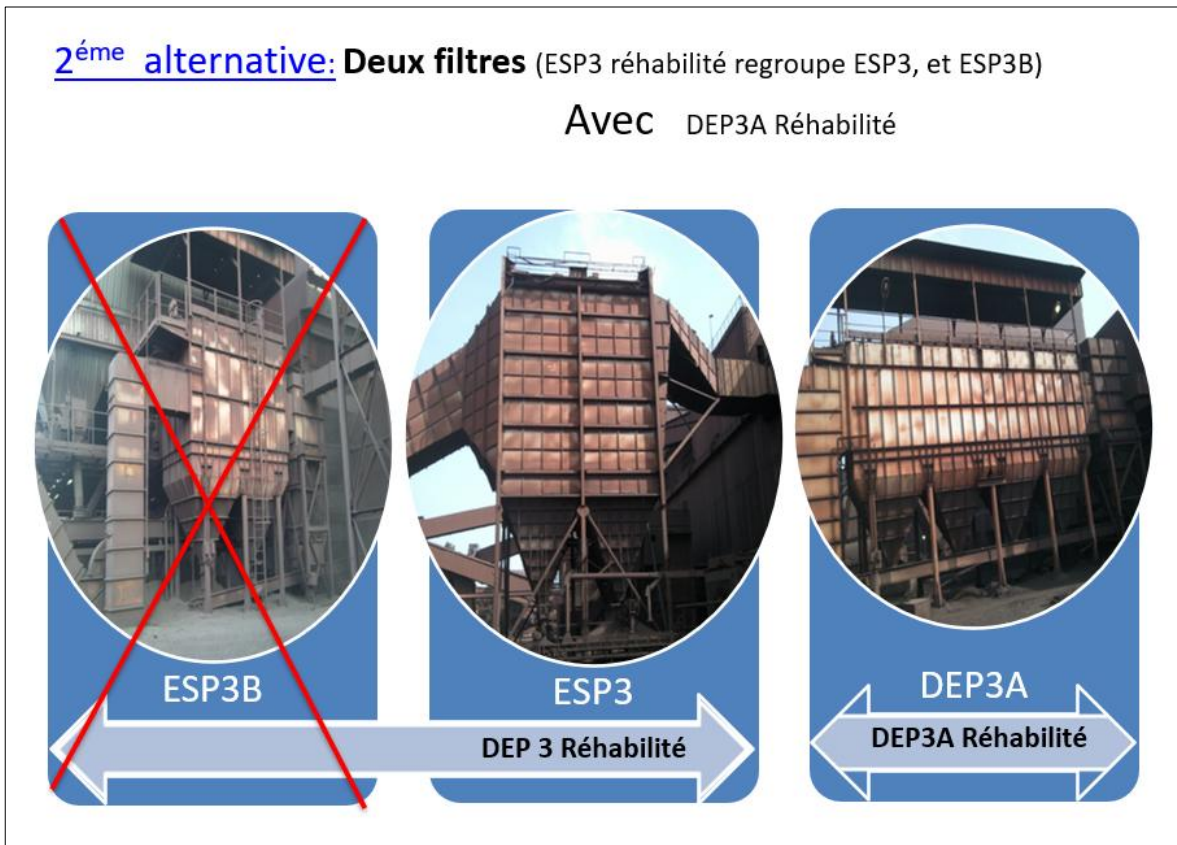


Figure III.19 : Choix Technique Retenu des dépoussiéreurs

Au cours de la réhabilitation et de la rénovation des installations des systèmes de dépoussiérage, des schémas d'ingénierie et de regroupement des dépoussiéreurs ont été proposés. Ces propositions sont illustrées dans les Figures III.20, III.21.

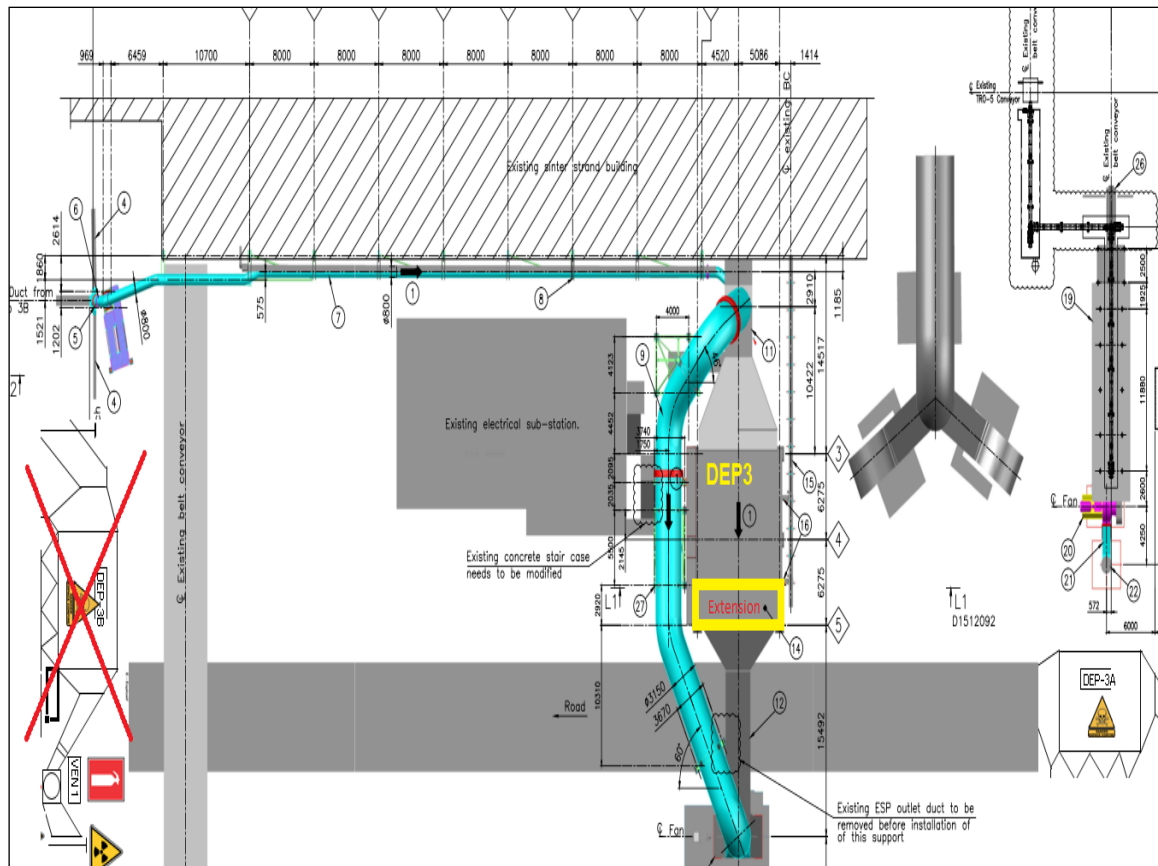


Figure III.20 : Carte Engineering De Regroupement ESP3 & ESP3B (document de l'entreprise)

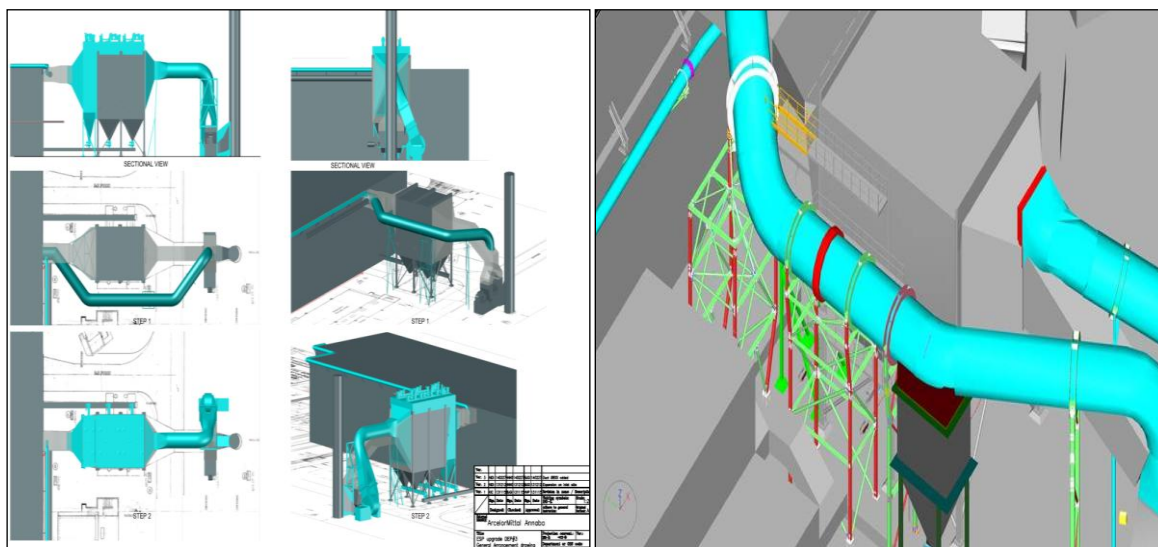


Figure III.21: Carte Engineering & Systeme Bypass ESP3B (document de l'entreprise)

III.8 Conclusion

Le complexe sidérurgique d'El Hadjar est un géant industriel qui fonctionne grâce à une multitude d'unités, chacune jouant un rôle crucial dans la symphonie de la production sidérurgique. Cependant, cette symphonie a des conséquences sur notre environnement, libérant des particules dans l'air que nous respirons, qui peuvent avoir des effets néfastes sur notre santé et l'environnement.

Cette section met en lumière les différentes sources de pollution au sein du complexe, notamment les cheminées de combustion et les dépoussiéreurs. Il souligne l'importance des systèmes de dépoussiérage, qui travaillent sans relâche pour capturer les particules avant qu'elles ne s'échappent dans l'atmosphère. Un projet est déjà réalisé pour améliorer ces systèmes, dans le but de rendre l'air que nous respirons un peu plus pur.

Cette partie met également en évidence les efforts déployés pour atténuer les impacts environnementaux du complexe sidérurgique d'El Hadjar. Plusieurs alternatives techniques ont été envisagées pour améliorer l'efficacité des systèmes de dépoussiérage et réduire davantage les émissions atmosphériques. Le choix final a été fait et réalisé en tenant compte de divers facteurs, y compris l'efficacité, le coût et l'impact environnemental.

En fin de compte, bien que l'industrie sidérurgique soit un moteur essentiel de notre économie, nous ne devons pas oublier notre responsabilité envers l'environnement et notre santé. Il est donc crucial de continuer à chercher des moyens d'atténuer les impacts environnementaux de ces industries et de promouvoir un développement durable. Après tout, nous n'avons qu'une seule planète, et il est de notre devoir de la protéger. Cette conclusion souligne l'importance de la gestion de la pollution dans l'industrie sidérurgique et rappelle que, malgré les défis, des efforts sont en cours pour rendre notre monde plus propre et plus sûr.

Chapitre IV. Analyse et caractérisation physico-chimique des poussières générées par la préparation et l'agglomération des minerais de fer, et leurs effets sur l'environnement

IV.1 Introduction

Aujourd'hui la production d'acier est un indice de la richesse nationale et elle est à la base de la production de masse dans de nombreux secteurs industriels. Le complexe sidérurgique d'Annaba produit en moyenne plus d'un million de tonne d'acier annuellement.

Cependant, la région d'Annaba souffre de la pollution de l'air, principalement causée par les activités industrielles. La sidérurgie et la métallurgie figurent parmi les activités les plus polluantes. Une mauvaise qualité de l'air entraîne des risques majeurs pour la santé humaine et pour l'environnement naturel [37], [38].

De nombreux travaux scientifiques ont été réalisés sur des sites industriels sidérurgiques pour évaluer l'impact de ces entreprises en tant que sources de pollution atmosphérique et facteurs de risque pour la santé publique et l'environnement [39], [41].

La conscience environnementale (CE) se caractérise par une forte sensibilisation à l'environnement, notamment dans les zones urbaines affectées par la pollution minière et métallurgique. Des études [42], [43] ont été réalisées sur les nouveaux défis de la pollution de l'air et des particules en Chine, en Inde et au Pakistan, ainsi que sur les solutions d'atténuation possibles.

Une autre étude [44] a évalué l'impact des émissions de poussières des entreprises métallurgiques sur l'environnement. Ces travaux ont porté sur l'amélioration des processus technologiques et sur l'expansion des matières premières, tout en identifiant les menaces environnementales liées à l'exploitation de nouveaux gisements et aux déchets de production.

De plus, des recherches [45] ont exploré les spécificités minéralogiques et chimiques des poussières générées par la métallurgie du fer et des métaux non ferreux, mettant en évidence leur susceptibilité magnétique. Ces études visent à détailler les caractéristiques des poussières et à identifier les phases minérales individuelles des différents processus de production.

Afin de mieux contrôler les émissions de poussière, un système automatisé innovant a été développé. Ce système repose sur la suppression de la poussière par brouillard sec (DFDSS) et intègre des technologies avancées, telles que des buses hybrides, des capteurs, des actionneurs, des contrôleurs, ainsi que des compresseurs à vis, des récepteurs d'air, des pompes, des moteurs.

Il est également équipé d'un réseau de filtration performant associé à un système d'eau optimisé [46].

L'un des plus grands défis actuels reste la pollution de l'air, non seulement pour ses effets sur le changement climatique, mais aussi pour ses répercussions sur la santé publique et individuelle, en augmentant les taux de morbidité et de mortalité [40].

Notre travail de recherche porte sur l'analyse et la caractérisation physico-chimique des poussières générées par la préparation et l'agglomération des minerais de fer, en mettant en lumière leurs impacts sur l'environnement. Des échantillons représentatifs de 2 kg ont été prélevés à différents points du site industriel selon les types de process.

IV.2 Matériel et méthode.

1. Échantillonnage

Le site de l'usine sidérurgique d'Annaba est approvisionné en minerai de fer par deux gisements, Ouenza et Boukhadra, présentant des caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques adaptées à la production d'un produit final de très bonne qualité [48], [49].

- **Pour le processus de combustion** : Les poussières ont été échantillonnées à partir de l'installation commune de collecteurs de poussières (ESP1 et ESP2).
- **Pour le processus ambiant** : Les poussières ont été échantillonnées à partir de l'installation commune de collecteurs de poussières (ESP3 et DEP3A). Les points d'échantillonnage ont été localisés par GPS à l'aide d'un dispositif portable Garmin Trex (France).

2. Méthodes de caractérisation

Les échantillons prélevés sur les deux sites générateurs de poussières sont soumis à différentes analyses physiques et physico-chimiques :

- **Analyse physico-chimique par fluorescence X (XRF)** : Réalisée sur un appareil Thermo Scientific™ ARL™ PERFORM'X 178 - Suisse. Au Laboratoire central de Sider el Hadjar a Annaba.
- **Analyses granulométriques** : Effectuées sur un appareil Fritsch Analyste22 Nano Tec plus Wet Dispersion Unit - Allemagne, au Laboratoire de Technologie des Matériaux et de Génie des Procédés (LTMGP) de l'Université de Bejaia. L'analyse est menée par voie humide à température ambiante, avec un rapport de pourcentage de solide en masse de 1/10 (0.1g/ml). Le solvant utilisé est de l'eau distillée.

- **Observations par MEB et analyse par spectrométrie X à dispersion d'énergie (EDS) :** Réalisées sur un microscope QUANTA 250 - France, au laboratoire de l'École Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie Amar Laskri – Annaba.
- **Analyses par diffraction des rayons X (DRX) :** Réalisées sur un appareil Rigaku ultima IV - États-Unis, au laboratoire de l'unité de recherche URMM – Annaba. Les échantillons, sous forme de poudres, sont analysés par cette méthode qui est basée sur la diffraction des rayons X par le matériau. Les spectres de diffraction sont analysés à l'aide du logiciel X'PertHighscore, permettant de déterminer la structure cristalline.

IV.2.1 Situation géographique et endroits de prélèvements.

La situation géographique du site sidérurgique de l'étude est présentée sur la Figure IV.1

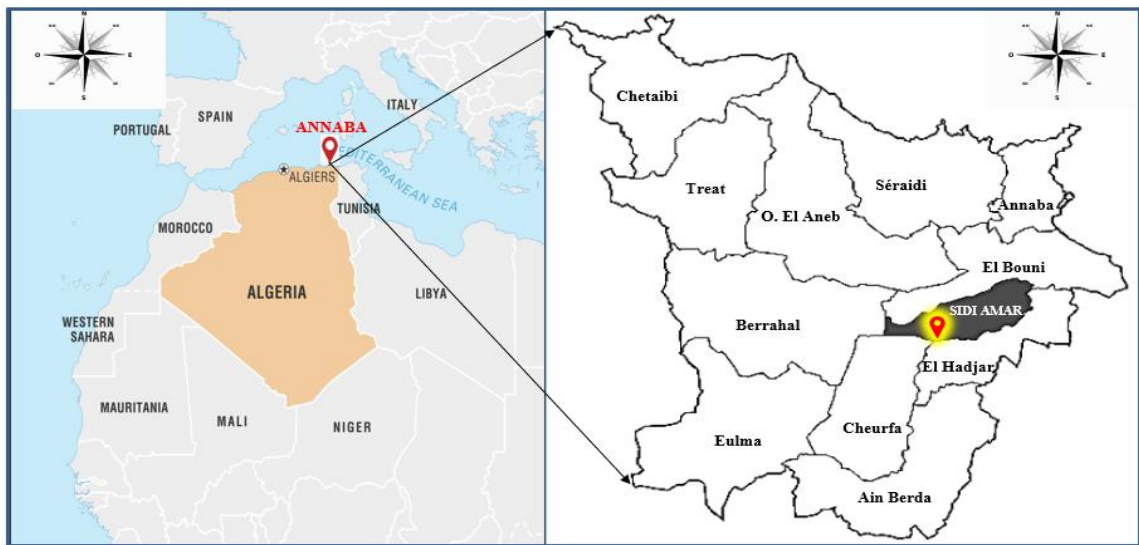


Figure IV.1 : Localisation du site d'étude

Le lieu de prélèvement des échantillons au niveau de la Préparation de la Matière Agglomérée du Complexe Sider El Hadjar Annaba – Algérie est présenté sur le Figure IV.1.

Tableau IV.1 : Localisation GPS des sources d'émission génératrice de poussières

Cheminées	Hauteur (m)	Débit des gaz rejetés (Nm ³ /h)	Coordonnées GPS
Cheminées Electrofiltre chaîne d'agglomération ESP1 & ESP2	50	1400000	N36°47'20.7" E007°41'33.0"
Cheminée dépoussiéreur d'ambiance d'agglomération ESP3	20	750000	N36°47'21.5" E007°41'26.8"
Cheminée dépoussiéreur d'ambiance d'agglomération DEP3A	20	750000	N36°47'21.5" E007°41'23.9"

Le Tableau IV.1 présente la localisation GPS des sources d'émission génératrice de poussières au sein du Complexe Sider El Hadjar à Annaba, en Algérie.

Il met en évidence plusieurs cheminées, y compris les cheminées d'électrofiltre de la chaîne d'agglomération ESP1 & ESP2, ainsi que les cheminées de dépoussiéreur d'ambiance d'agglomération ESP3 et DEP3A.

Chaque cheminée a une hauteur spécifique et rejette un certain débit de gaz. Les coordonnées GPS précises de chaque cheminée sont également fournies, permettant une localisation précise sur le terrain.

Ces informations sont cruciales pour comprendre l'impact environnemental des émissions et planifier des stratégies d'atténuation efficaces. Elles doivent être intégrées dans les plans de gestion environnementale du complexe.

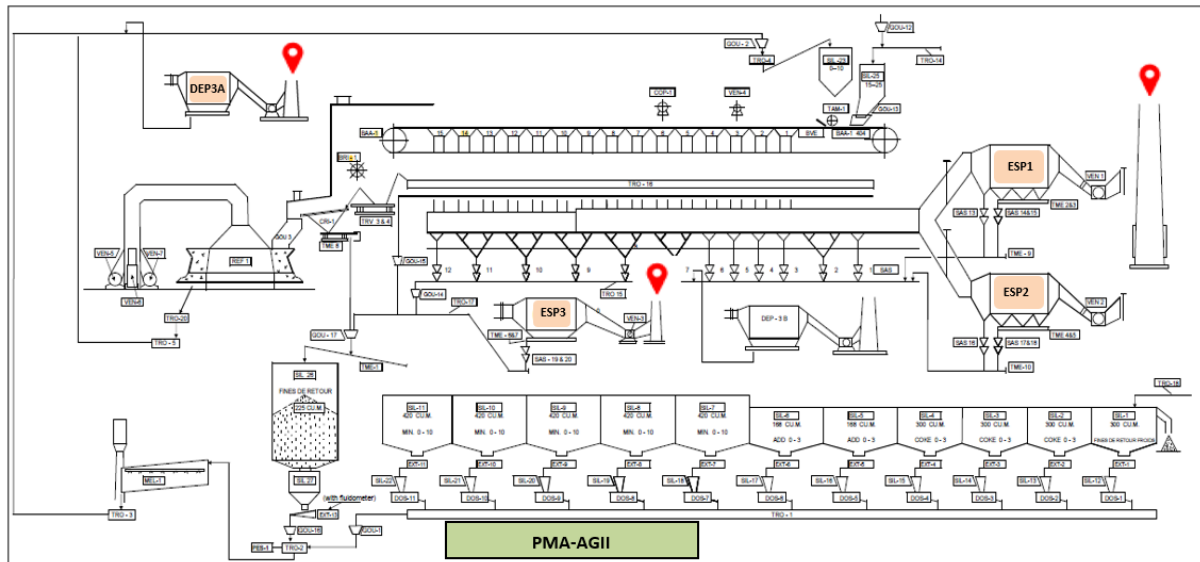


Figure IV.2 : Lieu de prélèvement des échantillons au niveau de la PMA ESP3B (document interne de l'entreprise)

La Figure IV.2 illustre le lieu de prélèvement des échantillons au sein de la zone d'agglomération, où se trouvent les dépoussiéreurs. Cette zone est d'une importance cruciale car elle est le point de convergence de divers processus industriels.

