

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية Populaire et Démocratique Algérienne
République

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Ahmed Ben Mohamed 2 d'Oran

معهد الصيانة والأمن الصناعي Université
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département d'hygiène et de sécurité industrielle

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène, sécurité et environnement
Spécialités : sécurité industrielle et environnement
sécurité prévention intervention

Thème

Techniques de traitement des fumées industrielle et la préservation de la santé publique au niveau de GISB

Présenté et soutenu publiquement par :

HAGANI Asma
RACHED Ismail

Devant le jury composé de:

Nom et Prénom	Grade	Établissement	Qualité
CHAHMANI		Université d'Oran 2	Président
MECHKEN Amel		Université d'Oran 2	Encadrant
DERIAS		Université d'Oran 2	Examinateur

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions **Allah** de nous avoir donné la capacité et la volonté et la patience d'aller jusqu'au bout de nos études.

Nous tenons à remercier de tout notre cœur Mme. **MECHKEN Amel**, notre encadrante de mémoire, pour son soutien, son expertise et ses conseils tout au long de notre parcours. Son dévouement et son engagement envers notre développement professionnel ont été inestimables.

Toute notre reconnaissance et notre respect vont au personnel de **GISB**. Nous remercions particulièrement M. **FETHI Zakaria** pour sa disponibilité et pour avoir pris le temps de nous aider durant ce stage avec rigueur et patience.

Nous exprimons également notre gratitude aux **membres du jury** pour avoir accepté d'évaluer notre mémoire.

Nous n'oublierons pas **nos parents** pour leur contribution, leur soutien et leur patience. Nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers eux.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail.

Merci à toutes et à tous.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ma très chère famille, qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Particulièrement à mes parents pour leur amour et support inconditionnels tout au long de mon parcours.

À mes neveux **Iyad, Issam** et **Ishak**.

À mes nièces **Chaineze, Sirine, Yasmine** et **Maissaa**.

À mes chers frères **Hamza, AbdelWaheb** et **AbdelKarim**.

À mes belles sœurs.

À mes cousins **Ibrahim, Wassim** et **Nourhane**.

À mes amies, en particulier à ma copine

Chaima.

À mon binôme **Ismail**.

Enfin je rends hommage à tous ceux que nous avons perdus, et qui vivent à jamais dans nos mémoires.

HAGANI

Dédicaces

Je dédie ce travail marquant de ma vie :

À mon très cher père, je tiens à exprimer ma gratitude pour l'altruisme et les sacrifices sans limites dont tu as toujours fait preuve. Malgré les péripéties de la vie, je ne pourrais jamais rendre ne serait-ce qu'une partie infime de ce que je te dois.

À ma très chère mère, ta patience, ta bienveillance, ton dévouement et ton courage sont admirables. Tu étais toujours présente pour nous écouter, nous réconforter et nous montrer le droit chemin. Tu as déployé énormément d'efforts pour que nous ne manquions de rien.

À mes très chers frères Yacine et Farouk, ceci est un témoignage de mon profond attachement et de ma reconnaissance pour votre soutien et votre présence indispensable.

À ma très chère sœur.

À mon binôme Asma qui a partagé avec moi les bons et les difficiles moments de ce travail.

RACHED

Résumé

ملخص

Abstract

Résumé :

Ce travail examine la pollution atmosphérique d'origine industrielle, en se concentrant spécifiquement sur les techniques de traitement des émissions dans le secteur métallurgique. L'accent est mis sur l'usine GISB-Mostaganem, spécialisée dans la production de câbles électriques, où des méthodes avancées de traitement des fumées sont appliquées pour réduire les niveaux de polluants atmosphériques. L'étude explore les impacts environnementaux de la pollution atmosphérique, les différentes technologies de traitement des émissions industrielles, et analyse en détail les stratégies spécifiques adoptées par GISB pour améliorer l'efficacité de son processus de traitement des fumées.