Les dépoussiéreurs jouent un rôle essentiel dans cette zone. Ils servent à filtrer et à éliminer les particules de poussière de l'air, contribuant ainsi à maintenir un environnement de travail sûr et sain. Leur emplacement stratégique dans la zone d'agglomération permet une efficacité maximale de filtration.

Le prélèvement d'échantillons dans cette zone permet de surveiller et d'évaluer la qualité de l'air, ce qui est essentiel pour assurer la sécurité des travailleurs et le respect des normes environnementales. Ces échantillons peuvent fournir des informations précieuses sur les niveaux de particules et d'autres polluants dans l'air.

Finalement, la Figure IV.2 offre une représentation visuelle claire de la configuration de la zone d'agglomération et du rôle clé que jouent les dépoussiéreurs dans le maintien de la qualité de l'air.

IV.3 Prélèvement et échantillonnages

Dans le cadre de cette étude, les prélèvements et échantillonnages ont été réalisés conformément à une autorisation délivrée par le Département Environnement, et la Direction de l'unité (PMA). Ces prélèvements ont été effectués selon la procédure interne de l'entreprise, référencée sous INS/LZF/8.4.2/01, et en conformité avec la norme ISO 3082.

IV.3.1 Moyens utilisés

Les moyens utilisés pour les prélèvements comprenaient des pelles, des seaux, des échantillonneurs manuels, des brouettes et des gamattes.

IV.3.2 Déroulement de l'échantillonnage manuel sur bande en mouvement :

- **Mode de prélèvement** : Les prélèvements ont été réalisés manuellement à l'aide d'une pelle.
- **Lieu de prélèvement** : Les silos dépoussiéreurs de l'agglomération (à la sortie des silos) ont été choisis comme lieu de prélèvement.
- **Nombre de prélèvements** : Deux prélèvements ont été effectués conformément aux normes établies par l'ISO 3082.
- **Fréquence de prélèvements** : Les prélèvements ont été effectués selon les besoins spécifiques de l'étude, notamment pour analyser les variations saisonnières, les conditions météorologiques et les différentes phases du processus de production.
- **Masse de prélèvements** : Chaque prélèvement a eu une masse de 2 kg, collecté dans le sens transversal de la bande.
- **Agents habilités** : Les prélèvements ont été réalisés par le Chef De Service Laboratoire Zone Fonte, habilité à cette tâche

IV.3.3 Sécurité

Au cours de notre processus d'échantillonnage, nous avons mis en œuvre plusieurs mesures de sécurité pour garantir notre protection. Cela comprenait le port de gants, de lunettes de protection, de casques, de masques et de chaussures de sécurité. De plus, nous avons suivi scrupuleusement les consignes relatives à l'utilisation des bandes transporteuses. Ces précautions ont été essentielles pour assurer notre sécurité tout au long de l'opération d'échantillonnage.

IV.3.4 Responsabilités

L'échantillonnage a été réalisé avec une grande précision et un professionnalisme exemplaire. Les individus en charge de cette tâche étaient non seulement hautement qualifiés, mais aussi spécifiquement formés pour cette fonction. Leur expertise a assuré que chaque échantillon a été prélevé correctement, garantissant ainsi la fiabilité et la précision des résultats obtenus. Leur habileté a grandement contribué à la réussite de cette opération d'échantillonnage.

IV.3.5 Enregistrement

Dans le cadre de notre processus d'échantillonnage, nous accordons une grande importance à la traçabilité. Chaque échantillon prélevé est soigneusement enregistré avec des informations clés telles que le code, la date, le lieu de prélèvement et le type d'essais à réaliser. Ces informations sont essentielles pour assurer un suivi rigoureux des échantillons à travers les différents laboratoires d'analyses. Cela garantit non seulement la précision et la fiabilité de nos analyses, mais aussi la transparence et l'intégrité de notre processus D'échantillonnage.

Le Tableau IV.2 donne des détails sur deux échantillons prélevés. Chaque échantillon, ESP1+ESP2 et ESP3+DEP3A, a été recueilli à une date et un lieu spécifique. Ces informations sont cruciales pour le suivi et l'analyse dans la zone de Préparation de la Matière Agglomérée.

Tableau IV.2 : données de prélèvements des échantillons

N°	Nbre	Nom d'Echantillon	Date	Quantité (g)	Coordonnées GPS (PMA)
1	01	ESP1+ESP2	22/06/2022	2000	N36°47'20.7" E007°41'33.0"
2	01	ESP3 +DEP3A	22/06/2022	2000	N36°47'21.5" E007°41'26.8"

IV.4 Resultat et discussion de l'Analyse dimensionnelle par granulométrie laser des échantillons

L'échantillon ESP1 et ESP2 est composé de trois (03) populations dont le D90 correspond aux particules de 56.915 µm. Les plus fines particules de ce dernier sont < 0.4 µm.

L'échantillon ESP3 et DEP3A est composé de 3 populations, dont D90 correspond aux particules de diamètre de 33.706 μm . Les plus fines particules de ce dernier sont $< 0,2 \mu\text{m}$.

L'échantillon ESP1 et ESP2 est plus grossier que celui ESP3 et DEP3A avec une importante population $< 50 \mu\text{m}$ alors que pour le cas de l'échantillon ESP3 et DEP3A, il présente une population importante $< 20 \mu\text{m}$.

Les courbes donnant les différentes populations existantes dans les différents échantillons en fonction du pourcentage volumique sont représentés dans les figures IV.3 IV.4.

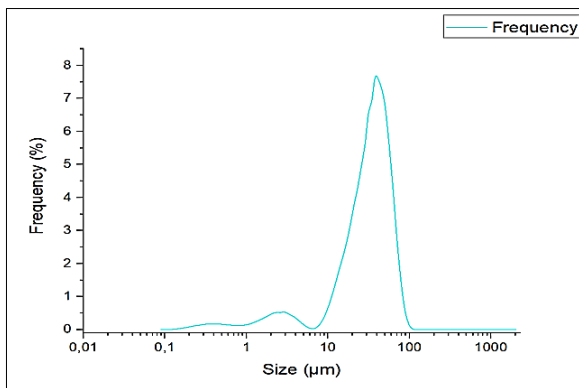


Figure IV.3 : Analyse dimensionnelle de L'échantillon **ESP1 et ESP2**

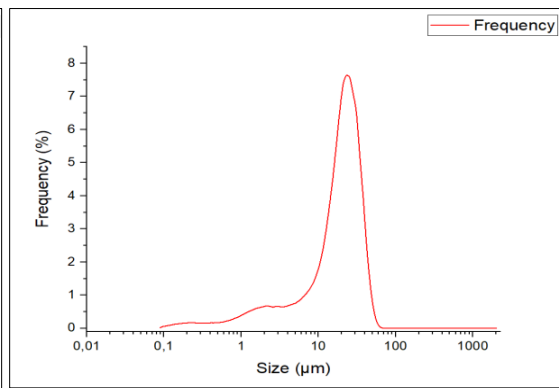


Figure IV.4 : Analyse dimensionnelle de l'échantillon **ESP3 et DEP3A**

Il est plus facile de comparer les granulométries à partir des "quartiles" D10, D50 et D90 qui sont les tailles des particules (en μm) découpant la courbe cumulative aux ordonnées 10, 50 et 90.

Les résultats des analyses par granulométrie laser sont regroupés dans les tableaux IV.3 :

Tableau IV.3 : Résultats d'analyse dimensionnelle des échantillons **ESP1, ESP2 et ESP3, DEP3A**

Echantillon ESP1 & ESP2	d10	d50	d90
Grain size (μm)	9,980	31,945	56,915
Echantillon ESP3 & DEP3A	d10	d50	d90
Grain size (μm)	2,616	19,007	33,706

Le Tableau IV.3 présente les résultats d'une analyse dimensionnelle effectuée sur les échantillons ESP1, ESP2 et ESP3, DEP3A. Cette analyse fournit des informations sur la taille des grains dans chaque échantillon. Pour les échantillons ESP1 & ESP2, la taille des grains varie de manière significative. De même, pour les échantillons ESP3 & DEP3A, on observe également une variation notable dans la taille des grains. Ces informations sont essentielles

pour comprendre les propriétés physiques des échantillons et peuvent aider à informer les décisions relatives à leur utilisation et à leur traitement.

IV.5 Resultat et discussion de l'Analyse par fluorescence X (FRX)

IV.5.1 Préparation de l'échantillon

L'échantillon à analyser est prélevé, finement broyé, puis il est porté à l'étuve pendant une heure à 100C°, afin d'éliminer toute trace d'humidité, pour être enfin acheminé aux niveaux du laboratoire.

IV.5.2 Préparation de la perle

Le processus de préparation d'échantillons pour l'analyse chimique, tel que décrit, joue un rôle crucial dans la recherche scientifique, en particulier dans le domaine de la spectrométrie de fluorescence X et des techniques d'analyse des éléments. Cette méthode, méticuleusement exécutée, garantit la représentativité et la fiabilité des résultats obtenus lors de l'analyse quantitative des éléments présents dans un échantillon donné. En pesant avec précision l'échantillon à analyser et en le mélangeant avec des agents fondants appropriés tels que le tétra borate de dilithium, cette procédure vise à créer un mélange homogène et stable. L'ajout d'iodure de sodium est une étape critique pour empêcher que la perle formée ne colle à la nacelle lors du processus de moulage. Le choix du creuset en platine garantit la résistance à la chaleur et la compatibilité avec les températures élevées nécessaires à la fusion du mélange. Une fois fondue, la substance est transférée dans une nacelle en platine pour refroidissement, où la perle résultante est récupérée avec soin. Ce protocole rigoureux de préparation d'échantillons assure une représentation fidèle de la composition chimique de l'échantillon d'origine, fournissant ainsi des données précieuses pour la recherche scientifique et l'analyse des matériaux.

Voici une récapitulation du processus décrit :

- Pesée de l'échantillon : 0.5 gramme de l'échantillon à analyser est pesé avec précision.
- Mélange avec le fondant : L'échantillon est mélangé à 5 grammes de tétra borate de dilithium, qui est utilisé comme fondant.
- Ajout de l'iodure de sodium : Pour éviter que la perle ne colle à la nacelle lors du moulage, 0.2 grammes d'iodure de sodium sont ajoutés au mélange.
- Mélange dans un creuset en platine : Le mélange est introduit dans un creuset en platine et soigneusement mélangé pour assurer une meilleure homogénéisation.

- Fusion : Le creuset est placé dans un four pendant 15 minutes à 1200 °C pour la fusion du mélange.
- Transfert dans une nacelle en platine : Une fois la fusion terminée, le contenu du creuset est versé dans une nacelle en platine.
- Refroidissement et récupération de la perle : Après refroidissement, la perle obtenue est décollée de la nacelle.

Ce processus permet de préparer un échantillon homogène et stable pour une analyse précise des éléments présents dans l'échantillon initial.



Figure IV.5 : La balance utilisée et le creuset

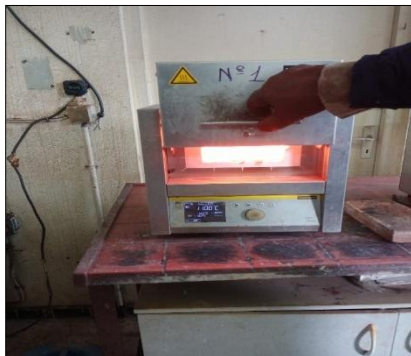


Figure IV.6 : Four contenant la perle à $T^{\circ} = 1200C^{\circ}$.



Figure IV.7 : Creuset en platine contenant l'échantillon.

IV.5.3 Analyse de la perle

Une fois la perle formée, elle est transférée dans un porte-échantillon qui est ensuite acheminé vers la chambre d'analyse par un bras dédié. Dans cette chambre, la perle est exposée à un rayonnement X qui provoque l'émission de rayonnement de fluorescence caractéristique des éléments présents dans l'échantillon. Cette fluorescence est ensuite détectée et analysée par l'appareil.

Les résultats de cette analyse sont ensuite restitués sous forme de pourcentages, fournissant des informations précieuses sur la teneur en éléments constitutifs de l'échantillon. Chaque élément présent dans l'échantillon génère une fluorescence spécifique, ce qui permet à l'appareil d'identifier et de quantifier la présence de ces éléments. Les pourcentages obtenus reflètent donc la proportion de chaque élément dans l'échantillon, fournissant ainsi une analyse quantitative précise de sa composition chimique.

Cette méthode d'analyse est largement utilisée dans de nombreux domaines, y compris la recherche scientifique, l'industrie pharmaceutique, la géologie, et d'autres, en raison de sa précision et de sa fiabilité dans la détermination des composants élémentaires des matériaux



Figure IV.8 : Appareil de fluorescence X

Les résultats s'affichent sur l'écran de l'ordinateur de l'appareil puis sont exportés vers Microsoft Excel.

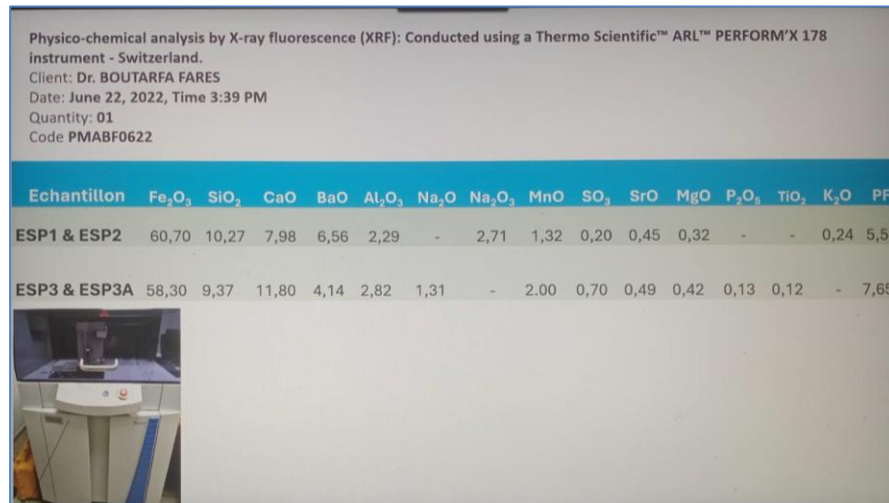


Figure IV.9 : l'écran d'ordinateur lié à l'appareil.

Les résultats des analyses par fluorescence X, effectuées sur les fines des dépoussiéreurs ESP1, ESP2, ESP3 et DEP3A au cours du mois de juin 2022, sont présentés dans le Tableau IV.4. Ces analyses fournissent des informations précieuses sur la composition chimique des échantillons, ce qui est essentiel pour comprendre leurs propriétés et leur comportement.

Tableau IV.4 : Résultats d'analyse par fluorescence X des fines des dépoussiéreurs de la PMA

Echantillon	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	BaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Na ₂ O ₃	MnO	SO ₃	SrO	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	K ₂ O	PF
ESP1 & ESP2	60,70	10,27	7,98	6,56	2,29	-	2,71	1,32	0,20	0,45	0,32	-	-	0,24	5,50
ESP3 & DEP3A	58,30	9,37	11,80	4,14	2,82	1,31	-	2,00	0,70	0,49	0,42	0,13	0,12	-	7,65

Le Tableau IV.4 présente les résultats d'une analyse par fluorescence X effectuée sur les fines des dépoussiéreurs de la Préparation de la Matière Agglomérée (PMA). Cette analyse a permis de déterminer la composition chimique des échantillons, en mesurant les concentrations de divers composés tels que le Fe₂O₃, le SiO₂, le CaO, le BaO, et bien d'autres.

Deux échantillons ont été analysés : ESP1 & ESP2 et ESP3 & DEP3A. Chaque échantillon a montré une composition chimique unique, reflétant les conditions spécifiques de l'environnement d'où ils proviennent.

Ces informations sont essentielles pour comprendre les propriétés des fines et peuvent aider à informer les décisions relatives à leur gestion et à leur traitement. Il est important de noter que ces résultats sont le fruit d'un travail méticuleux effectué par des professionnels hautement qualifiés dans le domaine de l'analyse chimique.

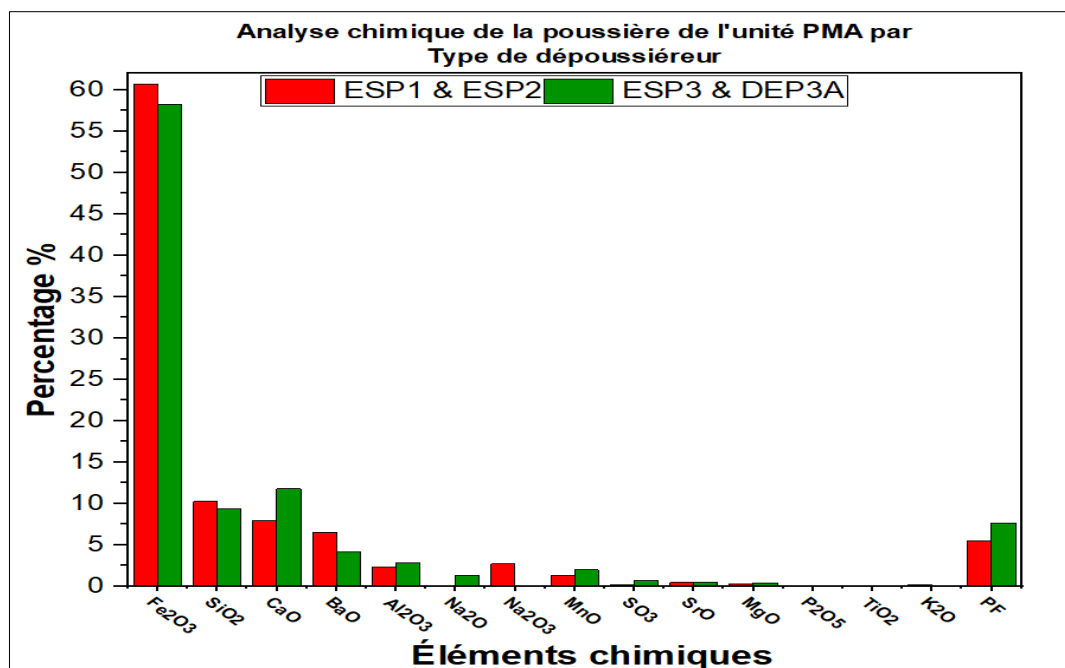


Figure IV.10 Composition chimique de la poussière de l'unité PMA par Type de dépoussiéreur

La Figure IV.10 Représente les analyses chimiques de la poussière provenant de l'unité PMA, en fonction du type de dépoussiéreur utilisé.

Il est intéressant de noter que les échantillons provenant des dépoussiéreurs de process ESP1 et ESP2 présentent une teneur en fer plus élevée (60,7%) par rapport à ceux des dépoussiéreurs d'ambiance ESP3 et DEP3A (58,3%). Cette différence peut être attribuée à la nature spécifique de chaque dépoussiéreur. Les dépoussiéreurs ESP1 et ESP2 sont en contact direct avec la matière première riche en fer, tandis que les dépoussiéreurs ESP3 et DEP3A sont associés au traitement de l'air après l'agglomération.

En ce qui concerne la calcite (CaO), on observe une concentration plus élevée dans les échantillons des dépoussiéreurs d'ambiance ESP3 et DEP3A (11,8%) par rapport à ceux des dépoussiéreurs ESP1 et ESP2 (7,98%). Cette augmentation peut être attribuée à la libération de la calcite suite au traitement thermique. En ce qui concerne le dioxyde de silicium (SiO₂), les résultats montrent que la concentration de cet élément est presque identique avant et après l'agglomération.

Ces observations soulignent l'importance de comprendre la composition chimique des échantillons et comment elle peut être influencée par le type de dépoussiéreur utilisé et le processus d'agglomération.