Mots clés :

Pollution atmosphérique, Polluants atmosphériques, Traitement des émissions industrielles , l'usine GISB

ملخص :

يدرس هذا العمل التلوث الجوي الصناعي، مركزاً بشكل خاص على تقنيات معالجة النبعثات في قطاع التعدين. يسلط الضوء على مصنع GISB-Mostaganem، المتخصص في إنتاج الكابلات الكهربائية، حيث يتم تطبيق أساليب متقدمة لمعالجة الدخان لتقليل مستويات الملوثات الجوية. يستكشف الدراسة التأثيرات البيئية لتلوث الهواء والتقنيات المختلفة لمعالجة النبعثات الصناعية، وتحليل الاستراتيجيات الخاصة التي تتبناها GISB لتعزيز كفاءة عملية معالجة الدخان لديها.

الكلمات الرئيسية : :تلوث الجوي, الملوثات الجوية, معالجة النبعثات الصناعية, مصنع GISB

Abstract :

This work examines industrial air pollution, focusing specifically on emission treatment techniques in the metallurgical sector. It highlights GISB-Mostaganem plant, specialized in electrical cable production, where advanced smoke treatment methods are applied to reduce atmospheric pollutant levels. The study explores the environmental impacts of air pollution, different technologies for industrial emission treatment, and details the specific strategies adopted by GISB to enhance the efficiency of its smoke treatment process.

Keywords :

Atmospheric pollution, Atmospheric pollutant, Industrial emission treatment, GISB plant

Liste des figures
Liste des tableaux
Liste des
abréviations

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1 :

Figure 1.1 : Nuage de fumée provenant d'une cheminée d'usine(Aletia).....	3
Figure 1.2: Les polluants atmosphériques, un mélange complexe(Airparif).....	5
Figure 1.3 : Diamètre de divers types de particules atmosphériques et leur dépositions dans le système respiratoire.(M. Bisson).....	6
Figure 1.4 : Évolution et répartition sectorielle des émissions françaises de PM10(M.Bisson).....	7
Figure 1.5 : Évolution de la concentration de dioxyde de carbone (CO ₂) dans l'atmosphère de 1959 à 2022 Earth System Research Laboratories »- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) des États-Unis.....	8
Figure 1.6 : Effets néfastes de l'ammoniac sur les écosystèmes(CivilsDaily).....	10
Figure 1.7 : Polluants atmosphériques (Airparif).....	11
Figure 1.8 : Cycle de la pollution atmosphérique(ResearchGate).....	13
Figure 1.9 : Sources d'émission de polluants atmosphériques en France(Encyclo- ecole.com)	15
Figure 1.10: Contribution des différents activités humaines aux émissions de polluants atmosphériques.(Atmo-Aura).....	16
Figure 1.1 : Fusion du métal dans un four(Algérie patriotique).....	18
Figure 1.12 : Usine d'incinération(openDemocracy).....	18
Figure 1.13 : Appareil respiratoire et pénétration des particules(planetesante.ch).....	19
Figure 1.14: Formation des pluies acides(Moutamadris.ma).....	21

Chapitre 2 :

Figure 2.1 : Principe du procédé sec classique.....	26
Figure 2.2 : Principe du fonctionnement d'un filtre à manches.....	26
Figure 2.3 : Principe de la précipitation électrostatique des particules « électrofiltre».....	27
Figure 2.4 : Principe du procédé sec refroidi – cas de l'échangeur.....	27
Figure 2.5 : Principe du procédé au bicarbonate de sodium.....	30

Figure 2.6 :Principe de fonctionnement de la régénération du bicarbonate.....	32
Figure 2.7 : Principe de fonctionnement du procédé semi-humide.....	34
Figure 2.8 :Réaction d'élimination de HCl par procédé semi-humide.....	35
Figure 2.9 : Principe de fonctionnement du procédé humide.....	36
Figure 2.10 :Principe de fonctionnement d'un laveur à un étage.....	37
Figure 2.11 :Principe de fonctionnement d'un laveur à deux étages.....	38
Figure 2.12 :Principe de fonctionnement du traitement physico-chimique du liquide de lavage.....	40
Chapitre 3 :	
Figure 3.1 :Vue géographique de l'entreprise.....	52
Figure 3.2 :Organisation de l'entreprise.....	53
Figure 3.3 :Processus de fabrication d'un câble électrique.....	56
Figure 3.4 :Une tréfileuse.....	57
Figure 3.5 :Une coupe d'une filière.....	58
Figure 3.6 :Câblage.....	58
Figure 3.7 :Assemblage des câbles électriques.....	59
Figure 3.8 :Gainage.....	59
Figure 3.9 :Évolution du pourcentage de personnes exposées à l'asthme (femme / hommes) Dans les environs de l'usine GISB.....	64
Figure 3.10 :Effet des émissions de l'usine GISB – 2012.....	65
Figure 3.11 : Station de traitement des fumées au niveau de GISB – procédé humide...	68
Figure 3.12 :Passage des fumées et des poussières.....	69
Figure 3.13 :Principe de fonctionnement d'échangeur de chaleur.....	70
Figure 3.14 :Principe de fonctionnement de dépoussiéreur.....	71
Figure 3.15 :Principe de fonctionnement des laveurs.....	74
Figure 3.16 : Cannes de prélèvement – GISB.....	74
Figure 3.17 : Gestion des effluents liquides.....	75

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Les populations vulnérables à la pollution atmosphérique, les facteurs qui les rendent vulnérables, les impacts potentiels de la pollution sur leur santé et les mesures de protection qui peuvent être mises en place pour les protégés.....	20
Tableau 2. 1 : Avantages et inconvénients du procédé sec à la chaux.....	29
Tableau 2.2 : Avantages et inconvénients de procédé sec sodique.....	33
Tableau 2.3 : Comparaison des procédés sodiques et calciques.....	33
Tableau 2.4 : Avantages et inconvénients du procédé semi-humides.....	38
Tableau 2.5 : Avantages et inconvénients du procédé humide.....	41
Tableau 3.1 : La fiche technique de la câblerie.....	54
Tableau 3.2 : Polluants atmosphériques émis par l’usine GISB et leurs effets potentiels sur la santé et l’environnement.....	62
Tableau 3.3: Analyse préliminaire des risques pour les opérations de GISB en 2022.....	67
Tableau 3.4 : comparaison des concentrations de polluants (HCl , HF, SO ₂ , poussières, métaux lourds) avant et après le traitement dans l’usine GISB – 2022.....	73

LISTE DES ABRÉVIATIONS

GISB : Groupe Industriel Sidi Bendhiba

CEI :Commission Electrotechnique Internationale

UTE :Union technique de l'électricité

CENELEC :Comité Européen de Normalisation pour l'Electrotechnique

BSI :British Standards Institution

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

IED : Industrial Emissions Directive

PM : Particulate Matter

BM : Banque Mondiale

UV : Les Rayons Ultraviolets

PPM :Partie Par Millions

GES : Gaz à Effet Serre

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

CSC : Captage et Stockage du Carbone

COV : Composés Organiques Volatils

COVNM : Composés Organiques Volatils Non Methaniques.

EPA : Environmental Protection Agency

BT : Basse Tension

MT : Moyenne

Tension **HT** : Haute

Tension

THT : Très Haute Tension

POP : Polluants Organiques Persistants

DEI : Directive relative aux Émissions Industrielles

CAA :Clean Air Act

NSPS : New Source Performance Standard

LCPE : Loi Canadienne sur la protection de l'environnement

BAT : Best Available Technique

TABLE DES MATIERES

Dédicaces

Remerciements

Résumé

ملخص

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale	1
Chapitre I :	
1. Introduction	
2. <u>Définition de la pollution atmosphérique</u>	2
3. <u>Les polluants atmosphériques</u>	
3.1. <u>Définition</u>	3
3.2. <u>Les principaux types de polluants atmosphériques</u>	4
3.2.1. <u>Les polluants primaires</u>	4
3.2.2. <u>Les polluants secondaires</u>	9
4. Sources de la pollution atmosphérique.....	11
4.1. <u>Sources naturelles</u>	11
4.2. <u>Sources anthropiques</u>	12
5. <u>Répartition des Émissions Polluantes par Secteur</u>	13
6. <u>Les Émissions de Fumées Industrielles : un contributeur majeur</u>	16
6.1. <u>Les fumées d’usines</u>	16
6.1.1. <u>Définition</u>	16
6.1.2. <u>Types de fumées industrielles</u>	16
6.1.3. <u>Sources des fumées industrielles</u>	17
6.2. <u>L’impact des émissions industrielle sur la santé publique, l’environnement et l’économie</u>	
6.2.1. <u>Sur la santé publique</u>	18
6.2.2. <u>Sur l’environnement</u>	20
6.2.3. <u>Impacts économiques</u>	21
7. <u>Rôle des entreprises dans la lutte contre la pollution</u>	22
Conclusion	22