IV.6 Resultat et discussion de l'Analyse par Diffraction des Rayons X (DRX)

L'analyse des spectres DRX est une technique qui utilise la diffraction des rayons X pour étudier la structure cristalline, les paramètres de maille des matériaux, la pureté de l'échantillon. Les spectres de diffraction de rayon X à l'aide d'un diffractomètre à focalisation Bragg Brentano ont été obtenus par une radiation de ($\text{CuK}\alpha\lambda=1.54 \text{ \AA}$). Le balayage est dans la gamme : $2\theta = 10-90^\circ$ d'où le pas est $0.002^\circ/\text{min}$. L'analyse des spectres de diffraction a été faite à l'aide d'un logiciel X'PertHighscore qui permet de déterminer la structure cristalline, la taille moyenne des cristallites, les paramètres de maille. Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux IV.5 et IV.6.

Les spectres DRX (Figure IV.11) montrent clairement la coexistence deux grandes phases toxiques P_2O_5 , SO_2 et non toxiques SiO_2 , SO_3 , CaO_2 , Fe_2O_3 , MgO , Al_2O_3 pour l'échantillon ESP3 et DEP3A et ESP1 et ESP2.

La taille des grains est calculée à partir des spectres de diffraction de rayons X en utilisant la relation de Scherrer [63]

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos(\theta)} \dots \dots \dots 1 \quad \varepsilon = \frac{\beta h t l}{4 \tan(\theta)} \dots \dots \dots 2$$

Où

D - taille des grains,

β - largeur à mi-hauteur intrinsèque,

K - constante de valeur très proche de l'unité, égale 0,94.

Cette relation a été utilisée juste pour avoir une idée sur la taille des particules. Les résultats de ces mesures donnent des valeurs moyennes entre 41 nm et 43nm et les microdéformations sont de $2,77.10^{-4}$ et $4,44.10^{-4}$ respectivement pour l'échantillon ESP3 et DEP3A et ESP1 et ESP2. On remarque aussi que la taille des cristallines calculés par DRX est inférieur à la taille des cristallines mesurés par l'analyse par laser.

De plus, on a obtenu les paramètres structuraux a, b et c pour la couche l'échantillon tableau IV.5 et IV.6 les paramètres de maille correspondants au fichier JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) n° 85-0794 [51], 72-1664 [53], 85-0514 [55], 86-1356 [60], 78-0430 [61], 70-3321 [59], 73-2096 [62], 87-0952 [51]. Pour l'échantillon ESP3 et DEP3A et ESP1 et ESP2.

Les éléments chimiques existants dans l'échantillon ont une valeur économique très importante tel que le : SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , TiO_2 qui nécessite un système de filtration spécifique et les réutilisés dans d'autres domaines industriels vu l'importance économique.

L'analyse des spectres DRX confirme la formation deux grandes phases toxiques P_2O_5 , SO_2 et non toxiques SiO_2 , SO_3 , CaO_2 , Fe_2O_3 , MgO , Al_2O_3 pour l'échantillon ESP3 et DEP3A et ESP1 et ESP2. Aussi, il est important de remarquer que la taille des nanoparticules est comprise entre 41 nm et 43 nm (en utilisant la méthode de Scherrer).

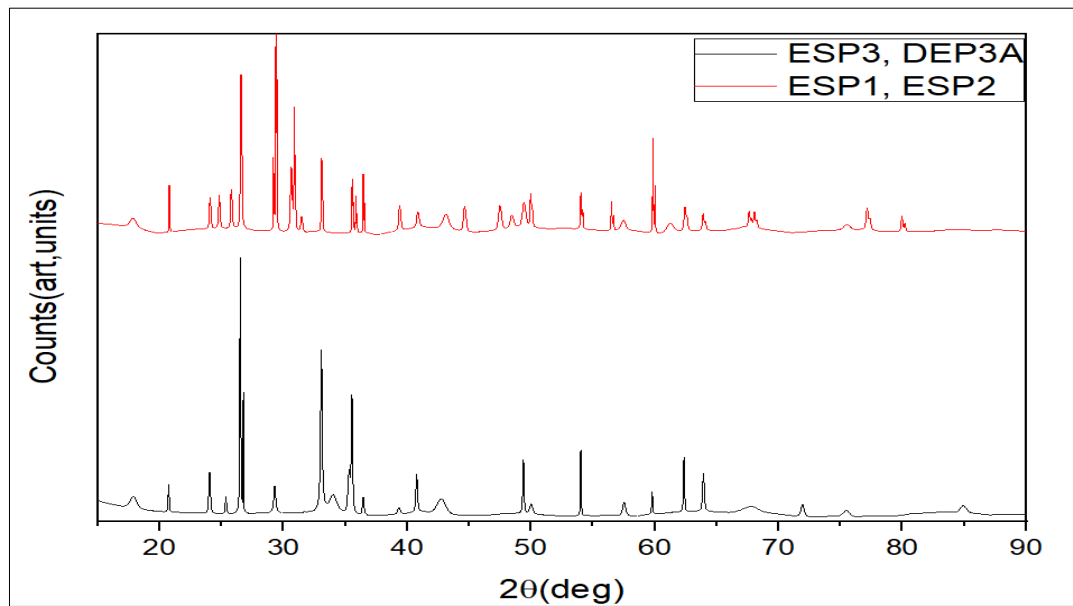


Figure IV.11 : Spectres DRX d'un Echantillon ESP1 & ESP2 et ESP3 & DEP3A

La Figure IV.11 montre les spectres de diffraction des rayons X (DRX) des échantillons ESP1, ESP2, ESP3 et DEP3A, révélant leur structure cristalline. Les pics de diffraction indiquent les phases cristallines présentes. Les différences entre les spectres révèlent des variations dans la composition chimique et les conditions de synthèse. En comparant les spectres, on peut évaluer les effets des traitements appliqués et les modifications structurales. Cela permet de mieux comprendre les propriétés des échantillons.

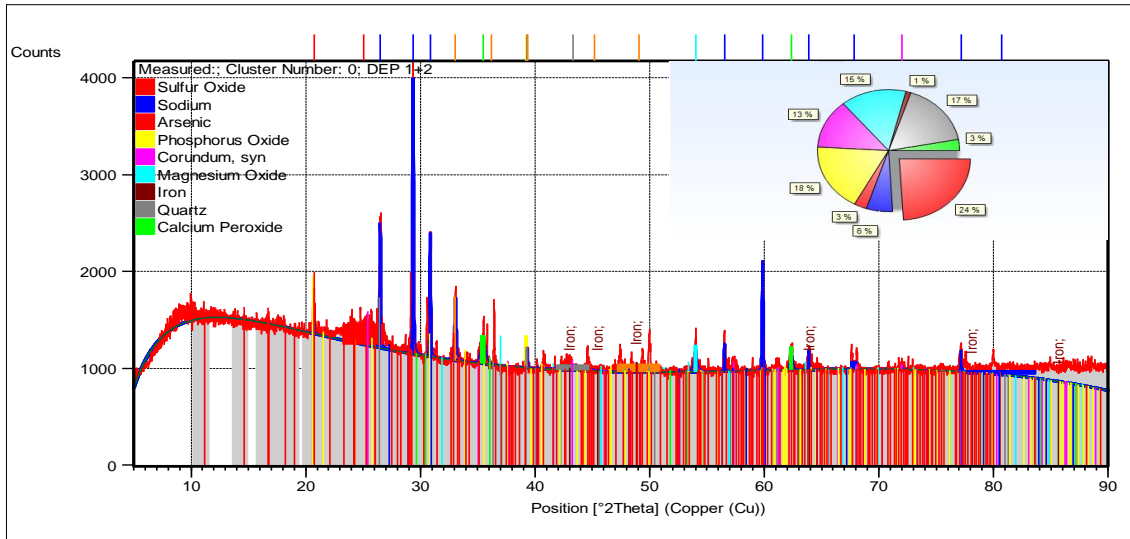


Figure IV.12 : Spectres DRX d'un Echantillon ESP1 & ESP2

La Figure IV.12 illustre les spectres de diffraction des rayons X (DRX) pour l'échantillon ESP1 & ESP2, permettant une analyse détaillée de sa structure cristalline. Ces informations sont essentielles pour comprendre les propriétés physiques, telles que la densité, la dureté, et la conductivité thermique, ainsi que les propriétés chimiques de l'échantillon.

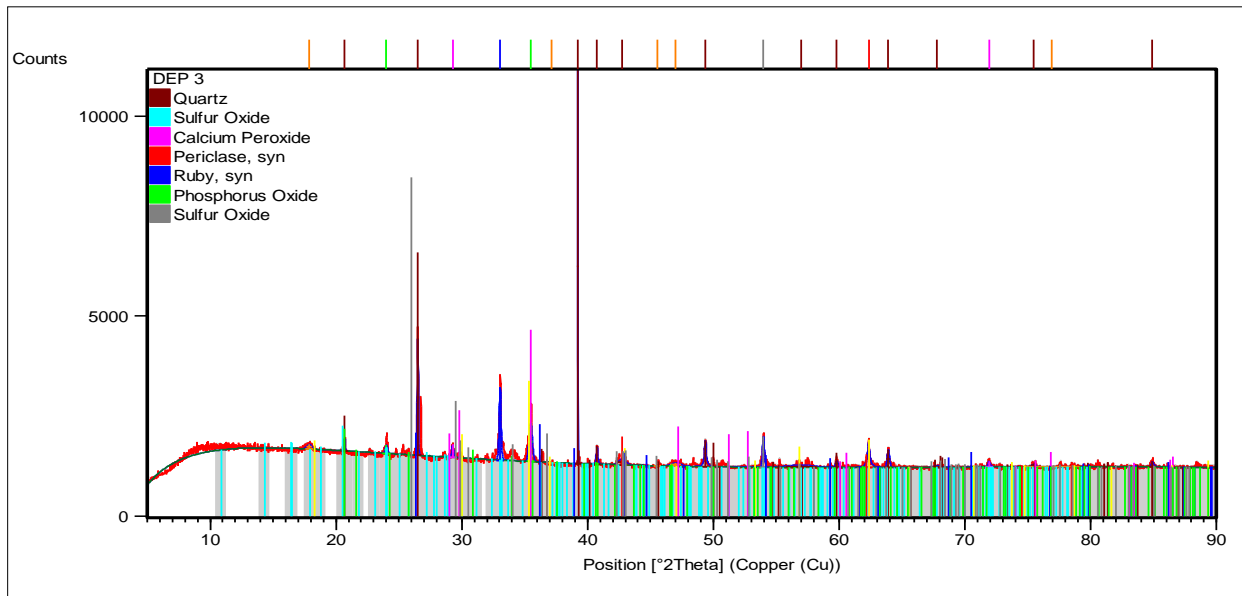


Figure IV.13 : Spectres DRX d'un Echantillon ESP3 & DEP3A

La Figure IV.13 illustre les spectres de diffraction des rayons X (DRX) pour l'échantillon ESP3 & DEP3A. Ces spectres fournissent des informations précieuses sur la structure cristalline de l'échantillon, ce qui est essentiel pour comprendre ses propriétés physiques et chimiques.

Tableau IV.5 : Identification des pics observés sur les spectres des échantillons ESP1 et ESP2

Fichier JCPDS n°	La phase	La structure	Compositions, %	Paramètre du réseau, (Å)		
				a	b	c
87-0952 [50].	Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅	43	16.8	7.62	5.29
85-0794 [51].	Silicon Oxide	SiO ₂	24	4.70	4.70	157.3
89-3072 [52].	Aluminum Oxide	Al ₂ O ₃	17	4.74	4.74	13.10
72-1664 [53].	Sulfur Oxide	SO ₃	5	5.13	10.82	12.4
80-2377 [54].	Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	4	5.07	5.07	13.70
85-0514 [55].	Calcium Peroxide	CaO ₂	3	5.00	5.00	5.93
76-1363 [56].	Magnesium Oxide	MgO ₂	3	4.81	4.81	4.81
72-1047 [57].	Arsenic	As	4	3.7	3.7	10.73
89-4082 [58].	Sodium	Na	-	3.87	3.87	6.14

Tableau IV.6 : Identification des pics observés sur les spectres des échantillons ESP3 et DEP3A

Fichier JCPDS n°	La phase	La structure	Compositions %	Paramètre du réseau, (Å)		
				a	b	c
87-0952 [50].	Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅	3	15.8	8.03	5.23
85-0794 [51].	Silicon Oxide	SiO ₂	27	4.91	4.91	5.41
70-3321 [59].	Aluminum Oxide	Al ₂ O ₃	14	4.67	4.67	12.07
72-1664 [53].	Sulfur Oxide	SO ₃	4	7.01	12.06	13.63
86-1356 [60].	Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	7	8.2	8.2	8.2
85-0514 [55].	Calcium Peroxide	CaO ₂	16	5.03	5.03	5.94
78-0430 [61].	Magnesium Oxide	MgO	4	4.13	4.13	4.13
73-2096 [62].	Sulfur Oxide	SO ₂	26	5.98	5.93	6.42

a, b, c Les paramètres de maille

Les tableaux IV.5 et IV.6 présentent une identification détaillée des pics observés sur les spectres des échantillons ESP1, ESP2, ESP3 et DEP3A. Ils répertorient plusieurs types d'oxydes, y compris l'oxyde de phosphore, l'oxyde de silicium, l'oxyde d'aluminium, l'oxyde de soufre, l'oxyde de fer, le peroxyde de calcium, l'oxyde de magnésium, l'arsenic et le sodium.

Chaque élément est caractérisé par sa structure, sa composition et les paramètres de son réseau cristallin. Ces informations sont essentielles pour comprendre les propriétés physiques et chimiques des échantillons analysés. La diversité des structures et des compositions présentes dans les échantillons pourrait indiquer une complexité dans leur formation et leur comportement.

Tableau IV.7 : Taille des cristallites

Taille	ESP1-ESP2	ESP3-DEP3A
D(nm)	42,43017352	40,6278951
D(Å)	424,3017352	406,278951

Le tableau IV.7 présente les tailles des cristallites pour les échantillons ESP1-ESP2 et ESP3-DEP3A. Les tailles sont exprimées en nanomètres (nm) et en angströms (Å).

Pour les échantillons ESP1-ESP2, la taille des cristallites est de **42,43 nm** ou **424,30 Å**. Pour les échantillons ESP3-DEP3A, la taille des cristallites est légèrement inférieure, soit **40,63 nm** ou **406,28 Å**.

Ces valeurs indiquent que les cristallites dans les échantillons ESP3-DEP3A sont légèrement plus petits que ceux dans les échantillons ESP1-ESP2. Cette différence de taille pourrait avoir un impact sur les propriétés physiques et chimiques des échantillons

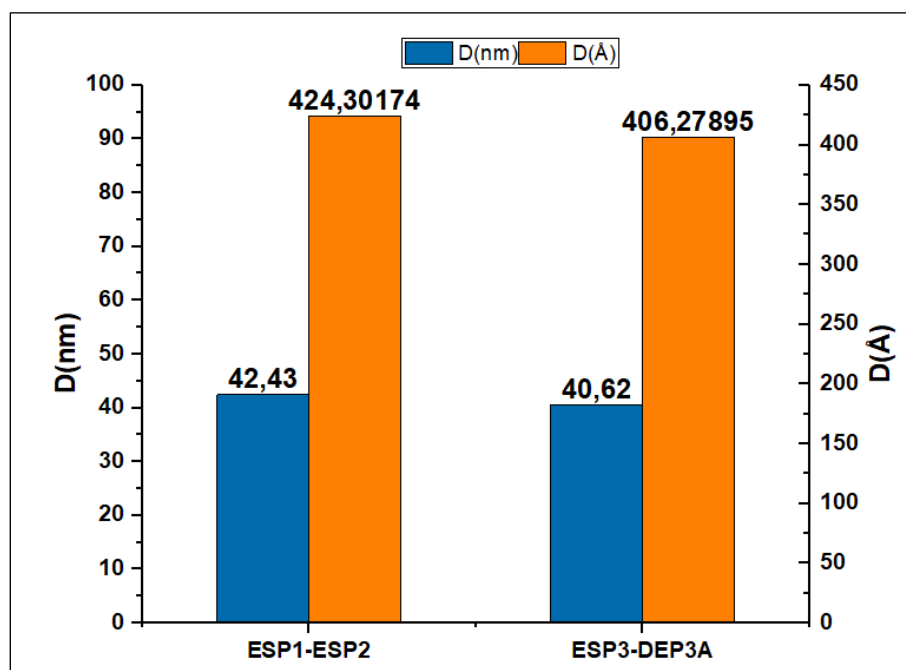


Figure IV.14 : Taille des cristallites issues du ESP1-ESP2 et ESP3-DEP3A

La Figure IV.14 illustre la distribution des tailles de cristallites pour les échantillons ESP1-ESP2 et ESP3-DEP3A. les cristallites dans les échantillons ESP1-ESP2 sont légèrement plus

grands, avec une taille moyenne de 42,43 nm ou 424,30 Å, comparativement aux échantillons ESP3-DEP3A qui ont une taille moyenne de cristallites de 40,63 nm ou 406,28 Å. Cette différence de taille pourrait avoir un impact sur les propriétés physiques et chimiques des échantillons.

IV.7 Resultat et discussion de l'Analyse par microscope électronique à balayage (MEB)

Au microscope électronique à Balayage, on observe des éléments ferreux sous de nombreux aspects : taille, forme et structure. Les résultats ont montré des grains composites constitués essentiellement de fer et de dolomite, de calcite et de quartz et de baryum. On note que les tailles des grains de l'échantillon ESP3 et DEP3A et de l'échantillon ESP1 et ESP2 sont comprises entre 50 et 150µm (voir Figure IV.15 et Figure IV.16). La granulométrie de L'échantillon ESP3 et DEP3A est très fin et fortement aggloméré par rapport à l'échantillon ESP1 et ESP2. Les formes observées dans ESP3 et DEP3A incluent des particules fines et agglomérées, tandis que ESP1 et ESP2 présentent des structures plus grossières et moins aggloméré.

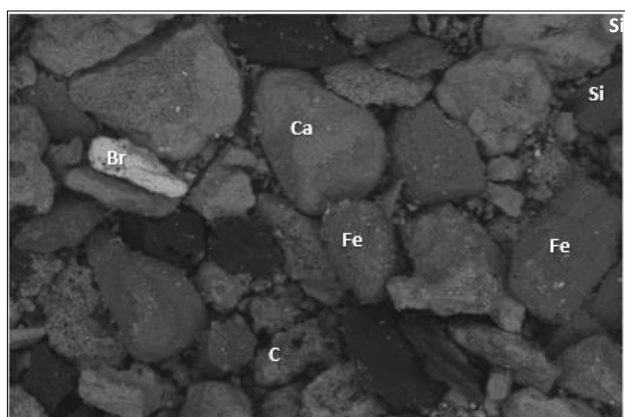


Figure IV.15 : Gangue a éléments mixte constitués de Br, Fe, Ca, Si, Mn et d'éléments ferreux OetC d'un échantillon ESP1 et ESP2

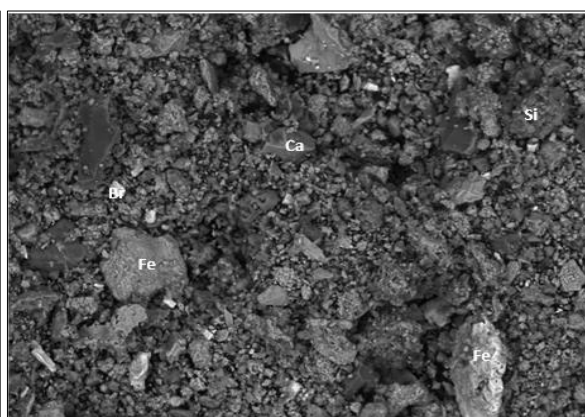


Figure IV.16 : Gangue a éléments mixte constitués de Br, Fe, Ca, Si, Mn et d'éléments ferreux O et C d'un échantillon ESP3 et DEP3A

L'EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) est une analyse par rayons X qui fournit des informations sur la composition élémentaire d'un matériau. Il fonctionne en dirigeant un faisceau d'électrons vers l'échantillon et en mesurant l'énergie des rayons X émis à la suite d'interactions entre les électrons et les atomes de l'échantillon. Ces informations peuvent ensuite être utilisées pour identifier les éléments présents dans l'échantillon et pour déterminer leurs concentrations relatives [64].

La microanalyse EDS (**Figure IV.17, Figure IV.18**) effectuée sur une microparticule montre la coexistence du Ba, Ca, Si, Fe, Al, Mn, C, et O dans le même endroit K avec le même

taux de matière ce qui prouve de la formation du composé stœchiométrique de FeO, CaO, SiO, AlO et MnO.

Les résultats montrent que le rapport stœchiométrique entre Ba, Ca, Si, Fe, Al, Mn et O est grossièrement observé, en tenant compte de l'erreur de la microanalyse EDS car le faisceau d'analyse est un peu large et donc il peut analyser une zone qui ne contient pas que Ba, Ca, Si, Fe, Al, Mn et O, on peut dire que nous assistons à l'ajustement des concentrations locales de Ba, Ca, Si, Fe, Al, Mn et O en fonction à un mécanisme de transformation spinodale du mélange Ba+O, Ca+O, Si+O, Fe+O, Al+O, Mn+O pour former localement des précipités de FeO, CaO, SiO, AlO et MnO.

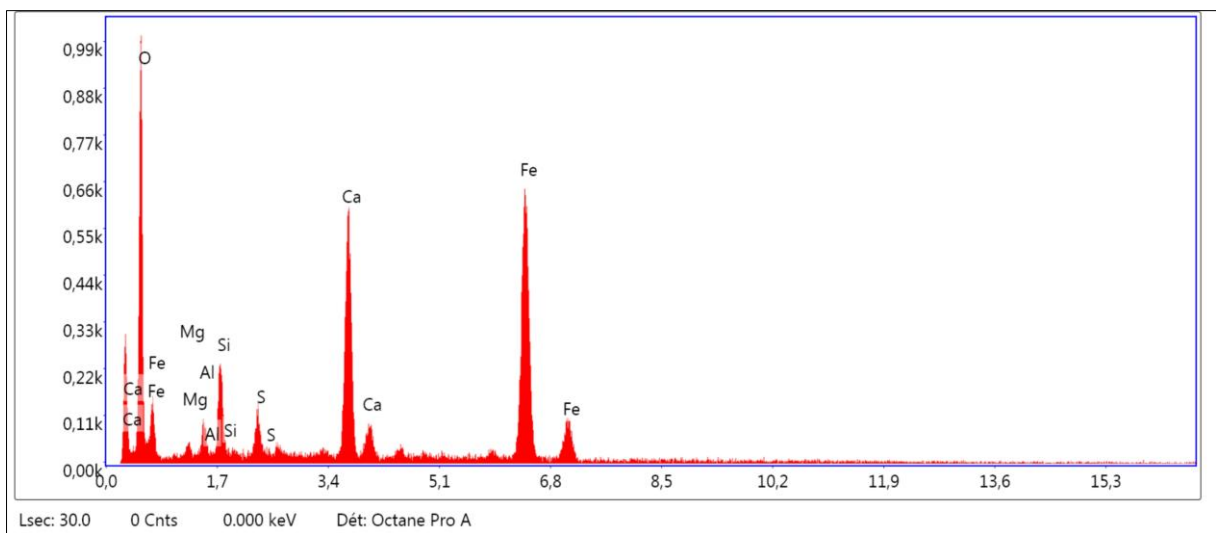


Figure IV.17 : Composition chimique de l'échantillon ESP1 et ESP2

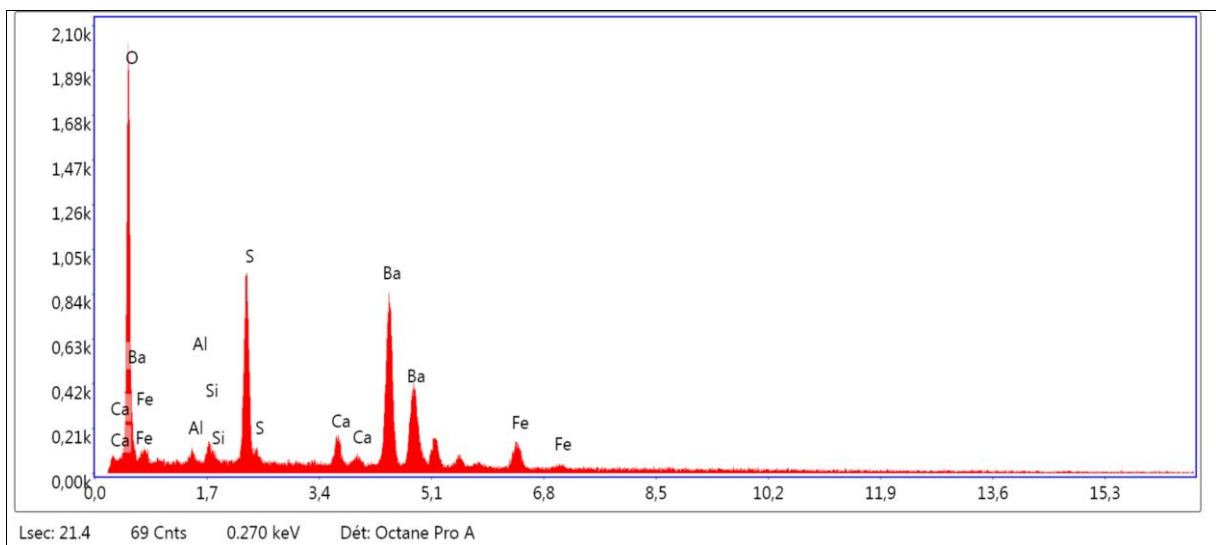


Figure IV.18 : Composition chimique de l'échantillon ESP3 et DEP3A.

IV.8 Resultats et Descussion de l'Evolution quantitative des émissions des poussières générées par les cheminées de l'unité PMA

La quantification de la poussière et des rejets atmosphériques de l'unité PMA (préparation de la matière agglomérée) par rapport aux normes fixée Décret exécutif n° 06-138 du 15 avril 2006 règlementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle (Tableau IV.8), pour l'année 2022 est donnée sur le Tableau IV.9 et la Figure IV.19.

Tableau IV.8 : Tolérance de certaines valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques selon les catégories d'installations Sidérurgique [4]

Paramètres	Unité	Valeurs Limites	Tolérance Pour Les Installations Anciennes
Poussières	Mg/Nm3	100	150
Oxyde de soufre		1200	1000
Oxyde d'azote		850	1200
Oxyde de carbone		100	150
Acides sulfureux		5	10
Acide cyanhydrique		5	10
Acide fluorhydrique		5	10
Ammoniac		50	50
Acide chlorhydrique		50	50
Métaux lourds (Hg, Pb, Cd, As,)		5	10

Le Tableau IV.8 présente les valeurs limites de tolérance pour certains paramètres de rejets atmosphériques, spécifiques aux installations sidérurgiques. Ces limites sont réglementées par le décret exécutif n° 06-138 du 15 avril 2006.

Suite aux nombreuses visites des installations de la PMA et à des rencontres avec les responsables et tous les intervenants, en particulier ceux du projet de réhabilitation et de maintenance, nous avons suivi de près la situation des dépoussiéreurs.

L'ensemble de la ligne hiérarchique et des intervenants s'accordent sur plusieurs facteurs qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à la perte de performance des équipements et au dysfonctionnement des systèmes de dépoussiérage, ainsi qu'à d'autres équipements importants de la production. Ceci est dû au manque d'achat de pièces de rechange en temps voulu, compte tenu de la situation financière de l'entreprise qui freine la maintenance, ainsi que de la période de la pandémie de Covid-19.

En effet, la défaillance des performances des dépoussiéreurs, a augmenté très rapidement, générant des pertes considérables de matière et des rejets atmosphériques sous forme de poussière.

En ce qui concerne les objectifs fixés par la réhabilitation, la dégradation des performances des nouveaux systèmes est estimée à 30-40% par rapport aux performances garanties par le constructeur.

Après la visite du chantier, nous pensons que les dépoussiéreurs fonctionnent en marge dégradée et qu'ils ont besoin d'activités de maintenance pour être pleinement opérationnels, après l'acquisition des achats nécessaires.

Dans notre calcul, nous avons pris en compte le taux de dégradation des performances des systèmes de dépoussiérage afin de refléter la situation actuelle des rejets atmosphériques.

IV.8.1 Modélisation et Quantification de la Poussière

En partenariat avec le département de l'environnement de l'entreprise Sider, nous avons conçu un modèle sophistiqué pour le calcul de la poussière. Ce modèle s'appuie sur des facteurs d'émission et intègre les techniques les plus avancées disponibles à ce jour. De plus, notre modèle est en adéquation avec les fiches AP-42, reconnues internationalement comme une source d'information fiable sur les facteurs d'émission.

Ce modèle nous offre la possibilité d'estimer de manière précise la quantité de poussière produite dans divers contextes. C'est un outil essentiel pour la gestion de la qualité de l'air et pour assurer la conformité environnementale. Grâce à ce modèle, nous sommes en mesure de prendre des décisions éclairées sur les mesures à mettre en œuvre pour réduire les émissions de poussière et minimiser leur impact sur l'environnement.

Dans le cadre de notre étude sur la quantité de poussière, nous avons utilisé les formules suivantes, fournies par le service de l'environnement :

1. La formule pour calculer la quantité de poussière (Q_P) est la suivante :

$$Q_P = T_{dep} \times H_m \times D_{air} \dots \dots \dots (1)$$

où :

- Q_P est la quantité de poussière en tonnes par mois ($T/mois$),
- T_{dep} est le taux de poussière après dépoussiérage en grammes par mètre cube normalisé (g/Nm^3),

- H_m est le nombre d'heures de marche en heures par mois (h/mois),
 - D_{air} est le débit d'air en mètres cubes normalisés par heure (Nm^3/h).
2. La formule pour calculer le taux de poussière après dépoussiérage (T_{dep}) est la suivante :

$$T_{dep} = Q_P / H_m \times D_{air} \dots \dots \dots (2)$$

Où les variables sont les mêmes que celles définies précédemment.

Ces formules empiriques, bien que non disponibles dans la littérature scientifique, sont couramment utilisées par le service de l'environnement pour estimer la quantité de poussière produite et le taux de poussière après dépoussiérage. Elles sont essentielles pour comprendre et contrôler la qualité de l'air.

Tableau IV.9 : Evolution de la quantité de poussière de la PMA (T)

Année 2022	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Rejets PMA(T)	159.59	112.57	200.08	116.35	8.36	162.17	123.23	15.43	141.58	0	94.72	167.34
Norme PMA(T)	51.30	36.92	65.85	59.96	4.24	82.23	62.31	7.72	71.32	0	47.97	86.08
Ecart(T)	108.29	75.65	134.23	56.39	4.12	79.94	60.92	7.71	70.26	0	46.75	81.28

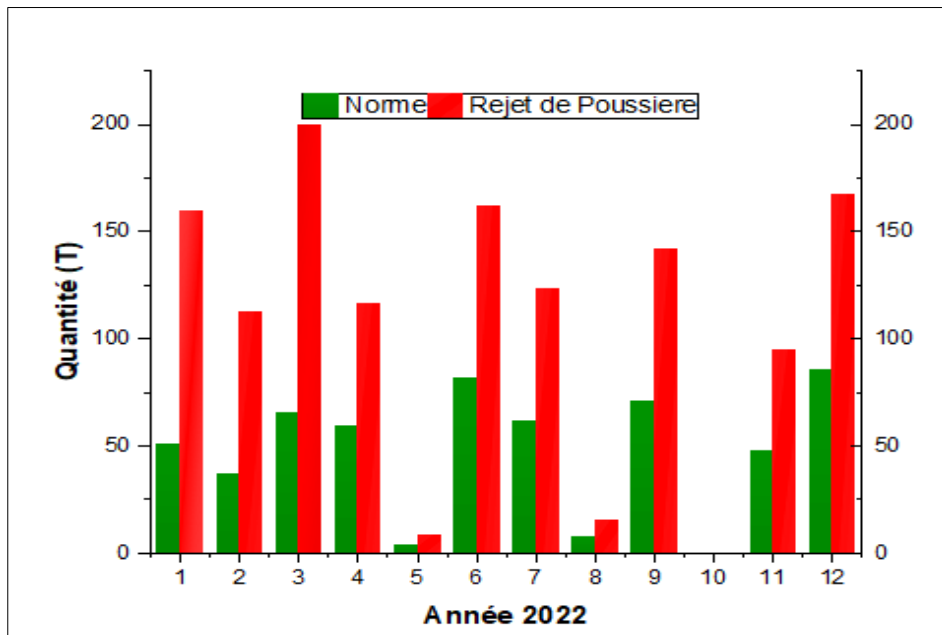


Figure IV.19 : Evolution de la quantité de rejet des poussières de la PMA

Les résultats du Tableau IV.9 et la Figure IV.19 indiquent les quantités de “Rejet de Poussière” par rapport aux normes sur une période de 12 mois en 2022. Les rejets de poussière sont généralement plus élevés par rapport aux normes dans la plupart des mois de l’année 2022.

Il est important de surveiller ces quantités pour prendre des mesures appropriées en matière d'environnement et de santé.

Tableau IV.10 : Pourcentage de l'Evolution de la quantité de poussière de la PMA

Année 2022	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Total poussière (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100
Norme (%)	32	33	33	52	51	51	51	50	50	0	51	51
Ecart total (%)	68	67	67	48	49	49	49	50	50	0	49	49

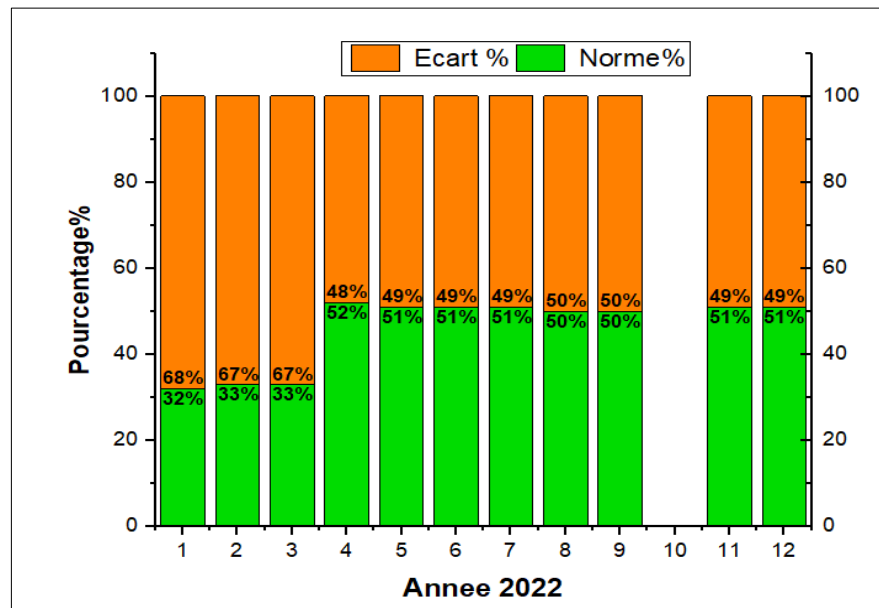


Figure IV.20 : Pourcentage de l'Evolution de la quantité de poussière de la PMA par rapport à la norme

Ces données du Tableau IV.10 et la Figure IV.20 permettent de suivre l'évolution des rejets de poussière par rapport aux normes établies. Il est essentiel de surveiller ces valeurs pour garantir la santé et l'environnement.

Tableau IV.11 : Evolution de la quantité des Gaz de la PMA (T)

Année 2022	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
CO ₂ (T)	11988.45	10384.862	20075.43	19809.17	1577.42	15394.78	10537	1535.53	14268.7	542.5	12998.3	22703.3
NO _x (T)	35.73	29.33	53.38	50.34	3.11	60.27	44.17	5.01	49.17	0.00	34.76	71.24
SO ₂ (T)	49.12	40.32	73.40	69.22	4.28	82.87	60.73	6.88	67.61	0.00	47.80	97.96

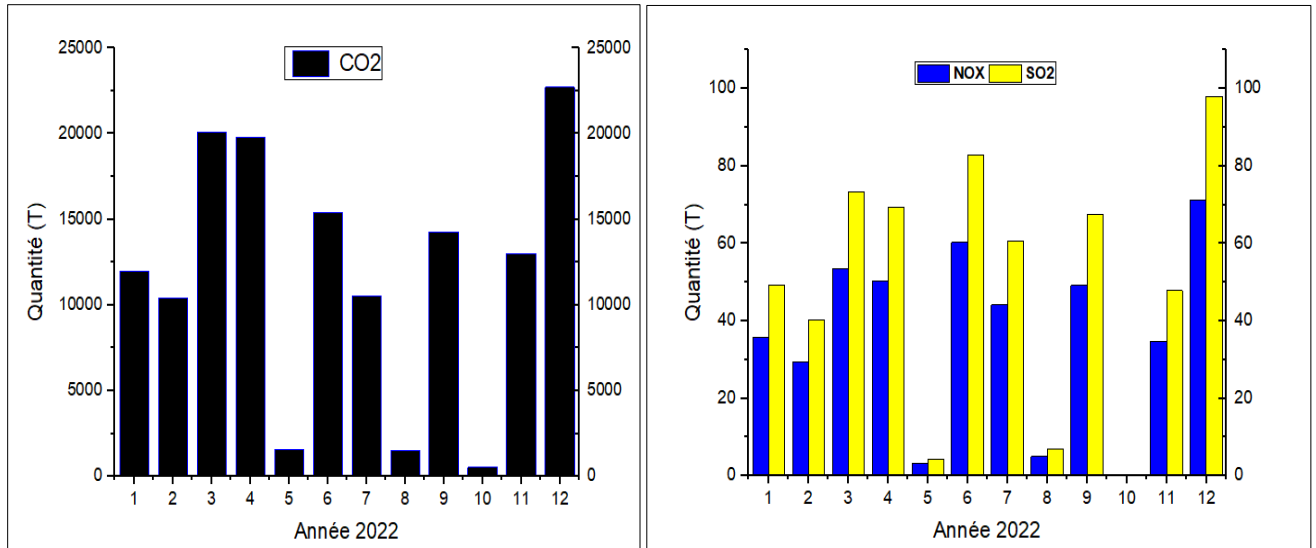


Figure IV.21 : Evolution de la quantité de rejet des gaz de la PMA

Les résultats du Tableau IV.11 et Figure IV.21 pour l'année 2022 concernant les émissions de CO₂, NO_x et SO₂ :

CO₂ : Les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) ont varié tout au long de l'année. Le mois de mars a enregistré la plus grande quantité de CO₂, atteignant 20 075,43 tonnes. Cependant, il est important de noter que les émissions ont diminué progressivement à partir de juin jusqu'à la fin de l'année.

NO_x : Les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) sont relativement faibles tout au long de l'année. Le mois de juin a enregistré la plus grande quantité de NO_x, atteignant 60,27 tonnes.

SO₂ : Les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) ont également varié. Le mois de juin a enregistré la plus grande quantité de SO₂, atteignant 82,87 tonnes. Comme pour le CO₂, les émissions de SO₂ ont diminué progressivement à partir de juin.

Il est essentiel de surveiller ces émissions pour protéger l'environnement et la santé publique. Des mesures appropriées doivent être prises pour réduire ces polluants atmosphériques.

Tableau IV.12 : Evolution de la production d'agglomération de la PMA (T)

Années 2022	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Production Agglo	44658	36657	66728	62925.9	3891.3	75335	55280	6258.8	61467	0	43456	89051

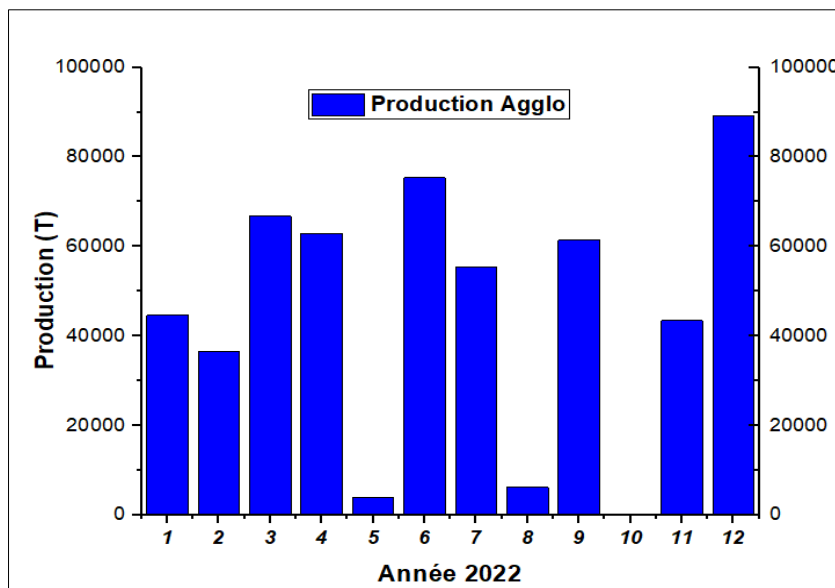


Figure IV.22 : Evolution de la production d'agglomération de la PMA (T)

La production d'agglomération de l'année 2022 dans la PMA a connu des variations mensuelles significatives, comme illustré dans le Tableau IV.12 et la Figure IV.22. En décembre, un pic de production a été observé avec 89 051 tonnes d'agglomération produites, ce qui est remarquable. Cependant, en octobre, la production était nulle en raison de la période de l'arrêt annuel 2022. Malgré ces variations, la production a globalement diminué progressivement tout au long de l'année, mais est restée relativement stable jusqu'à la fin de l'année. Il est essentiel de surveiller ces tendances pour optimiser la production et garantir un approvisionnement adéquat en agglomération. Le Tableau IV.12 et la Figure IV.22 fournissent des détails supplémentaires sur ces variations et devraient être consultés pour une compréhension plus approfondie de ces données.