Chapitre II :

Introduction.....	23
2. Définition du traitement des fumées	23
2.1. Les types de traitement des fumées	23
2.1.1. Traitement sec	23
2.1.1.1. Epuration par voie sèche par réactif calcique	23
2.1.1.1.1. Procédé sec classique	23
2.1.1.1.2. Procédé sec refroidi	25
2.1.1.1.3. Nature des réactifs	26
2.1.1.1.4. Réactions chimiques	26
2.1.1.1.5. Consommation de réactifs	27
2.1.1.1.6. La gestion des sous produits	27
2.1.1.1.7. Avantages et inconvénients du procédé	28
2.1.1.2. Epuration par voie sèche par réactif sodique	28
2.1.1.2.1. Description du procédé	28
2.1.1.2.2. Nature des réactifs	29
2.1.1.2.3. Réactions chimiques	29
2.1.1.2.4. Consommation de réactifs	30
2.1.1.2.5. La gestion et la valorisation des sous-produits	30
2.1.1.3. Avantages et inconvénients de procédé	31
2.1.1.4. Comparaison des différents réactifs alcalins	32
2.1.2. Epuration par voie semi-humide	32
2.1.2.1. Description de procédé	32
2.1.2.2. Aspect théorique	33
2.1.2.3. Avantages et inconvénients du procédé	34
2.1.3.	Traitements
humides	34
2.1.3.1. Description du procédé	34
2.1.3.2. Configuration des systèmes de lavage	35
2.1.3.2.1. Lavage à un étage	35
2.1.3.2.2. Lavage à deux étages.....	36
2.1.3.2.2.1. Etage 1 (Acide).....	37
2.1.3.2.2.2. Etage 2 (Basique).....	37
2.1.3.3. Gestion des effluents liquides issus du traitement humide	38
2.1.3.3.1. Traitement physico-chimique	38
2.1.3.3.2. Traitement biologique.....	39
2.1.3.4. Consommation de réactifs	40
2.1.3.5. Avantages et inconvénients du procédé	40
2.2. Les critères de sélection des procédés de traitement de fumée	40
2.2.1. Les polluants à éliminer.....	40
2.2.2. Les caractéristiques des fumées.....	41
2.2.3. Coût.....	41
3. L'importance de traitement des fumées	42
3.1. Protection de l'environnement	42
3.2. Protection de la santé publique	42

3.3. Conformité réglementaire	42
3.4. Responsabilité sociale et image de l'entreprise	43
3.5. Valorisation des sous-produits	43
4. Normes et réglementations internationales sur le traitement des émissions atmosphériques..	43
4.1. Normes internationales sur le traitement des fumées	43
4.2. Législation mondiale sur le contrôle des émissions de polluants	44
4.3 .Aspects communs et principes directeurs	46
5. Législation algérienne sur le traitement des fumées et la gestion des émissions atmosphérique ...	47
5.1. Décrets algériens	47
5.2. Inspections et sanctions pour le respect des normes de traitement des fumées en Algérie ...	49
Conclusion	49

Chapitre III :

Introduction	50
1. Présentation du câblerie Sidi Bendehiba (GISB).....	50
1.1. Situation géographique	50
1.2. Historique.....	51
1.3. Organigramme.....	51
1.4. Fiche technique du GISB.....	52
1.5. Fonctionnement.....	52
1.6. Les procédés de fabrication d'un câble électrique.....	53
1.6.1. Description de la production au niveau de site 02.....	53
1.6.1.1. Différents types matières premières utilisées.....	54
1.6.1.2. Tréfilage.....	54
1.6.1.3. Câblage	55
1.6.2. Description de la production au niveau de site 01.....	56
1.6.2.1. Isolation	56
1.6.2.2. L'assemblage	56
2. La politique environnementale	57
3. Le rôle de GISB dans la réduction des émissions atmosphériques.....	58
4. Polluants atmosphériques émis par l'usine GISB et leurs effets potentiels sur la santé et l'environnement	60
5. Sources de polluants et émissions atmosphériques au niveau de GISB	61
6. Impact des émissions sur la santé publique et l'environnement.....	62
6.1. Sur la santé	62
6.2. Sur l'environnement.....	63
7. Rôle du responsable HSE	63
8. Traitement des fumées à l'usine	66
8.1. Description de procédé	66
8.2. Mode opératoire.....	69
8.3. Réactions chimiques des polluants avec l'eau dans les laveurs.....	69
8.4. Performances de procédé	70
8.5. Gestion des effluents liquides issus du procédé	72
Conclusion.....	73

Conclusion générale :	74
Bibliographie	75

Introduction Générale

Introduction générale :

La pollution atmosphérique constitue aujourd'hui un enjeu majeur de santé publique et de préservation de l'environnement. Avec l'accélération de l'industrialisation et l'augmentation continue de la population mondiale, les niveaux de polluants atmosphériques ont considérablement augmenté, posant des risques graves pour la santé humaine et les écosystèmes. Parmi les principales sources de cette pollution, les émissions industrielles occupent une place prépondérante, en particulier dans le secteur métallurgique.

Les effets de la pollution de l'air sont multiples et variés. Ils incluent des maladies respiratoires et cardiovasculaires, des problèmes de développement neurologique chez les enfants, ainsi que des impacts néfastes sur la faune et la flore. De plus, la pollution atmosphérique contribue de manière significative au changement climatique, exacerbant les phénomènes météorologiques extrêmes et mettant en péril la biodiversité mondiale.

Dans ce contexte, la mise en place de techniques efficaces de traitement des émissions industrielles est essentielle pour réduire les niveaux de pollution et protéger la santé publique et l'environnement. Diverses technologies ont été développées, allant des procédés physiques et chimiques aux méthodes biologiques, pour capturer et neutraliser les polluants avant qu'ils ne soient libérés dans l'atmosphère.

Ce mémoire s'inscrit dans cette problématique et vise à explorer les techniques de traitement des émissions industrielles, avec un focus particulier sur le traitement des fumées dans les usines métallurgiques. L'étude se concentrera spécifiquement sur l'usine GISB, spécialisée dans la production de fils de cuivre et de câbles électriques. Nous examinerons les méthodes de traitement des fumées mises en œuvre dans cette usine et évaluerons leur efficacité.

Le premier chapitre de ce mémoire présentera les aspects généraux de la pollution atmosphérique et ses impacts environnementaux. Le deuxième chapitre sera dédié aux différentes techniques de traitement des émissions industrielles. Enfin, le troisième chapitre offrira une étude de cas détaillée du traitement des fumées au niveau de l'usine GISB, mettant en lumière les défis spécifiques rencontrés et les solutions adoptées.

Ce travail a pour objectif de fournir une compréhension approfondie des enjeux liés à la pollution industrielle et de proposer des solutions concrètes pour atténuer ses effets, contribuant ainsi à la préservation de la santé publique et de l'environnement.

Chapitre 1 :

La pollution atmosphérique et ses impacts environnementaux

1. Introduction

L'air que nous respirons est un élément essentiel à la vie. Pourtant, il est aujourd'hui menacé par la pollution atmosphérique. Cette dernière est un problème environnemental majeur qui affecte la santé humaine et l'écosystème planétaire. Elle est causée par l'émission de diverses substances polluantes dans l'atmosphère qui peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Les sources anthropiques de pollution atmosphérique comprennent la combustion de combustibles fossiles, les activités industrielles, le transport et l'agriculture...etc.

Ce chapitre examinera les différents types de polluants atmosphérique, leurs sources, leur impact sur la santé publique et l'environnement, et les mesures qui peuvent être prises pour la réduire.

2. Définition de la pollution atmosphérique :

La pollution atmosphérique est la modification de la composition de l'air pouvant être caractérisée par des mesures de polluants chimiques, biologiques ou physiques (appelés « aérocontaminants »). Elle peut avoir des conséquences préjudiciables à la santé humaine, aux êtres vivants, au climat, ou aux biens matériels.[1]



Figure 1.1: Nuage de fumée provenant d'une cheminée d'usine

(Aletia) La loi n°03-10 du 19.07.2003 définit la pollution atmosphérique comme « l'introduction de toute substance dans l'air (ou l'atmosphère) provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptible de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie ». [2]

La pollution atmosphérique est considérée comme étant responsable d'environ sept millions de décès prématurés chaque année dans le monde, principalement dus à des maladies cardiovasculaires et respiratoires. Cela en fait l'un des principaux risques environnementaux pour la santé (OMS, 2019). [3]

On distingue généralement deux types de pollution : visible et invisible

Local : Affecte la qualité de l'air localement, dans un rayon de quelques kilomètres.