Tableau IV.13 : Nombre d'heures de marche des équipements de la PMA

Année 2022	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Heures de Marche (H)	272.00	190.00	337.12	304.19	22.21	431.25	329.14	41.55	379.00	0.00	252	438.35

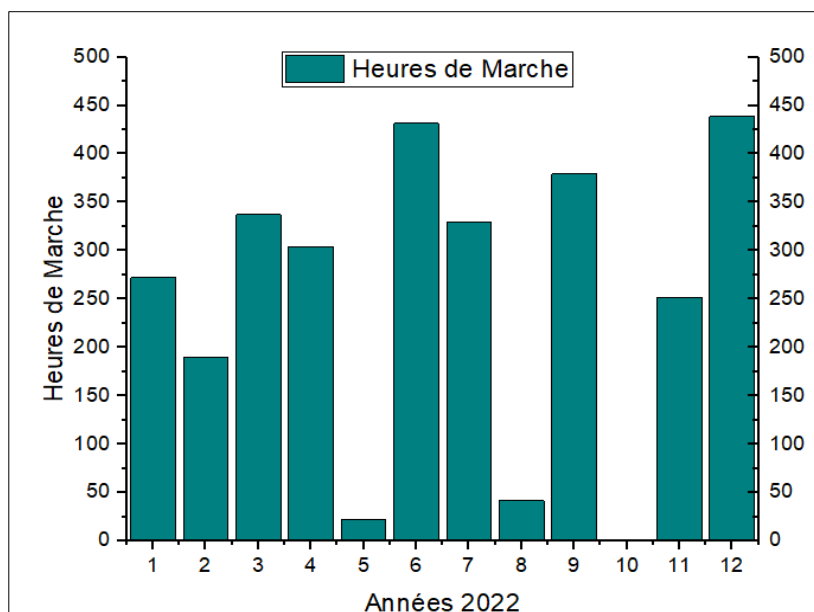


Figure IV.23 : Nombre d'heures de marche des équipements de la PMA (H)

Le Tableau IV.13 et la Figure IV.23 présentent le nombre d'heures de marche des équipements de la PMA pour l'année 2022. Ces données représentent un suivi du fonctionnement technique des équipements de la PMA.

En plus des variations mensuelles du nombre d'heures de marche des équipements de la PMA, il est important de prendre en compte plusieurs causes d'arrêt qui peuvent affecter le fonctionnement des équipements.

Parmi ces causes, on peut citer :

La maintenance : Les équipements nécessitent des entretiens réguliers pour garantir leur bon fonctionnement. Ces entretiens peuvent entraîner des arrêts temporaires de la production.

Les défaillances techniques : Malgré les meilleures pratiques de maintenance, les équipements peuvent parfois tomber en panne, ce qui nécessite un arrêt pour réparation.

Les arrêts planifiés : Certains arrêts sont planifiés à l'avance pour des raisons telles que la mise à niveau des équipements, la formation du personnel, etc.

Ces facteurs peuvent avoir un impact significatif sur le nombre d'heures de marche des équipements et, par conséquent, sur la production globale. Il est donc crucial de les prendre en compte lors de l'analyse des données de production et de planifier en conséquence pour minimiser leur impact. Le suivi de ces tendances et la mise en place de stratégies d'atténuation

appropriées peuvent aider à optimiser la production et à garantir un approvisionnement adéquat en agglomération.

Tableau IV.14 : Pourcentage de Rendement Des Systèmes De Dépoussiérages

Années 2022	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
ESP1 -2 (%)	25	25	25	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ESP3 (%)	33	33	33	60	60	60	60	60	60	60	60	60
DEP3A (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

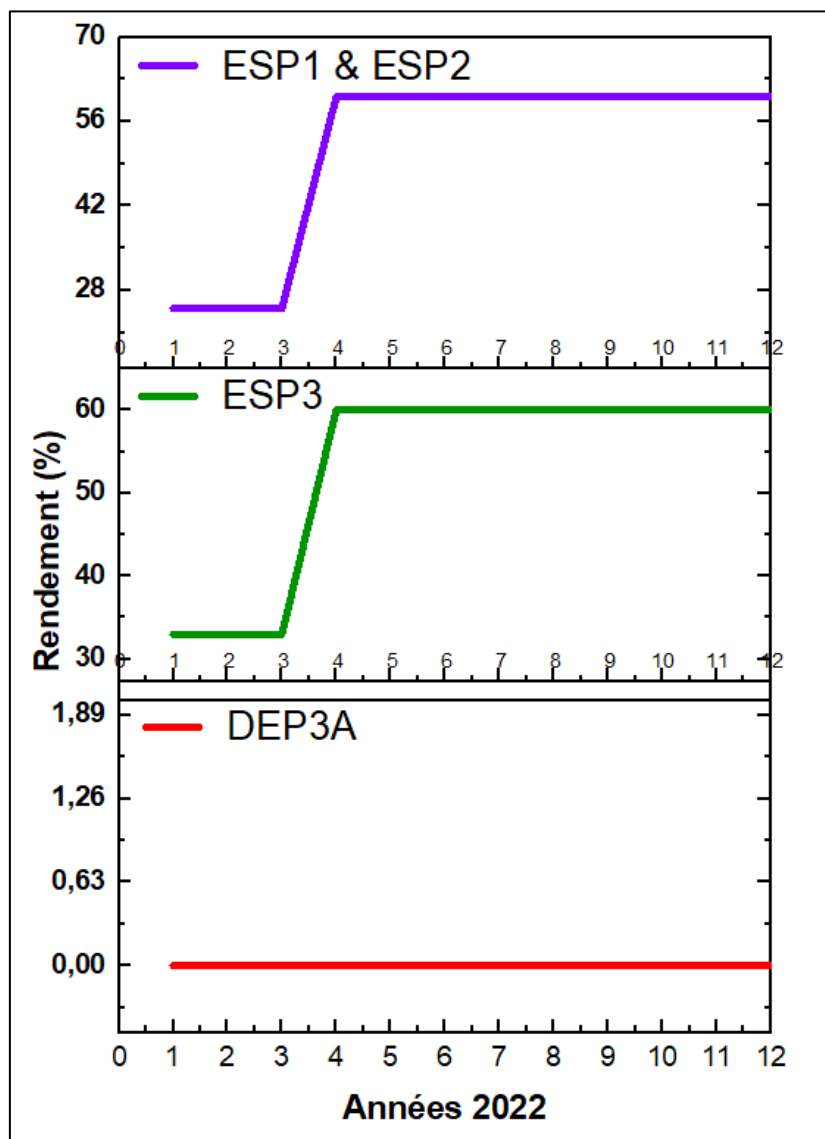


Figure IV.24 : Pourcentage de Rendement Des Systèmes De Dépoussiérages

Au cours de l'année 2022, une amélioration notable du rendement des systèmes de dépoussiérage ESP1, ESP2 et ESP3 a été observée à partir d'avril, passant de 25% et 33% respectivement en mars à 60% en avril. Ce niveau de performance a été maintenu pour le reste de l'année. Cependant, le système DEP3A n'a enregistré aucun rendement, indiquant

potentiellement un problème avec ce système qu'il n'était pas en service ou Son fonctionnement est fortement compromis.

Ces observations, illustrées dans le tableau IV.14 et la figure IV.24, soulignent l'importance d'une surveillance continue et d'une maintenance appropriée des systèmes de dépoussiérage. De plus, elles mettent en évidence des domaines clés pour des décessions futures, notamment l'analyse des facteurs contribuant à l'amélioration soudaine observée en avril et l'enquête sur la situation avec DEP3A.

Ces résultats fournissent des informations précieuses pour la planification et l'optimisation des opérations futures. Ils soulignent également l'importance d'une surveillance continue et d'une maintenance appropriée des systèmes de dépoussiérage pour garantir leur fonctionnement optimal.

Tableau IV.15 : Quantification des Rejets des poussières ESP1, ESP2, ESP3 et DEP3A par les dépoussiéreurs de l'unité PMA

Année 2022	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
ESP1-2	91.9	64.2	113.9	67.6	4.9	95.9	73.2	9.2	84.3	0	56.08	97.48
ESP3	58.73	41.02	72.79	36.12	2.64	51.21	39.14	4.93	45.01	0	29.95	52.05
DEP3A	8.93	7.33	13.35	12.59	0.78	15.07	11.04	1.25	12.29	0	8.69	17.81

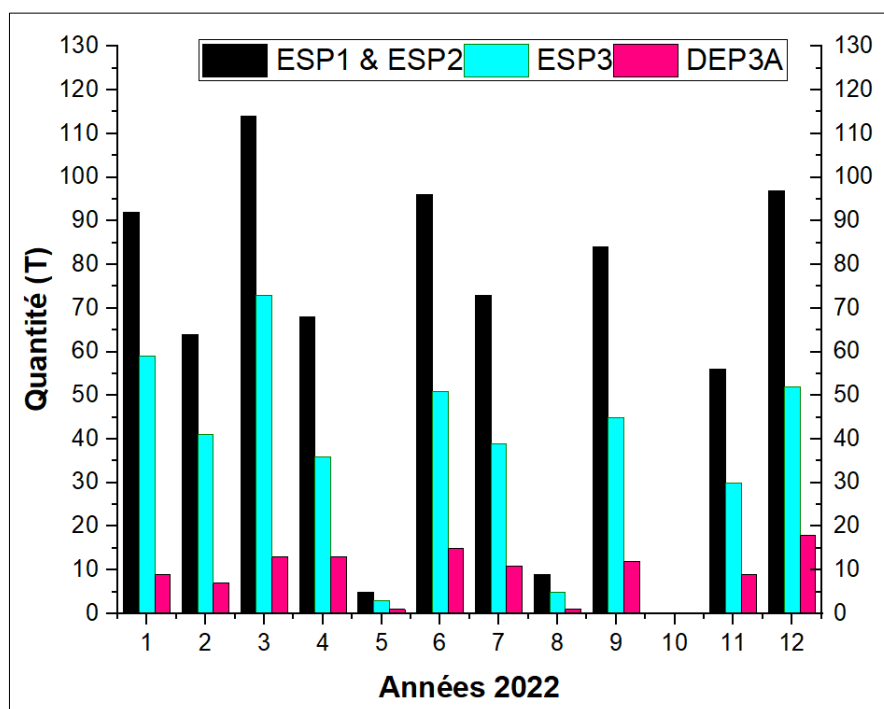


Figure IV.25 : Quantification des Rejets des poussières ESP1, ESP2, ESP3 et DEP3A par les dépoussiéreurs de l'unité PMA

En se référant au tableau IV.15 et à la figure IV.25, nous avons une vue d'ensemble des performances des systèmes de dépoussiérage ESP1-2, ESP3 et DEP3A au cours de l'année 2022. Les systèmes ESP1-2 et ESP3 ont montré une amélioration significative à partir du mois d'avril, avec des rejets de poussières réduits et un rendement accru. Cependant, le système DEP3A n'a enregistré aucun rendement, indiquant potentiellement un problème avec ce système, ou qu'il n'était pas en service, ou que son fonctionnement est fortement compromis. Ces observations soulignent l'importance d'une gestion efficace et d'une maintenance appropriée des systèmes de dépoussiérage.

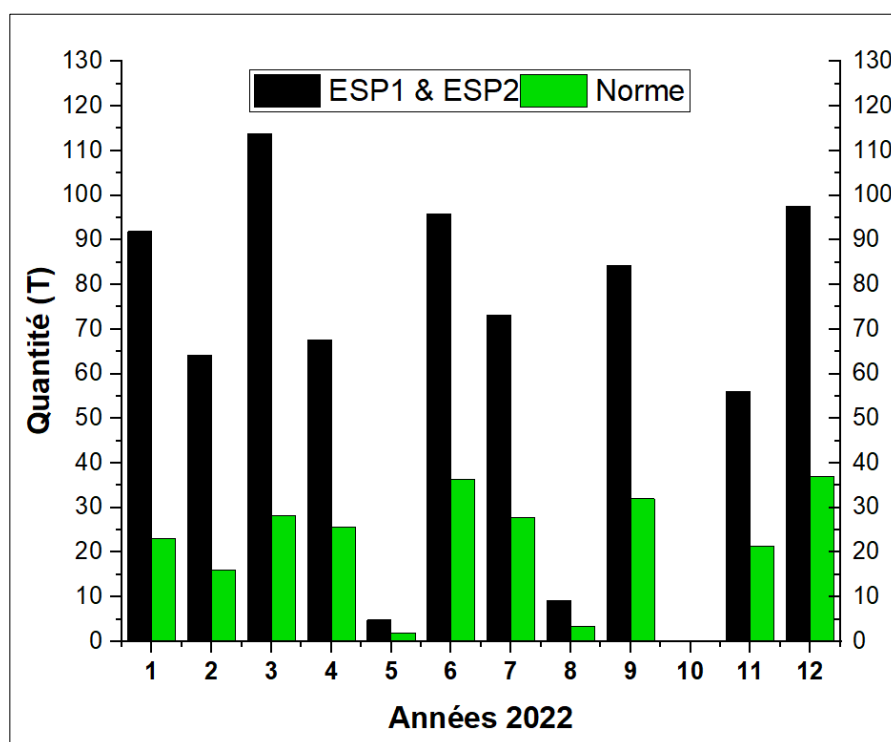


Figure IV.26 : Quantification des Rejets des poussières ESP1&ESP2 par les dépoussiéreurs de l'unité PMA

La Figure IV.26 illustre les données du tableau IV.15 pour le système de dépoussiérage ESP1-2. Cette figure représente également la norme de rejet de poussières. Il est important de noter que les rejets de poussières d'ESP1-2 dépassent largement cette norme tout au long de l'année 2022. Cela souligne la nécessité d'améliorer les performances du système de dépoussiérage pour se conformer aux normes environnementales. Une gestion efficace et une maintenance appropriée des systèmes de dépoussiérage sont donc essentielles pour minimiser l'impact environnemental.

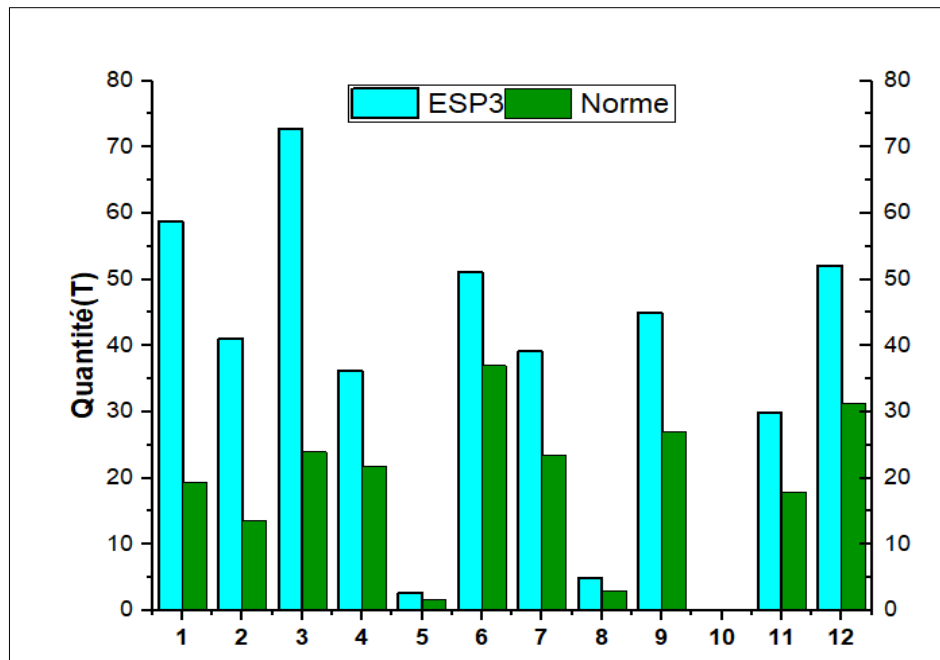


Figure IV.27 : Quantification des Rejets des poussières par le dépoussiéreur ESP3 de l'unité PMA

La Figure IV.27 met en évidence les données quantitatives relatives au système de dépoussiéreur ESP3 de l'unité PMA, en parallèle avec la norme de rejet de poussières. Il est important de souligner que les émissions de poussières d'ESP3 excèdent considérablement cette norme durant toute l'année 2022. Cela met en lumière l'impératif d'optimiser les performances du système de dépoussiéreur afin de respecter les normes environnementales. Par conséquent, une gestion rigoureuse et un entretien adéquat des systèmes de dépoussiéreur sont indispensables pour réduire au minimum l'impact sur l'environnement.

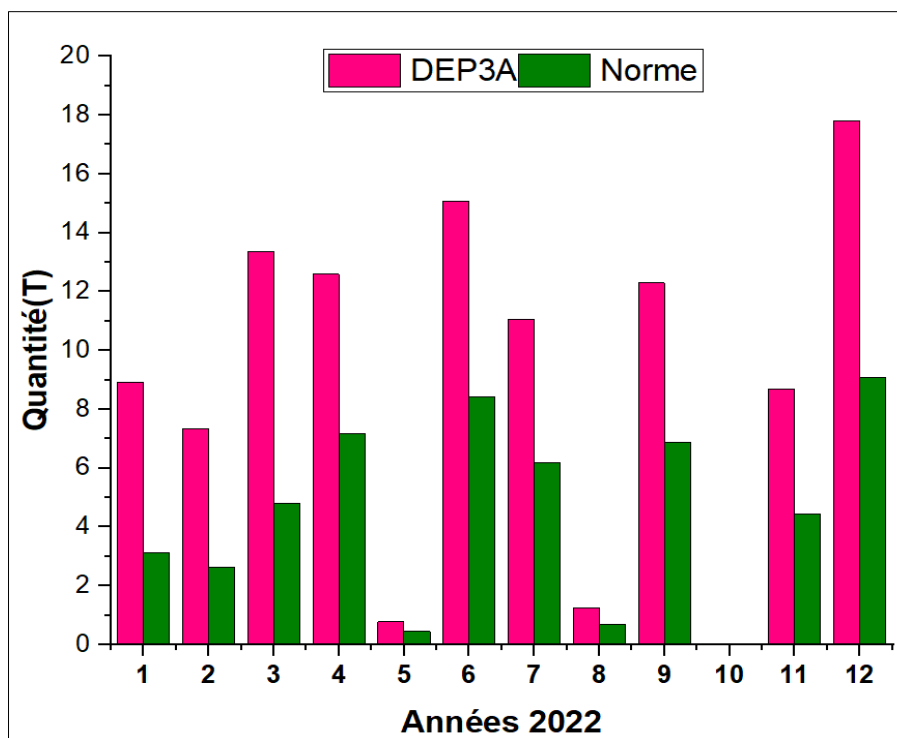


Figure IV.28 : Quantification des Rejets des poussières par le dépoussiéreur DEP3A de l'unité PMA

La Figure IV.28 démontre les données quantitatives du système de dépoussiérage DEP3A de l'unité PMA, en parallèle avec la norme de rejet de poussières. Il est essentiel de souligner que, malgré le fait que ce système n'était pas en service ou que son fonctionnement était fortement compromis, une quantité de poussière a été générée. Cela est dû au réseau d'aspiration intégré où des quantités de poussière ont été accumulées dans les silos de cet équipement. Bien que cette quantité reste insignifiante par rapport à son rôle, elle est toujours hors normes. Cela met en évidence l'importance d'une gestion et d'un entretien rigoureux des systèmes de dépoussiérage, même lorsqu'ils ne sont pas en service, afin de minimiser l'impact environnemental.

En ce qui concerne les sources fixes de rejets atmosphériques, les résultats de caractérisation de la charge polluante sont estimés avec des facteurs de rejets théoriques issus du document produit par l'USEPA et intitulé « Compilation of Air Emission Factor for Stationary Sources - Volume I, Method AP-42 » [65]. D'après les résultats obtenus de la quantification de la poussière et des rejets atmosphériques de l'unité PMA : On constate que l'évolution de la quantité de poussière de l'unité de préparation de la matière agglomérée est supérieure à la norme fixée par la loi Algérienne dans le décret 06-138, et varie d'un mois à l'autre. Cette variation est due à plusieurs facteurs dont le facteur principal qui est lié aux performances et

rendements des systèmes de dépoussiérage, qui sont instables par suite des problèmes d'arrêts répétitifs causés par le manque et non-respect de la maintenance préventive. L'autre facteur secondaire est lié au taux de marche des systèmes d'aspiration en parallèle à la production d'agglomération, parfois les systèmes d'aspiration d'air fonctionnent à vide ce qui augmente les ratios des poussières générées par rapport à la production de l'agglomération. Il est recommandé de synchroniser les systèmes d'aspiration d'air avec la chaîne de production et d'assurer une bonne maintenance des équipements et des installations de l'unité d'agglomération. La bonne maintenance et la réhabilitation des dépoussiéreurs de l'unité d'agglomération est une décision stratégique sur le plan technique, les installations réhabilitées auront un meilleur rendement par le triptyque Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité (F.M.D), ces derniers nous permettent du point de vue environnemental d'atteindre le plus rapidement possible en matière de poussière la valeur $\leq 100 \text{ mg/Nm}^3$ selon la norme algérienne dans les rejets atmosphériques, comme souligné dans le Décret 06-138 de la norme de l'environnement en vigueur.