Régionale : Englobe des phénomènes tels que les pluies acides, les réactions photochimiques et la détérioration de la qualité de l'eau sur des distances allant de quelques kilomètres à plusieurs centaines de kilomètres.

Globale : Comprend des impacts à l'échelle mondiale comme l'appauvrissement de la couche d'ozone et le réchauffement climatique, causés par les émissions de gaz à effet de serre, principalement le dioxyde de carbone (CO₂).[4]

3. Les polluants atmosphériques :

3.1. Définition :

Les polluants atmosphériques sont des substances nocives présentes dans l'air que nous respirons. Ils peuvent être d'origine naturelle, comme les éruptions volcaniques ou les feux de forêt, ou d'origine anthropique, c'est-à-dire qu'ils sont émis par les activités humaines.[5]

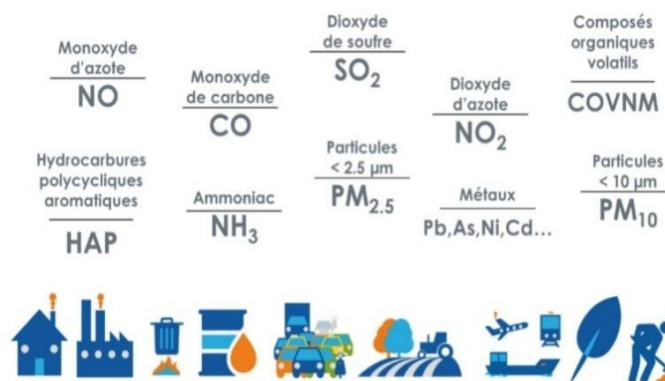


Figure1.2 : Les polluants atmosphériques, un mélange complexe (Airparif)

La norme ISO 14001 définit les polluants atmosphériques comme «des substances émises intentionnellement ou non dans l'atmosphère par diverses sources. Ces substances ont des conséquences néfastes sur la santé humaine, les écosystèmes et les biens matériels» . Cette norme encourage les organisations à prendre une approche proactive pour gérer leurs émissions atmosphériques et minimiser leur impact environnemental. [6]

3.2. Les principaux types de polluants atmosphériques :

Les polluants atmosphériques se divisent en deux catégories, primaires et secondaires, selon leur origine et leur présence naturelle. Cette classification cherche à améliorer la compréhension de leur formation, de leur dispersion dans l'environnement et leur impact néfaste sur la santé et l'écosystème. Elle permet aux scientifiques de différencier ces polluants, ce qui guide l'établissement de règlements visant à contrôler et réduire les émissions des polluants primaires, tout en prévenant la formation des polluants secondaires. Cette démarche est cruciale pour préserver la santé humaine, maintenir la qualité de l'air et promouvoir le développement durable. [7]

3.2.1. Les polluants primaires :

Se sont des substances nocives émises directement dans l'atmosphère par des sources comme les véhicules, les industries, et la combustion de combustibles fossiles. Ils peuvent se présenter sous forme de gaz tels que les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO₂) et le monoxyde de carbone (CO), ou sous forme de particules solides ou liquides telles que les particules fines (PM_{2,5}) et les particules en suspension (PM₁₀). [7]

3.2.1.1. Particules en suspension (PM) :

Les particules en suspension, souvent désignées par PM (Particulate Matter en anglais), sont des minuscules particules solides ou liquides présentes dans l'air. Elles peuvent être classées en deux catégories principales :

PM₁₀ : particules d'un diamètre inférieur à 10 micromètres (µm). Ces particules peuvent pénétrer profondément dans les poumons et provoquer des problèmes respiratoires, des maladies cardiaques et d'autres problèmes de santé.

PM_{2.5} : particules d'un diamètre inférieur à 2,5 micromètres. Ces particules sont encore plus petites que les PM₁₀ et peuvent pénétrer encore plus profondément dans les poumons, ce qui les rend encore plus dangereuses pour la santé..