IV.9 Resultats et Descussion des Maladies professionnelles de la zone chaude

Les Maladies professionnelles de la zone chaude au sein du complexe Sider sont présentées sur la figure IV.29.

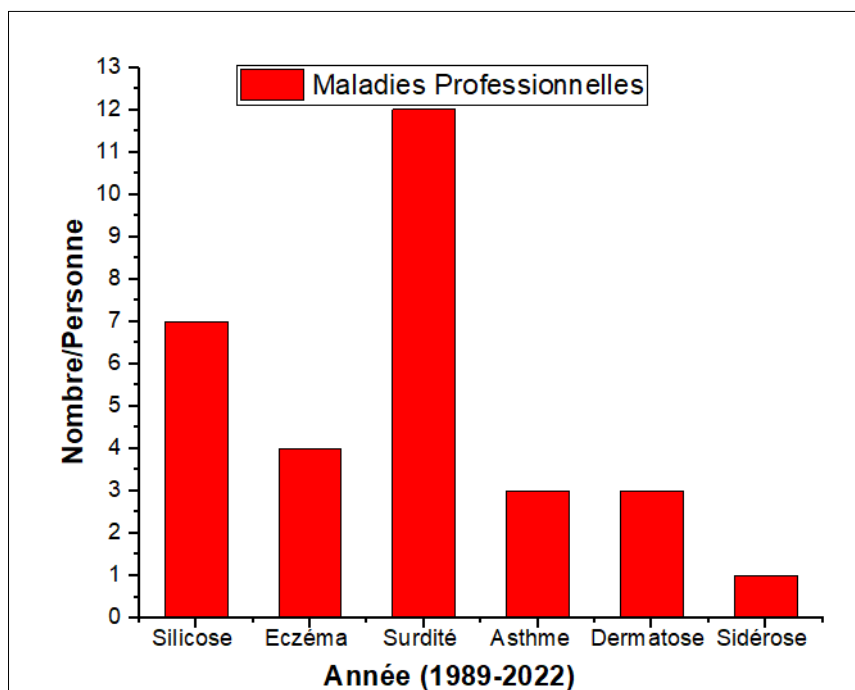


Figure IV.29 : Maladies professionnelles de la zone chaude année 1989-2022

Les résultats d'une évaluation des risques professionnels à l'aide d'un indicateur de sécurité permettent de prédire les niveaux de risque professionnel dans différents lieux de travail, ce qui aide à développer des décisions de gestion optimales pour la préservation de la sécurité et de la santé des travailleurs dans les entreprises [66]. Les améliorations dans les domaines de la santé et de la sécurité au travail peuvent contribuer à des avantages économiques, tant pour l'entreprise que pour la société. Les accidents et les maladies professionnelles peuvent entraîner des pertes financières importantes pour une entreprise.

Une enquête sur les conditions de travail des maladies professionnelles en zone chaude (Figure IV.29) menée pendant la période 1989-2022 a mis en évidence :

Les conditions de travail pénibles susceptibles de présenter des risques à court et à long terme pour la santé des salariés (efforts physiques, environnement agressif, travail alterné, etc.).

Les poussières constituent une nuisance touchant jusqu'à 40 % de l'effectif du secteur de la zone chaude ou de la fonte ; 12 % des travailleurs présentaient des images radiologiques de pneumoconioses, surtout dans la zone des matières premières (charbon, minerai) ; les postes les plus concernés sont ceux des manutentionnaires, puis des fondeurs et des maçons fumistes.

L'entreprise SIDER EL-HADJAR gère et exploite pour ses besoins deux carrières, l'une située dans la wilaya d'Annaba et l'autre dans la wilaya de Skikda.

- La première carrière est une carrière de quartzite destinée au processus des hauts fourneaux et est située au lieu-dit Ain-Djebara.
- La deuxième carrière est destinée à produire de la castine pour le complexe sidérurgique et est située à Djendel.

Les travailleurs exposés aux poussières minérales (silice, castine, poussière) occupent principalement les postes de conducteur d'engin-mineur, foreur, opérateur concasseur et autres personnels de l'unité PMA.

En ce qui concerne le facteur environnemental, les poussières sont responsables de plus de 50 % des inaptitudes médicales déclarées. 5 % des déclarations de maladies professionnelles sont dues à l'exposition prolongée aux poussières.

IV.10 Conclusions

L'étude de recherche porte sur deux sites générateurs de poussières tel que les cheminées électrofiltres chaîne d'agglomération ESP1 et ESP2, ainsi que la cheminée dépoussiéreur d'ambiance ESP3 et DEP3A ;

L'échantillon ESP1 et ESP2 est composé de trois (03) populations dont le D90 correspond aux particules de 56,915 μm . Les plus fines particules de ce dernier sont inférieures à 0,4 μm .

L'échantillon ESP3 et DEP3A est composé de 3 populations, dont D90 correspond aux particules de diamètre de 33,706 μm . Les plus fines particules de ce dernier sont inférieures à 0,2 μm .

L'échantillon ESP1 et ESP2 est plus grossier que l'échantillon ESP3 et DEP3A avec une importante population inférieure à 50 μm alors que pour le cas de ESP3 et DEP3A, il présente une population importante < 20 μm .

La composition chimique des échantillons prélevés des deux sites présentant des différences sur les différents oxydes, cette différence est dû à la nature de fonctionnement de chaque type de dépoussiéreurs car le premier a un contacte directe avec la matière première riche en fer en revanche le deuxième est lié à l'opération de traitement d'air après agglomération.

Les spectres DRX ont montrés clairement la coexistence deux grandes phases toxiques P_2O_5 , SO_2 et non toxiques SiO_2 , SO_3 , CaO_2 , Fe_3O_4 , MgO , Al_2O_3 pour l'échantillon ESP3 et DEP3A et ESP1 et ESP2.

La microscopie électronique à balayage montre des grains composites constitués essentiellement de fer et de dolomite, de calcite et de quartz et de baryum. On note que les tailles des grains du ESP3 et DEP3A sont très minimales qui ne dépassent pas 50 μm par rapport aux tailles des grains de l'échantillon ESP1 et ESP2 ne dépasse pas 200 μm .

La granulométrie du ESP3 et DEP3A très fines et fortement agglomérée par rapport à l'échantillon ESP1 et ESP2.

L'évolution de la quantité de poussière de l'unité de préparation de la matière agglomérée (PMA) est supérieure à la norme fixée par la loi Algérienne dans le décret 06-138. Cette variation est due aux performances et rendements des systèmes de dépoussiérages défectueux.

Chapitre V. Recommandations d'atténuations de la pollution engendré par la poussière

V.1 Introduction

D'une manière générale, Les poussières correspondent aux particules qui se trouvent dans l'air et dont le diamètre est inférieur à 1000 microns (μm). Elles sont naturellement présentes dans l'atmosphère et peuvent être issues de l'activité humaine : transport, chauffage, agriculture, industrie minière ou sidérurgique.

Une partie des poussières, les particules secondaires, se forme dans l'air par réaction chimique à partir de polluants précurseurs comme les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, l'ammoniac et les composés organiques volatils).

Dans l'industrie sidérurgique, les principaux rejets dégagés par la cheminée vers l'atmosphère sont constitués essentiellement par les poussières et des gaz de combustion pendant le fonctionnement des ventilateurs de cuisson et d'ambiance lors de la production de l'agglomération.

V.2 Diagnostic sur les lieux de la PMA

V.2.1 Volet Système D'information SAP

L'entreprise Sider El Hadjar ex Arcelor Mittal a adopté le système SAP ERP Il a été mis en exploitation En juillet 2006.

Avant toute définition de SAP, il est à noter qu'il s'agit d'un progiciel de gestion d'entreprise qui appartient à la famille des ERP.

Le SAP est un système dans lequel les différentes fonctions de l'entreprise (comptabilité, finances, production, approvisionnement, marketing, ressources humaines, qualité, maintenance, etc.) sont reliées entre elles par l'utilisation d'un système d'information centralisé sur la base d'une configuration client/serveur.

Le SAP est le plus important concepteur de logiciels d'Europe, et le quatrième du monde. Il fournit des systèmes de gestion et de maintenance à des entreprises de toutes tailles dans le monde entier.

La gestion de la maintenance au niveau de l'entreprise Sider est faite et prise en charge par le module SAP PM (maintenance), un nombre important d'utilisateurs chargés de manipuler le système et mettre à jour l'information en temps réel de tous les scénarios et process pré configuré ou implémenté de la maintenance préventive, curative, etc.

Les équipements de l'entreprise sont bien codifiés et insérés dans des plans de maintenance électroniques pour que les plans de maintenance selon leurs cycle et périodicités génèrent en automatique des alertes qui s'appelle avis ou ordres de maintenance,

Ces dernières permettent aux services de la maintenance d'exécuté les travaux d'entretiens des équipements selon des gammes opératoires comme indiqué par les constructeurs des machines ou des équipements dans le but d'une bonne maintenance des équipements et des installations.

Le triptyque (F.M.D) est élément essentiel dans la maintenance des équipements aura été mise en exergue par la nouvelle réhabilitation.

Maintenir les équipements en état de fonctionnement peut avoir un impact positif sur la production de l'entreprise et son environnement.

Tableau V.1 : Cycle d'appels et préventifs via le système SAP pour les équipements ESP1- ESP2 - ESP3

Appel/Année 2022	Date prévue de préventif	Réalisé		
		ESP1	ESP2	ESP3
1	02.01.2022	-	-	-
2	02.02.2022	-	10.02.2022	-
3	02.03.2022	-	-	-
4	02.04.2022	10.04.2022	-	-
5	02.05.2022	-	-	-
6	02.06.2022	-	-	-
7	02.07.2022	18.07.2022	26.07.2022	18.07.2022
8	02.08.2022	03.08.2022	04.08.2022	-
9	02.09.2022	-	-	-
10	02.10.2022	-	-	-
11	02.11.2022	-	-	-
12	02.12.2022	-	-	-

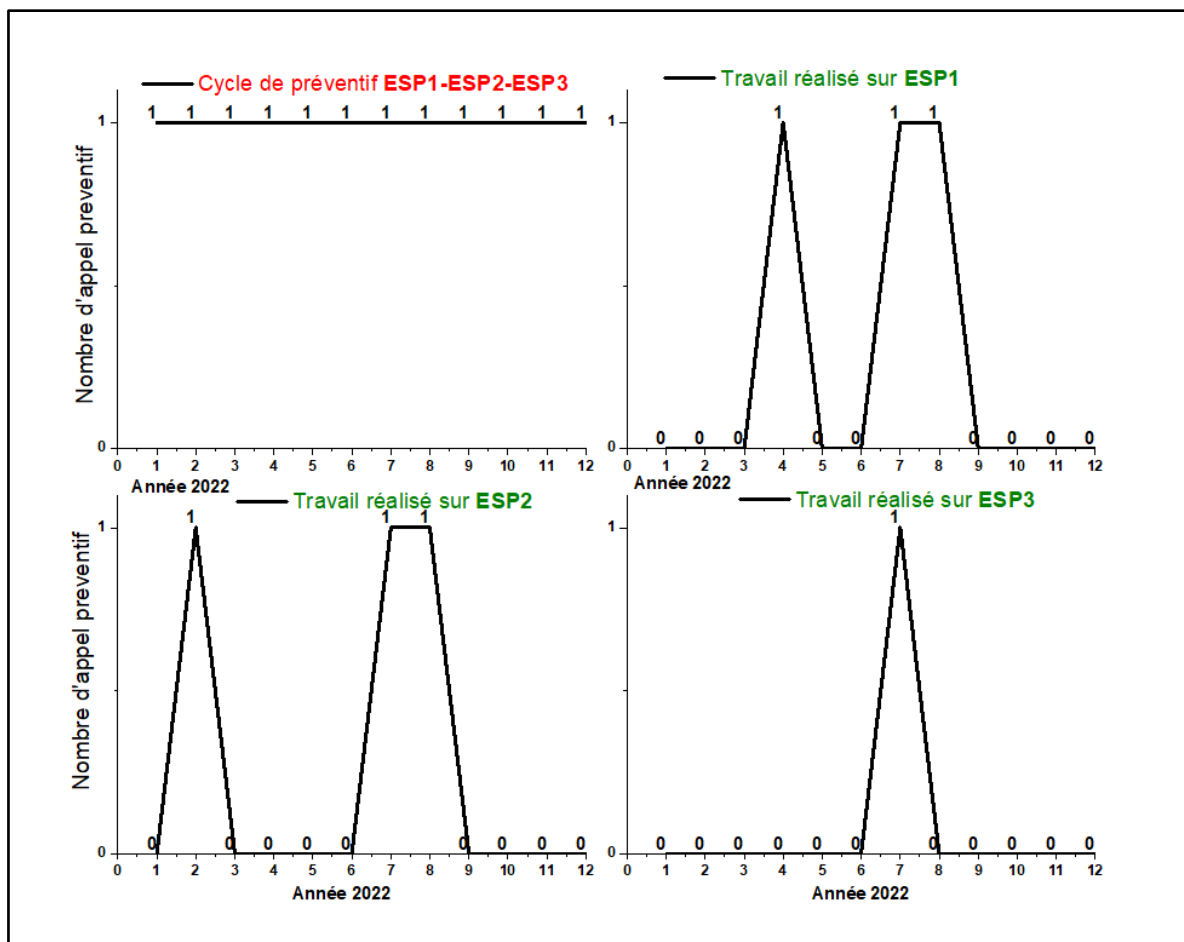


Figure V.1 : Cycle d'appels et préventifs via le système SAP pour les équipements ESP1-ESP2-ESP3

Tableau V.2 : Cycle d'appels et préventifs via le système SAP pour l'équipement DEP3A

Appel. Année 2022	Date prévue de préventif	Réalisé DEP3A
1	02.01.2022	05.01.2022
2	02.04.2022	23.03.2022
3	02.07.2022	-
4	02.10.2022	-

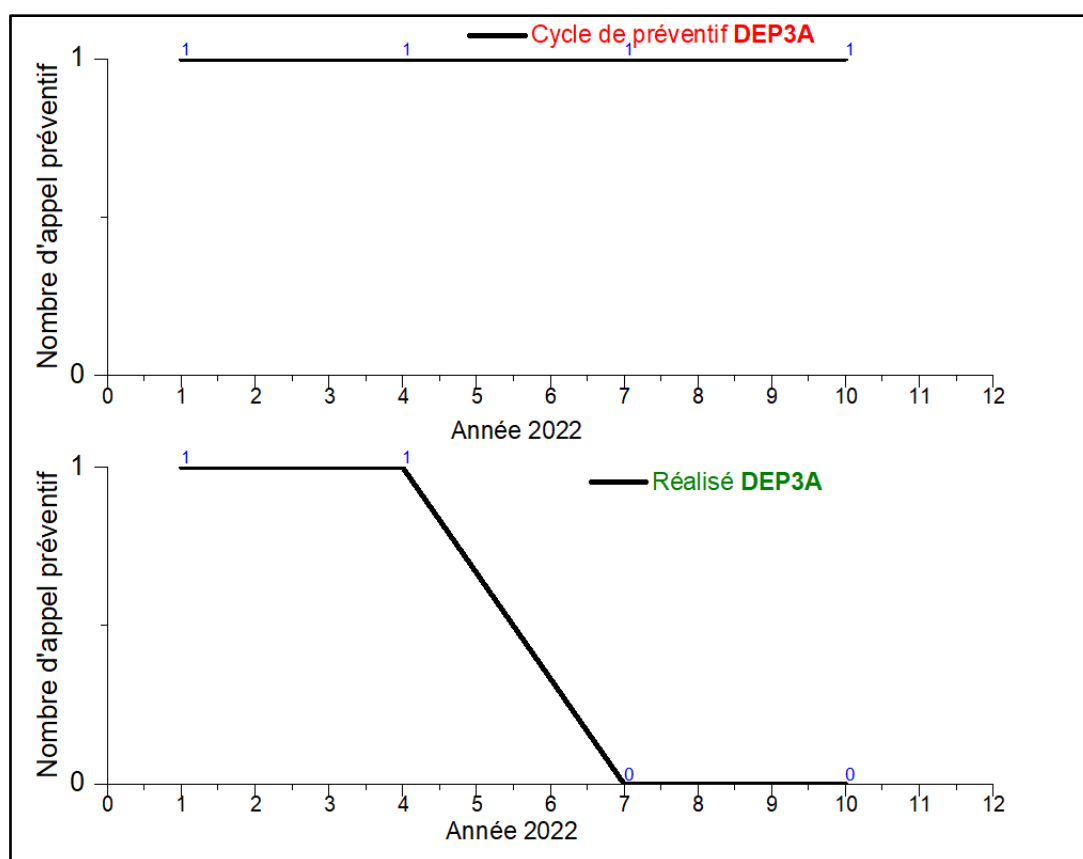


Figure V.2 : Cycle d'appels et préventifs via le système SAP pour l'équipement DEP3A

Le Tableau V.1 et la Figure V.1 présentent le cycle d'appels et les interventions préventives planifiées pour les équipements ESP1, ESP2 et ESP3 pour l'année 2022 via le système SAP. De même, le Tableau V.2 et la Figure V.2 illustrent le cycle d'appels et les interventions préventives pour l'équipement DEP3A. Il est clair que la majorité des interventions préventives n'ont pas été réalisées aux dates prévues. Cela pourrait être dû à diverses raisons non mentionnés sur le système d'information. Le non-respect de ces interventions préventives peut entraîner des défaillances dans les systèmes de dépoussiérage, ce qui souligne l'importance d'une maintenance régulière et préventive pour assurer le bon fonctionnement de ces systèmes. Il est donc crucial d'identifier et de résoudre les problèmes qui entravent la réalisation des interventions préventives à temps.

V.2.2 Volet Maintenance des équipements

Un travail de suivi et d'analyse sur les lieux de l'unité de la division de la PMA nous a permis d'aboutir aux conclusions et recommandations sur l'état des dépoussiéreurs, en mettant en évidence les problèmes et les solutions possibles ci-dessus :

V.2.2.1 Dépoussiéreur ESP1

Problème majeur : endommagement des transformateurs haute tension, notamment sur la partie redressement électronique. Cela peut être dû à une tension continue insuffisante pour l'amorçage de la poussière, suivie de frappages.

Autre problème Côté évacuation de poussière sur les transporteurs métalliques, il y a un cisaillement de la chaîne.

V.2.2.2 Solutions possibles

- Vérifier et ajuster la tension continue pour l'amorçage de la poussière.
- Renforcer les transporteurs métalliques pour éviter le cisaillement de la chaîne.

V.2.2.3 Dépoussiéreur ESP2

Problème de résistance au chauffage des trémies et des isolateurs des transformateurs.

L'autre problème d'évacuation, Les vannes pneumatiques sont sujettes au grippage des organes de distribution.

V.2.2.4 Solutions possibles

- Vérifier et remplacer les résistances de chauffage défectueuses.
- Entretien et lubrifier régulièrement les vannes pneumatiques pour éviter le grippage.

V.2.2.5 Dépoussiéreur ESP3

Le Problème majeur c'est l'usure des sas rotatifs et des trémies.

V.2.2.6 Solutions possibles

- Remplacer les sas rotatifs et les trémies usés.
- Mettre en place un programme de maintenance préventive pour prolonger la durée de vie des équipements.

V.2.2.7 Dépoussiéreur DEP3A

Le problème majeur C'est la qualité de l'air humide et pression insuffisante, nécessitant un sécheur d'air en amont.

V.2.2.8 Solutions possibles

- Installer un sécheur d'air en amont pour garantir une qualité d'air adéquate.
- Vérifier et ajuster la pression de l'air pour assurer un fonctionnement optimal du dépoussiéreur.

- Il est essentiel de mettre en place un plan de maintenance SAP-PM régulier pour éviter ces problèmes à l'avenir et assurer un fonctionnement efficace des dépoussiéreurs.

V.3 Mesures d'atténuation pour l'environnement

Les différentes mesures d'atténuation pour l'environnement peuvent être résumées comme suit :

- Nécessité d'un investissement correctif sur les systèmes de dépoussiérages
- Prévoir dans le dispositif de commande, un déclencheur automatique qui signale toute panne de matériel de résistance à la pollution ;
- S'assurer que le SO₂ et le NO_x rejetés par les cheminées soient conformes aux normes admissibles ;
- Assurer une combustion optimale dans les cheminées
- Imposer une vitesse limite aux matériel roulant circulant dans la zone PMA ;
- Fournir des masques anti-poussières aux personnes travaillant sur les sites où des particules atmosphériques sont émises : points de chargements et déchargements et Aménager une ceinture verte dans le site PMA ;
- Aménager un espace vert sur le site de l'usine et aux abords.
- Arroser régulièrement les routes pendant le transport des matières premières ;
- L'hydratation des amas de stockage est une stratégie efficace pour la maîtrise de la poussière. Cependant, il est impératif que les solutions utilisées pour cette hydratation n'entraient pas la composition chimique intrinsèque du produit stocké. Par conséquent, l'utilisation de solutions spécifiquement formulées pour cette application est recommandée. Ces solutions peuvent atténuer la production de poussière sans compromettre l'intégrité du produit. De plus, un suivi régulier est nécessaire pour garantir l'efficacité de la méthode et prévenir d'éventuelles complications. En somme, la gestion de la poussière est un aspect crucial de l'exploitation d'un site de stockage, nécessitant des mesures adéquates pour minimiser son impact sur l'environnement et la santé humaine.

V.4 Principes de création d'une métallurgie respectueuse de l'environnement et le concept de développement durable

Le développement durable de tout pays, la qualité de vie et la santé élevées de sa population, ainsi que la sécurité nationale ne peuvent être assurés qu'en préservant les systèmes naturels et en maintenant une qualité environnementale appropriée. Pour ce faire, il est nécessaire de

formuler et de mettre en œuvre de manière cohérente une politique d'État unifiée dans le domaine de l'écologie, visant à protéger l'environnement et à l'utilisation rationnelle des ressources naturelles. La conservation et la restauration des systèmes naturels devraient être l'une des priorités de l'État et de la société [67].

Les principaux facteurs de dégradation de l'environnement au niveau mondial comprennent [68]. :

- Augmentation de la consommation des ressources naturelles avec une réduction de leurs réserves ;
- Une augmentation de la population mondiale avec une réduction des zones propices à l'habitation humaine ;
- La dégradation des principales composantes de la biosphère, y compris la réduction de la diversité biologique, la diminution associée de la capacité de la nature à s'autoréguler et, par conséquent, l'impossibilité de l'existence de la civilisation humaine ;
- Un éventuel changement climatique et un appauvrissement de la couche d'ozone terrestre ;
- L'augmentation des dommages environnementaux dus aux catastrophes naturelles et d'origine humaine ;
- Niveau insuffisant de coordination des actions de la communauté mondiale dans le domaine de la résolution des problèmes environnementaux et de la régulation des processus de mondialisation pour la transition vers le développement durable de la civilisation humaine ;
- Conflits militaires en cours et activités terroristes. Les principaux facteurs de dégradation de l'environnement naturel de la Fédération de Russie comprennent :
 - La prédominance des secteurs d'extraction de ressources et à forte intensité de ressources dans la structure de l'économie, ce qui conduit à l'épuisement rapide des ressources naturelles et à la dégradation de l'environnement naturel ;
 - La faible efficacité des mécanismes de gestion de la nature et de protection de l'environnement, y compris l'absence de paiement de loyers pour l'utilisation des ressources naturelles ;
 - Un fort affaiblissement des fonctions de gestion, et surtout de contrôle, de l'État dans le domaine de la gestion de l'environnement et de la protection de l'environnement ;
 - Part élevée de l'économie souterraine dans l'utilisation des ressources naturelles ;

- Faible niveau technologique et organisationnel de l'économie, degré élevé d'usure des immobilisations ;
- Conséquences des crises économiques et du faible niveau de vie de la population ;
- Faible niveau de sensibilisation à l'environnement et de culture écologique de la population du pays.

Ces facteurs doivent être pris en compte lors de la mise en œuvre d'une politique d'État unifiée dans le domaine de l'écologie dans la Fédération de Russie.

Le potentiel unique des ressources naturelles de la Russie, s'il est utilisé efficacement, constitue l'une des conditions préalables les plus importantes pour le développement durable du pays, à la fois aujourd'hui et à long terme [77].

Les caractéristiques spécifiques du potentiel en ressources naturelles du pays résident dans sa diversité, ainsi que dans l'ampleur et la complexité de ses éléments. Dans le même temps, dans de nombreux cas, les ressources naturelles de la Russie se caractérisent, d'une part, par une faible participation à l'exploitation économique et, d'autre part, par la complexité et le niveau élevé des coûts de leur exploitation [76].

En particulier, la Fédération de Russie occupe la première ou l'une des premières places au monde en termes de réserves de nombreux minéraux importants ; le nombre de types de matières premières minérales explorées sur son territoire n'a pratiquement pas d'analogue dans le monde. A long terme, les réserves prévisionnelles, dont la disponibilité est également très importante (principalement gaz et pétrole dans la zone du plateau), devraient être de plus en plus importantes. Une participation active à l'étude et au développement des ressources de l'océan mondial dans le cadre d'une politique bien pensée peut renforcer davantage la position de la Russie dans le potentiel mondial des ressources naturelles et renforcer son influence géopolitique dans la communauté des pays du monde entier [78].

V.5 Développement durable respectueux de l'environnement

Ayant atteint un niveau extrêmement élevé de connaissance et de développement, la société crée ainsi une réelle menace pour son existence. Aujourd'hui cela représente une destruction qualitative et quantitative intensive des conditions et des ressources naturelles suffisantes et nécessaires à l'existence des êtres vivants, en particulier de l'homme. Selon les prévisions des scientifiques du Club de Rome, si les tendances actuelles dans l'interaction entre la société et l'environnement se poursuivent, l'extinction massive des terriens pourrait commencer dans 35 à 40 ans. Cela s'applique à tous les pays et à tous les peuples [71].

Depuis lors, les sociétés occidentales ont rapidement pris conscience de la situation et ont adopté l'impératif environnemental comme principe du développement économique.

L'aggravation continue de la crise environnementale, ou plutôt de la crise des relations entre la société et la nature, à la fin du XXe siècle, a nécessité des mesures radicales concernant les objectifs et les priorités du développement.

Sur cette voie, une place particulière appartient au « Sommet planétaire » - la Conférence des Nations Unies sur l'environnement naturel et le développement au niveau des chefs d'État et de gouvernement (RIO-92), tenue à Rio de Janeiro en juin 1992. Lors de ce sommet, une tentative a été faite pour développer un nouveau modèle de développement de la civilisation humaine, les principes d'un développement durable respectueux de l'environnement ont été déclarés et deux documents historiques ont été adoptés : la « Déclaration sur l'environnement naturel et le développement » et la « Déclaration mondiale ». Programme d'action - Action 21 » [72].

La conférence a déclaré qu'il est impossible pour les pays en développement de suivre le chemin par lequel les pays développés ont atteint leur prospérité, car la nature de la production et de la consommation dans la partie industrialisée du monde sape les systèmes qui soutiennent la vie sur Terre ; le système économique dominant considère la croissance illimitée comme un progrès sans tenir compte des valeurs et des dommages environnementaux. Ce modèle de civilisation est reconnu comme conduisant au désastre et, à cet égard, la nécessité a été déclarée pour la communauté mondiale de passer à un nouveau concept - le concept de développement durable, qui signifie assurer un équilibre entre la résolution des problèmes socio-économiques et préserver l'environnement, en satisfaisant les besoins vitaux fondamentaux de la génération actuelle tout en préservant ces opportunités pour les générations futures [69].

Les dirigeants de 179 pays membres de l'ONU ont appelé les gouvernements de tous les pays du monde et les citoyens de la Terre à mettre en œuvre les principes d'un développement durable et respectueux de l'environnement dans le domaine des politiques sociales, économiques et environnementales [69].

Selon la définition de la Commission mondiale des Nations Unies sur le développement et l'environnement (Commission Brundtland), le développement durable est un développement qui répond aux besoins de la génération actuelle sans que la génération future ne perde la satisfaction de ses propres besoins. Il existe aujourd'hui de nombreuses interprétations de ce terme, mais aucune d'entre elles n'est devenue généralement acceptée. Mais dans tous les cas,

nous parlons d'un développement dans les limites des capacités économiques (écologiques) de l'environnement naturel, qui n'introduit pas de changements irréversibles dans la nature et ne crée pas de menaces pour l'existence arbitrairement longue de l'homme en tant qu'espèce biologique homo sapiens [70].

Nous parlons donc de choses simples et évidentes : le bien-être humain et le bien-être de la nature. Le terme « développement durable » est associé aux concepts de développement équilibré, stable et respectueux de l'environnement [70].

Le modèle d'une société de développement durable diffère considérablement du modèle d'une société industrielle (économique), basé sur la priorité de la croissance économique grâce à l'utilisation généralisée de méthodes de production industrielles, et dans l'agriculture. Dans une société industrielle, il y a concentration de la production et de la population, urbanisation et formation d'un système de valeurs orienté vers l'efficacité et la rationalité, quelles que soient les capacités de l'environnement naturel [76].

Le progrès social et économique dans une société industrielle s'effectue dans le sens d'une augmentation du volume de production de biens matériels et de l'obtention d'avantages économiques à tout prix. Dans de telles conditions, la conservation de la nature s'avère être une question subordonnée au développement économique, ce qui rend fondamentalement impossible une protection adéquate de l'environnement. C'est pourquoi les mesures de protection de l'environnement et la législation environnementale sont souvent inefficaces.

Néanmoins, la société industrielle des pays développés a fourni à sa population un niveau élevé de bien-être matériel et de services de qualité, même si une quantité incroyable de ressources naturelles a été utilisée et l'environnement naturel a été détruit de sorte que la question de la survie de l'homme en tant qu'espèce biologique est réellement apparue.

Dans le modèle soviétique de société industrielle, la base matérielle d'une qualité de vie élevée n'a pas été créée, même si moins de ressources naturelles ont été utilisées, et même plus par unité de PIB, qu'en Occident.

En termes de structure des priorités, la société post-industrielle (post-économique) n'est pratiquement pas différente de la société industrielle (économique), mais la croissance économique est ici réalisée sur la base de nouvelles technologies, et il y a une transition d'une société productrice de matières premières à une économie de services. La production de services et d'informations joue un rôle prédominant. Une nouvelle classe socialement active est en train de se former : l'élite intellectuelle et les technocrates qui contrôlent la production matérielle et

le processus de création de hautes technologies grâce aux informations utilisées dans la production du produit final. En d'autres termes, la connaissance et l'information deviennent la principale force productive. D'où un autre nom pour la société postindustrielle : société de l'information [77].

Si une société post-industrielle (de l'information) perçoit la limitation de l'impératif environnemental dans la croissance économique, elle acquiert les caractéristiques d'une société de développement durable et économiquement sûr. Le schéma d'une telle société, contrairement à la société industrielle, repose sur l'unification organique des sphères économique, sociale et environnementale, cette dernière jouant un rôle décisif.

Ainsi, une société de développement durable est une phase qualitativement nouvelle de la société post-industrielle (post-économique), c'est un nouvel ordre social qui diffère des formes précédentes par l'importance et le rôle primordial de l'individu dans la structure sociale. Au cours de la transition vers une société de développement durable, le progrès socio-économique devrait s'incarner non pas tant dans l'augmentation du volume de production de biens matériels, mais dans le changement de l'attitude d'une personne envers elle-même et sa place dans le monde qui l'entoure.

Il n'existe aujourd'hui aucune alternative au développement durable. Le concept de développement durable prédétermine un nouveau comportement dominant de l'homme dans la nature, ce qui entraînera son déplacement vers la noosphère, aujourd'hui et dans un avenir lointain.

La concrétisation du concept de « développement durable » pour résoudre les problèmes économiques nationaux s'est exprimée dans le développement d'un modèle de « développement industriel durable respectueux de l'environnement » - « Développement industriel écologiquement durable » - (DIED). L'adoption de l'DIED signifie le début de l'ère de la « production respectueuse de l'environnement » ou des « technologies respectueuses de l'environnement » [78].

Les critères d'un développement durable respectueux de l'environnement sont les suivants :

1. Maintenir la stabilité de la biosphère (limitations écologiques). Il existe deux options :

Établir et respecter fermement les normes d'émission dans l'environnement et

Arrêter l'augmentation de la quantité totale d'émissions dans l'environnement et ensuite, si possible, la réduire ;

2. Optimisation de l'utilisation des ressources. Il s'agit avant tout de réduire la consommation d'énergie, la consommation de matériaux, la production de déchets et d'augmenter le degré de recyclage ;

3. Principe de justice. Répartition équitable du « fardeau et des résultats » entre les pays avancés et les pays en développement, entre les différentes régions et les différents groupes sociaux de la population [73].

La principale préoccupation de chaque société est d'assurer le développement mental normal et la préservation de la santé humaine. Cela est dû à la détérioration progressive de la qualité de l'environnement naturel, d'une part, et à l'effet stressant et immuno-affaiblissant de l'environnement modifié sur le corps humain, d'autre part. Les facteurs qui façonnent la santé d'une personne moderne (domaine de la santé) se répartissent comme suit : mode de vie - 53 %, écologie - 21 %, biologie (hérédité) - 16 %, système de santé - 10 %. En Russie, l'état écologique défavorable de l'environnement entraîne une augmentation de la composante environnementale de la santé jusqu'à 60-70 % [74].

La conférence RIO-92 a proposé un mécanisme financier pour soutenir un nouvel ordre socio-économique au stade de sa formation en allouant 0,7% du revenu national brut des pays industrialisés à l'aide aux pays exportateurs de matières premières. Une autre chose est que ces intentions ne se sont pas encore réalisées [75].

L'une des tâches principales de la transition vers une société de développement durable est l'évaluation des liens économiques entre l'activité économique humaine et l'environnement naturel, qui est à la fois un facteur et un obstacle à la croissance économique. C'est-à-dire que nous parlons d'un certain équilibre dynamique du système « société - milieu naturel ». Cette circonstance modifie toutes les idées antérieures sur le modèle traditionnel de croissance économique, remettant en question l'opportunité d'une croissance illimitée à tout prix.

Au lieu de cela, la nécessité de reconsidérer la définition même de l'essence de la croissance et la recherche de ses nouvelles dimensions se font sentir. L'une de ces dimensions dans les rapports du Club de Rome est appelée la barrière environnementale (barrière à la croissance), déterminée par l'épuisement des ressources naturelles et la dégradation de l'environnement naturel [79].

Un autre point de vue est que la véritable cause de la dégradation de l'environnement naturel n'est pas tant la croissance elle-même que sa structure, sa stratégie, mais aussi sa méthode.

La question de l'éducation, de la sensibilisation et de la formation est liée à pratiquement tous les domaines de l'Agenda 21 et est encore plus étroitement liée aux besoins humains, aux capacités de développement, à l'information et à la science.

De l'expérience historique internationale, il s'ensuit que le niveau de développement socio-économique de toute société ou État est déterminé par le niveau d'éducation et de culture, non pas tant d'individus ou même d'un groupe de personnes, mais par le niveau moyen d'éducation et de culture du peuple tout entier, la nation dans son ensemble. Une société plus instruite, et donc plus intellectuelle, ne percevra jamais (du moins dans les conditions actuelles) comme égale une société en retard en matière d'éducation, et donc intellectuellement.

Le niveau d'éducation réel, ou plutôt objectif, et, par conséquent, le degré de sophistication de la société russe d'aujourd'hui sont inconnus, mais cela peut être clairement démontré : selon les mesures européennes, il est parmi les plus bas. Compte tenu de l'enseignement secondaire général complet déclaré par la loi, aujourd'hui, pas plus de 75 à 80 % des enfants le reçoivent. Des centaines de milliers d'enfants n'étudient pas du tout. Il n'y a pas de véritables réformes dans le domaine de l'éducation. Ceci malgré le fait que pendant la période de transition vers le développement durable, l'éducation est considérée comme le principal domaine de formation du potentiel intellectuel de l'État, de nouvelles valeurs idéologiques, sans lesquelles, même avec l'introduction des ressources les plus efficaces- et des technologies économes en énergie, la transition vers le développement durable est impossible [80].

L'éducation et la science sont les principaux domaines de formation du capital humain. L'argent destiné à l'éducation et à la science est une ressource pour le capital humain destiné à l'accumulation de connaissances, de compétences et de spiritualité humaine. Il a été prouvé que les investissements dans le capital humain sont les plus productifs et ne sont jamais inutiles. Ce n'est pas pour rien que dans les pays développés du monde, le capital humain est considéré comme la ressource de production la plus précieuse et un puissant facteur de développement socio-économique. Aux États-Unis, déjà dans les années 80, le montant total des revenus provenant du capital physique était 14 fois inférieur à celui des connaissances et des compétences, qui, bien entendu, étaient utilisées à l'aide de décisions de gestion efficaces [81].

V.6 Conclusions

Cette partie de la thèse a été une exploration profonde des défis que représente la gestion de la pollution par les poussières dans l'industrie sidérurgique. Nous avons mis l'accent sur le complexe sidérurgique d'El Hadjar, un lieu où ces défis sont particulièrement présents. Nous

avons découvert que des problèmes tels que les transformateurs haute tension endommagés, les chaînes cisailées, les résistances de chauffage défectueuses et la qualité de l'air insuffisante sont courants. Pour y faire face, nous avons souligné l'importance d'une maintenance régulière et ciblée.

Nous avons également discuté de l'importance d'une approche proactive pour maintenir ces systèmes en bon état de fonctionnement. Cela comprend des mesures telles que la vérification et l'ajustement de la tension continue, le renforcement des transporteurs métalliques, le remplacement des résistances de chauffage défectueuses, l'installation d'un sécheur d'air en amont, et la mise en place d'un plan de maintenance régulier via le système SAP-PM.

En outre, nous avons proposé des mesures d'atténuation pour l'environnement. Ces mesures comprennent l'investissement correctif dans des systèmes de dépoussiérage plus efficaces, l'assurance que les émissions de SO₂ et de NO_x sont conformes aux normes admissibles, l'optimisation de la combustion dans les cheminées, et l'aménagement d'espaces verts sur le site de l'usine et aux alentours.

Nous avons souligné que la création d'une métallurgie respectueuse de l'environnement et le concept de développement durable sont intrinsèquement liés. La préservation des systèmes naturels et la qualité environnementale sont essentielles pour assurer le développement durable, la qualité de vie élevée et la sécurité nationale. Pour ce faire, une politique d'État unifiée dans le domaine de l'écologie est nécessaire, visant à protéger l'environnement et à utiliser rationnellement les ressources naturelles.

En conclusion, nous avons souligné que le développement durable respectueux de l'environnement est une nécessité pour toute société qui a atteint un niveau élevé de connaissance et de développement. La transition vers une société de développement durable nécessite un changement dans l'interaction entre la société et l'environnement. Cela implique de répondre aux besoins de la génération actuelle sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins.

Au total, nous avons conclu que le concept de développement durable prédétermine un nouveau comportement dominant de l'homme dans la nature, ce qui entraînera son déplacement vers la noosphère, aujourd'hui et dans un avenir lointain. Il n'existe aujourd'hui aucune alternative au développement durable. Le développement industriel durable respectueux de l'environnement est donc une nécessité pour résoudre les problèmes économiques nationaux.

Conclusion générale

Cette étude met en évidence l'importance critique de la politique environnementale en Algérie et l'engagement manifeste du gouvernement à préserver et à protéger son environnement. À travers l'analyse approfondie de l'état de l'environnement, des principes de la politique environnementale et du cadre réglementaire, il est clair que des mesures substantielles ont été prises pour réguler les activités industrielles et minimiser leurs impacts sur les écosystèmes.

La stratégie nationale sur l'environnement et le cadre juridique démontrent une volonté politique forte de promouvoir un développement durable, tandis que les institutions dédiées telles que le CNDRB et le CNTPP illustrent l'importance accordée à la recherche et à l'innovation dans la préservation de l'environnement.

L'Algérie se positionne comme un leader régional dans le domaine de la législation environnementale, adoptant une approche proactive pour garantir la durabilité de ses pratiques industrielles et assurer un avenir viable pour les générations à venir.

L'évaluation des risques de la pollution sur la santé de la population et ses interactions avec l'environnement urbain sont des éléments cruciaux dans la compréhension des défis environnementaux contemporains. Ce travail a permis d'explorer en profondeur ces problématiques à travers différentes analyses.

Une analyse approfondie a été menée sur les risques de la pollution sur la santé, mettant en lumière les impacts potentiels sur la population urbaine, notamment en termes de maladies respiratoires et de troubles cardiovasculaires.

L'impact de la métallurgie ferreuse sur l'environnement, ainsi que celui des entreprises métallurgiques sur l'atmosphère et la production de déchets solides. Ces analyses ont souligné l'importance de prendre des mesures adéquates pour limiter l'impact environnemental de ces industries, notamment en matière de contrôle des émissions et de gestion des déchets.

La description des processus de fabrication de l'unité d'agglomération AGII-PMA est également fournie, ainsi qu'une présentation schématique des points de rejets et des systèmes de dépoussiérage utilisés dans le complexe.

Les différents types de dépoussiéreurs, tels que les filtres à manches et les électrofiltres, sont examinés en détail, avec une explication de leur technologie et de leur fonctionnement.

Ce travail se penche également sur les sources d'émissions atmosphériques de la PMA, notamment les cheminées de combustion, les cheminées des dépoussiéreurs et les effets éoliens.