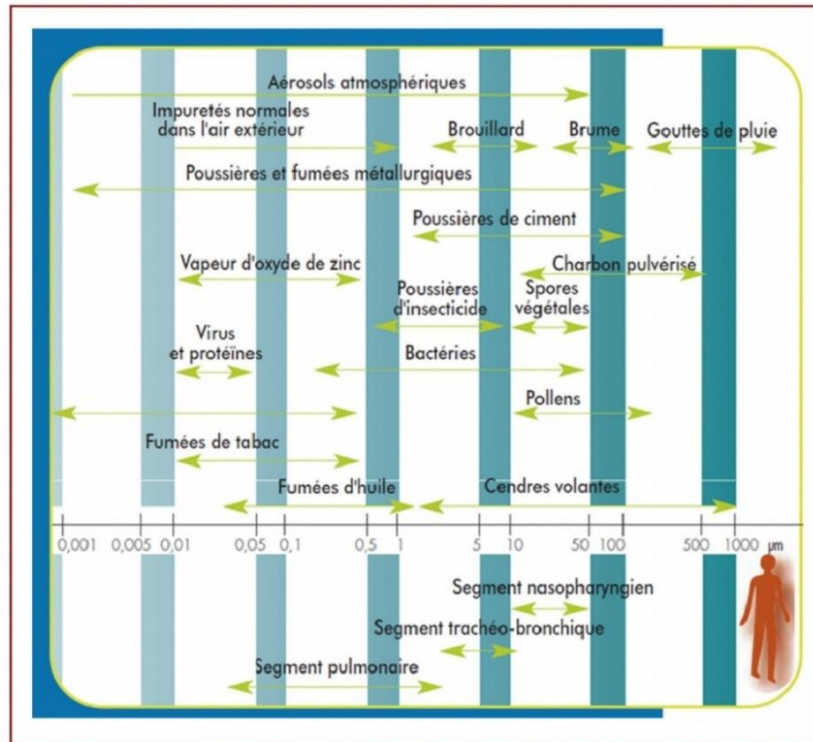


Figure 1.3 : Diamètre de divers types de particules atmosphériques et leur déposition dans le système respiratoire. Source : M. Bisson.

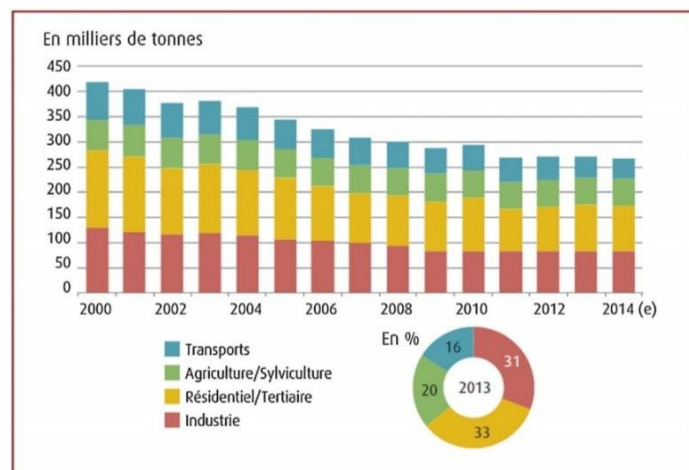


Figure 1.4: Évolution et répartition sectorielle des émissions françaises de PM10.

Source : M. Bisson

3.2.1.2. Oxydes d'azote (NOx) :

Les NOx, ou oxydes d'azote, se composent principalement de deux molécules : le monoxyde d'azote NO et le dioxyde d'azote NO2. Ces molécules peuvent être produites par la

combinaison de l'oxygène et de l'azote de l'air lors de la combustion ou par l'oxydation de l'azote dans les combustibles.

En termes de santé, le NO₂, un gaz irritant, pénètre dans les voies pulmonaires et peut causer des problèmes respiratoires chez les individus sensibles, tels que les enfants, les personnes âgées ou celles souffrant de maladies telles que l'asthme. De plus, les NO_x contribuent à la formation d'ozone dans les couches inférieures de l'atmosphère sous l'influence du rayonnement solaire. Ils jouent également un rôle dans le phénomène des pluies acides et la création de particules fines dans l'air ambiant.

3.2.1.3. Monoxyde de Carbone (CO) :

Le monoxyde de carbone, se compose d'un atome d'oxygène et d'un atome de carbone. est un gaz inodore, incolore et inflammable. Il se forme lorsque la combustion de matières organiques (gaz, charbon, fioul ou bois, carburants) est incomplète, par suite d'une insuffisance d'oxygène. Ce gaz, même en faibles quantités, est extrêmement toxique.