L'étude expérimentale souligne les variations substantielles entre les échantillons prélevés sur les sites ESP1 et ESP2 par rapport à ceux des sites ESP3 et DEP3A, tant en termes de taille de particules que de composition chimique. Ces distinctions reflètent les différences dans les processus spécifiques de dépoussiérage et d'agglomération opérant sur chaque site. Les analyses spectroscopiques, notamment la fluorescence X (FRX) et la diffraction des rayons X (DRX), révèlent des profils distincts de composés toxiques et non toxiques, soulignant ainsi la variabilité des risques pour l'environnement et la santé.

L'observation au microscope électronique à balayage (MEB) met en évidence la nature composite des particules, avec des différences significatives dans la taille des grains entre les échantillons. Il est également noté que les particules provenant des sites ESP3 et DEP3A présentent une granulométrie plus fine et une forte agglomération, tandis que celles des sites ESP1 et ESP2 sont plus grossières.

La quantité croissante de poussière émise par l'unité de préparation de la matière agglomérée (PMA) dépasse les normes environnementales algériennes, attribuée à des problèmes de performance des systèmes de dépoussiérage. Cette conclusion souligne l'importance cruciale de comprendre les caractéristiques physico-chimiques des poussières générées par ces processus industriels, afin d'identifier des mesures d'atténuation appropriées pour préserver la santé publique et l'environnement.

Notre travail présente des recommandations cruciales pour atténuer la pollution engendrée par la poussière, offrant ainsi une voie vers un environnement plus sain et durable. En examinant les systèmes d'information et de maintenance, des mesures spécifiques sont proposées pour résoudre les problèmes identifiés dans les dépoussiéreurs ESP1, ESP2, ESP3 et DEP3A. Des solutions telles que l'ajustement des tensions, le renforcement des équipements et la mise en place de programmes de maintenance préventive sont recommandées pour garantir le bon fonctionnement des systèmes de dépoussiérage.

Références bibliographiques

- [1]. Loi n° 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et développement durable du territoire. Journal officiel de la République Algérienne N° 77 P. 15. www.joradp.dz.
- [2]. Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Journal officiel de la République Algérienne N° 43 P. 06. www.Joradp.dz.
- [3]. Décret exécutif n° 06-02 du 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique. Journal officiel de la République Algérienne N° 01P. 03. www.joradp.dz.
- [4]. Décret exécutif n° 06-138 du 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle. Journal officiel de la République Algérienne N° 24 P.11. www.joradp.dz.
- [5]. Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Journal officiel de la République Algérienne N° 26 P.04. www.joradp.dz.
- [6]. Décret exécutif n° 06-198 du 31 Mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement. Journal officiel de la République Algérienne N° 37 P.08. www.joradp.dz.
- [7]. Décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement. Journal officiel de la République Algérienne N° 34 P.03. www.joradp.dz.
- [8]. Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement. Journal officiel de la République Algérienne N° 34 P.105. www.joradp.dz.
- [9]. Décret exécutif n° 07-207 du 30 juin 2007 règlementant l'usage des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, de leurs mélanges et des produits qui en contiennent. Journal officiel de la République Algérienne N° 43 P.10. www.joradp.dz.
- [10]. Décret exécutif n°07-299 et n°07-300 du 27 Septembre 2007 fixant respectivement les modalités d'application de la taxe complémentaire sur la pollution atmosphérique d'origine industrielle et sur les eaux usées industrielles Journal officiel de la République Algérienne N° 63 P.11. www.joradp.dz.
- [11]. Loi n° 04-05 du 14 août 2004 modifiant et complétant la loi n° 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme. Journal officiel de la République Algérienne N° 51 P. 03. www.joradp.dz.
- [12]. Loi n° 04-09 du 14 Aout 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable. Journal officiel de la République Algérienne N° 52 P. 08. www.joradp.dz.

- [13]. Loi n°04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. Journal officiel de la République Algérienne N° 84 P.13. www.joradp.dz.
- [14]. Décret exécutif n°06-161 du 17 mai 2006 déclarant la zone industrielle de Skikda zone à risque majeurs. Journal officiel de la République Algérienne N° 33 P.04. www.joradp.dz.
- [15]. Décret exécutif n°06-162 correspondant au 17 mai 2006 déclarant la zone industrielle de d'Arzew zone à risque majeurs. Journal officiel de la République Algérienne N° 33 P.05. www.joradp.dz.
- [16]. Décret exécutif n°06-163 correspondant au 17 mai 2006 déclarant le pôle in Amenas zone à risque majeurs. Journal officiel de la République Algérienne N° 33 P.07. www.joradp.dz.
- [17]. Loi n° 01-19 du 12 Décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, Journal officiel de la République Algérienne N° 77 P.07. www.joradp.dz.
- [18]. Décret exécutif n° 05-314 du 10 septembre 2005 fixant les modalités d'agrément des groupements de générateurs et/ou détenteurs de déchets spéciaux. Journal officiel de la République Algérienne N° 62 P.04. www.joradp.dz.
- [19]. Décret exécutif n° 05-315 du 10 septembre 2005 fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux. Journal officiel de la République Algérienne N° 62 P.05. www.joradp.dz.
- [20]. Décret exécutif n° 06-104 du 28 Février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux. Journal officiel de la République Algérienne N° 13 P.09. www.joradp.dz.
- [21]. Décret exécutif n° 07-205 du 30 juin 2007 fixant les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés. Journal officiel de la République Algérienne N° 43 P.07. www.joradp.dz.
- [22]. TIRECHE T. et all. Instrument européenne de voisinage et de partenariat vers un système de partage d'informations sur l'environnement « SEIS » RAPPORT PAYS ALGERIE European Environment Agency Kongens Nytorv 61050 Copenhagen K Denmark <http://www.eea.europa.eu>
- [23]. Pyrikov, A.N. (2000). Environmental protection at coke-chemical enterprises / A.N. Pyrikov, S.V. Vasin, B.M. Baranbaev, V.D. Kozlov. – M.: Internet – Engineering, – 176 p.
- [24]. Svatovskaya, L.B. (2005). New building material from sewage sludge / L.B. Svatovskaya, T.S. Titova, E.V. Rusanova // Ecology and industry of Russia, No. 10, 20-21 p.
- [25]. Voskoboynikov, V. G., Kudrin, V. A., & Yakushev, A. M. (2002). *General metallurgy*. Textbook for universities (6th ed., revised and additional). Moscow: ICC "Akademkniga". 768 p. (in Russian.)

- [26]. L.I. Leonov, Yu.S. Yusfin, P.I. Chernousov (2003). Waste: Impact on the environment and disposal routes / //Ecology and industry of Russia, No. 3, p. 32-35. (in Russian.)
- [27]. Podrezov, A.V. (2004). Purification of gases from fine dust / A.V. Podrezov and others //Ecology and industry of Russia, No. 11, p. 20-22. (in Russian.)
- [28]. Zhang, Q., Wang, Y., Zhang, W., & Xu, J. (2019). Energy and resource conservation and air pollution abatement in China's iron and steel industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 147, 67-84.
- [29]. Yang, H., Tao, W., Liu, Y., Qiu, M., Liu, J., Jiang, K., ... & Tao, S. (2019). The contribution of the Beijing, Tianjin and Hebei region's iron and steel industry to local air pollution in winter. *Environmental pollution*, 245, 1095-1106.
- [30]. Tang, L., Xue, X., Jia, M., Jing, H., Wang, T., Zhen, R., ... & Wang, S. (2020). Iron and steel industry emissions and contribution to the air quality in China. *Atmospheric environment*, 237, 117668.
- [31]. Mele, M., & Magazzino, C. (2020). A machine learning analysis of the relationship among iron and steel industries, air pollution, and economic growth in China. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123293.
- [32]. Conejo, A. N., Birat, J. P., & Dutta, A. (2020). A review of the current environmental challenges of the steel industry and its value chain. *Journal of environmental management*, 259, 109782.
- [33]. XING, Y., ZHANG, W. B., SU, W., WEN, W., ZHAO, X. J., & YU, J. X. (2021). Research of ultra-low emission technologies of the iron and steel industry in China. *Chinese Journal of Engineering*, 43(1), 1-9.
- [34]. Wang, J., Huang, Y., Li, T., He, M., Cheng, X., Su, T., ... & Zhang, C. (2020). Contamination, morphological status and sources of atmospheric dust in different land-using areas of a steel-industry city, China. *Atmospheric Pollution Research*, 11(2), 283-289.
- [35]. Munsif, R., Zubair, M., Aziz, A., & Zafar, M. N. (2021). Industrial air emission pollution: potential sources and sustainable mitigation. In *Environmental Emissions*. IntechOpen.
- [36]. Burciaga, U. M., Sáez, P. V., & Ayón, F. J. H. (2019). Strategies to reduce CO2 emissions in housing building by means of CDW. *Emerging Science Journal*, 3(5), 274-284.
- [37]. Kharytonov, M., Bensehoub, A., Klimkina, I., Bouhedja, A., Idres, A., Aissi, A. (2016). Air pollution mapping in the Wilaya of Annaba (NE of Algeria). *Mining Science*, 23, 183–189. doi: <https://doi.org/10.5277/msc162315>
- [38]. Bensehoub, A., Kanli, A. I. (2020). Environmental Impacts of Air Pollution on Human Health in Annaba Region (Northeast of Algeria). *Toxic Chemical and Biological Agents*. Springer, 209–216. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-024-2041-8_12

- [39]. Biletska, E. M., Onul, N. M., Nikonenko, V. I. (2018). Metallurgical enterprises as a source of atmospheric air pollution and a risk factor for deteriorating population health. *Medicni Perspektivi (Medical Perspectives)*, 23 (3 (part1)), 17–22. doi: [https://doi.org/10.26641/2307-0404.2018.3\(part1\).142329](https://doi.org/10.26641/2307-0404.2018.3(part1).142329)
- [40]. Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, 8. doi: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- [41]. Logvinov, Y. V., Laktionova, O. E., Melikhov, A. A., Kolosok, V., Vereskun, M., Mandra, N. G. (2021). Risk management in the method of calculating the economic effect of a closed air purification system. 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. doi: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215k2043>
- [42]. Urosevic, S., Vukovi, M., Pejić, B., Trbac, N. (2018). Mining-metallurgical sources of pollution in eastern Serbia and environmental consciousness. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34 (1), 103–115. doi: <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.09>
- [43]. Anwar, M. N., Shabbir, M., Tahir, E., Iftikhar, M., Saif, H., Tahir, A. et al. (2021). Emerging challenges of air pollution and particulate matter in China, India, and Pakistan and mitigating solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125851. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125851>
- [44]. Tepina, M. S., Gorlenko, N. V., Murzin, M. A. (2022). Analyzing the Impact of Dust Emissions from Metallurgical Enterprises on the Environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 988 (2), 022063. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/2/022063>
- [45]. Jablonska, M., Rachwa, M., Wawer, M., Kdziołka-Gaweł, M., Teper, E., Krzykowski, T., Smoła-Danielowska, D. (2021). Mineralogical and Chemical Specificity of Dusts Originating from Iron and Non-Ferrous Metallurgy in the Light of Their Magnetic Susceptibility. *Minerals*, 11 (2), 216. doi: <https://doi.org/10.3390/min11020216>
- [46]. Chaulya, S. K., Chowdhury, A., Kumar, S., Singh, R. S., Singh, S. K., Singh, R. K., Prasad, G. M., Mandal, S. K., Banerjee, G. (2021). Fugitive dust emission control study for a developed smart dry fog system. *Journal of Environmental Management*, 285, 112116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112116>
- [47]. Khirouni, N., Charvet, A., Drisket, C., Ginestet, A., Thomas, D., Bemer, D. (2021). Precoating for improving the cleaning of filter media clogged with metallic nanoparticles. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 311–319. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.045>
- [48]. Idres, A., Abdelmalek, C., Bouhedja, A., Benselhou, A., Bounouala, M. (2017). Valorization of mining waste from Ouenza iron ore mine (eastern Algeria). *REM – International Engineering Journal*, 70 (1), 85–92. doi: <https://doi.org/10.1590/0370-44672016700051>

- [49]. Rouaiguia, I., Bounouala, M., Abdelmalek, C., Idres, A., Benselhou, A. (2022). Optical sorting technology for waste management from the Boukhadra iron ore mine (NE Algeria). *REM – International Engineering Journal*, 75 (1), 55–65. doi: <https://doi.org/10.1590/0370-44672017750194>
- [50]. Arbib, E. H., Elouadi, B., Chaminade, J. P., Darriet, J. (1996). Brief communication: new refinement of the crystal structure of o-p2o5. *Journal of Solid State Chemistry*, 127 (2), 350–353. doi: <https://doi.org/10.1006/jssc.1996.0393>
- [51]. Machatschki, F (1936). Kristallstruktur von Tiefquarz. *Fortschritte der Mineralogie*, 20, 45–47.
- [52]. Graham, J. (1960). Lattice spacings and colour in the system alumina-chromic oxide. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 17 (1-2), 18–25. doi: [https://doi.org/10.1016/0022-3697\(60\)90170-0](https://doi.org/10.1016/0022-3697(60)90170-0)
- [53]. Pascard, R., Pascard-Billy, C. (1965). Structure précise de l'anhydride sulfurique. *Acta Crystallographica*, 18 (5), 830–834. doi: <https://doi.org/10.1107/s0365110x65002049>
- [54]. Perkins, D. A., Atfield, J. P. (1991). Resonant powder X-ray determination of the cation distribution in FeNi₂BO₅. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, 4, 229–231. doi: <https://doi.org/10.1039/c39910000229>
- [55]. Kotov, V., Raikhshtein, S. (1941). Structure of Calcium Peroxide. *Zhurnal Fizicheskoi Khimii*, 15, 1057–1058.
- [56]. Vannerberg, N. G. (1959). The formation and structure of magnesium peroxide. *Ark Kemi*, 14, 99–105.
- [57]. Schiferl, D., & Barrett, C. S. (1969). The crystal structure of arsenic at 4.2, 78 and 299 K. *Journal of Applied Crystallography*, 2(1), 30-36 doi: <https://doi.org/10.1107/s0021889869006443>
- [58]. Barrett, C. S. (1956). X-ray study of the alkali metals at low temperatures. *Acta Crystallographica*, 9 (8), 671–677. doi: <https://doi.org/10.1107/s0365110x56001790>
- [59]. Kim-Zajonz, J., Werner, S., Schulz, H. (1999). High pressure single crystal X-ray diffraction study on ruby up to 31 GPa. *Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials*, 214 (6), 331–336. doi: <https://doi.org/10.1524/zkri.1999.214.6.331>
- [60]. Okudera, H., Kihara, K., Matsumoto, T. (1996). Temperature dependence of structure parameters in natural magnetite: single crystal X-ray studies from 126 to 773 K. *Acta Crystallographica Section B Structural Science*, 52 (3), 450–457. doi: <https://doi.org/10.1107/s0108768196000845>

- [61]. Schmahl, N. G., Eikerling, G. F. (1968). ber Kryptomodifikationen des Cu (II)-Oxids. Zeitschrift F r Physikalische Chemie, 62 (5-6), 268–279. doi: https://doi.org/10.1524/zpch.1968.62.5_6.268
- [62]. Post, B., Schwartz, R. S., Fankuchen, I. (1952). The crystal structure of sulfur dioxide. Acta Crystallographica, 5 (3), 372–374. doi: <https://doi.org/10.1107/s0365110x5200109x>
- [63]. Patterson, A. L. (1939). The Scherrer Formula for X-Ray Particle Size Determination. Physical Review, 56 (10), 978–982. doi: <https://doi.org/10.1103/physrev.56.978>
- [64]. Eze, V. C., Onwukeme, V., Enyoh, C. E. (2020). Pollution status, ecological and human health risks of heavy metals in soil from some selected active dumpsites in Southeastern, Nigeria using energy dispersive X-ray spectrometer. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 102 (16), 3722–3743. doi: <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1772778>
- [65]. Frey, H. C., Li, S. (2003). Methods for Quantifying Variability and Uncertainty in AP-42 Emission Factors: Case Studies for Natural Gas-Fueled Engines. Journal of the Air & Waste Management Association, 53 (12), 1436–1447. doi: <https://doi.org/10.1080/10473289.2003.10466317>
- [66]. Romyantseva, N., Primak, E., Uljanov, A., Kiss, V. (2019). Assessment of an occupational risk using injury safety indicators. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 666 (1), 012090. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/666/1/012090>
- [67]. Anwar, M. N., Shabbir, M., Tahir, E., Iftikhar, M., Saif, H., Tahir, A., & Nizami, A. S. (2021). Emerging challenges of air pollution and particulate matter in China, India, and Pakistan and mitigating solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125851. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125851>.
- [68]. Anjum, M.S., Ali, S.M., Imad-ud-din, M., Subhani, M.A., Anwar, M.N., Nizami, A.S., Ashraf, U., Khokhar, M.F., 2021. An emerged challenge of air pollution and everincreasing particulate matter in pakistan; a critical review. *J. Hazard. Mater.* 402, 123943 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123943>.
- [69]. Gulia, S., Khanna, I., Shukla, K., Khare, M., 2020. Ambient air pollutant monitoring and analysis protocol for low and middle income countries: an element of comprehensive urban air quality management framework. *Atmos. Environ.* 222, 117120 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117120>.
- [70]. Hu, Z., Kang, S., Li, X., Li, C., Sillanpää, M., 2020. Relative contribution of mineral dust versus black carbon to Third Pole glacier melting. *Atmos. Environ.* 223, 117288 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117288>.
- [71]. Riabov VA, Stolbova OB. Modern industrial complex of the Kemerovo oblast (2017). *Bulletin of the Kemerovo State University. Series: Biological, Engineering and Earth Sciences*; (3): 41-46. DOI: 10.21603/2542-2448-2017-3-41-46

- [72]. Paramonova, O. N., & Pechegin, M. S. (2019). Analysis of the negative impact of metallurgical industry on the environment. *Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya, I*, 68-71.
- [73]. Pavlovich LB, Korotkov SG, Osokina AA (2015). The estimation of ecological risk of production activities of metallurgical plant. *Izvestiya. Ferrous metallurgy.*; 58(12): 901-905. DOI: 10.17073/0368-0797-2015-12-901-905
- [74]. Koryakov AE, Shishkina AA, Shishkina PA. (2019). Influence of metallurgical industries on ecology. *News of the Tula State University. Technical science.* (7): 275-278.
- [75]. Rakhmanin YA, Novikov SM, Avaliani SL, Sinitsyna OO, Shashina TA. (2015). Actual problems of environmental factors risk assessment on human health and ways to improve it. *Health risk analysis.*; (2): 4-9. DOI: 10.21668/health.risk/2015.2.01
- [76]. Zakharenkov VV, Golikov RA, Surzhikov DV, Oleshchenko AM, Kislitsyna VV, Korsakova TG. (2016). Risk assessment for the population health related to the emissions of large enterprises. *International journal of applied and fundamental research.*; (7-5): 801-804.
- [77]. Shcherbo AP, Kiselev AV. (2005). Assessment of the risk from the effects of environmental factors on health. St. Petersburg: SPbMAPO; 92 p.
- [78]. Grishakov K.R., (2013), The concept of sustainable development industrial enterprises (in Russian), *SCI-ARTICLE.RU*, 3, On line at: http://sciarticle.ru/stat.php?i=ponyatie_ustoychivogo_razvitiya_promyshlennogo_predpriyatiya.
- [79]. Stalinsky D.V., Mantula V.D., Epstein S.I., Muzykina Z.S., Kondratenko A.I., (2017), Analysis of water consumption and water disposal at enterprises of the mining and metallurgical complex of Ukraine, (in Russian), *Ecology and Industry*, 4, 15-2.
- [80]. Sustainable Steel, (2016), Sustainable Steel. Policy and indicators 2016, On line at: https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:c2fc4379-e6dc-4631-badb-8e7c41660b32/sustainable_steel_2016_vfinal.pdf.
- [81]. Voituk Y.Y., Kuraeva I.V., Kroyik G.A., Pavlichenko A.V., (2014), Ecological and geochemical assessment of the soil contamination levels in the areas of metallurgical enterprises operation, *Scientific Journal of the National Mining University*, 4, 45-51.
- [82]. Centre National de Développement des Ressources Biologiques (CNDRB). (2002). Décret exécutif n° 02-371 du 11 novembre 2002.
- [83]. Centre National des Technologies de Production Plus Propre (CNTPP). (2002). Décret exécutif n° 02-262 du 17 août 2002.
- [84]. Agence Nationale des Déchets (AND). (2002). Décret exécutif n° 02-175 du 20 mai 2002.

[85]. Agence Nationale des Changements Climatiques (ANCC). (2005). Décret exécutif n° 05-375 du 26 septembre 2005.

[86]. Commissariat National du Littoral (CNL). (2004). Décret exécutif n° 04-113 du 13 avril 2004.

[87]. Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD). (2002). Décret exécutif n° 02-115 du 03 avril 2002.

[88]. Agence Internationale de l'Énergie (AIE). (2021). Global Energy Review 2021: CO₂ Emissions in 2021.