À une concentration de seulement 500 ppm dans l'air inhalé, il peut entraîner des maux de tête sévères, des vertiges et une somnolence, des nausées et des troubles de la vision.

À 2000 ppm, les symptômes incluent une faiblesse musculaire et une paralysie progressive, suivies d'un coma sans intervention.

Une exposition à 5000 ppm pendant quelques minutes peut entraîner la mort, avec 66% de l'hémoglobine transformée en carboxyhémoglobine.

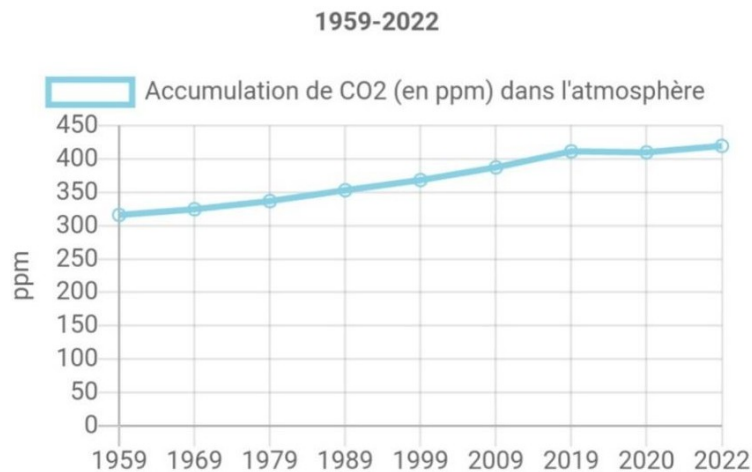
Les victimes nécessitent une assistance médicale immédiate et intensive, notamment une assistance respiratoire et une oxygénation en caisson hyperbare. Ces incidents peuvent avoir des conséquences permanentes.

3.2.1.4. Dioxyde de Carbone (CO₂) :

Le dioxyde de carbone, souvent appelé gaz carbonique, est un gaz incolore, sans odeur et non toxique présent naturellement dans l'atmosphère. Il est essentiel à la vie sur Terre car les plantes l'utilisent pour la photosynthèse. Cependant, les activités humaines, comme la

combustion des combustibles fossiles et la déforestation, ont entraîné une augmentation alarmante de sa concentration dans l'air.

L'accumulation excessive de CO₂ dans l'atmosphère est un des principaux facteurs du changement climatique. Ce phénomène entraîne le réchauffement de la planète, avec des conséquences graves telles que : **Augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur, Multiplication des événements météorologiques extrêmes (inondations, sécheresses, ouragans), Élévation du niveau de la mer, Acidification des océans, Perte de**



biodiversité...

Figure 1.5 : Évolution de la concentration de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère de 1959 à 2022 Earth System Research Laboratories »- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) des États-Unis.

Le CO₂ n'est pas directement toxique pour les humains à faibles concentrations, son augmentation excessive peut avoir des effets néfastes sur la santé : Augmentation des problèmes respiratoires (asthme, bronchite), Risques accrus de maladies cardio-vasculaires, Diminution des capacités cognitives, Aggravation des allergies

En 2019 , les émissions de CO₂ en Algérie ont augmenté de 2.47 en 1990 à 4.01 tonnes métriques par habitant , selon les données de la Banque mondiale (BM) .

En 2018, l'Afrique du Nord a enregistré un total de 366.2 millions de tonnes métriques d'émissions de CO₂.

Par ailleurs, en 2018, l'OMS a rapporté que la pollution de l'air extérieur, incluant les particules de carbone, était responsable de 4.2 millions de décès prématurés chaque année.

3.2.1.5. Composants Organiques Volatiles (COV) :

Les composés organiques volatils, souvent désignés par l'acronyme COV, regroupent une multitude de substances présentes dans l'air sous forme gazeuse ou qui s'évaporent facilement à température ambiante. Parmi les exemples les plus connus, on retrouve le benzène, et l'acétone.

L'exposition aux COV peut entraîner divers problèmes de santé, notamment des irritations des yeux et des voies respiratoires. Plus grave encore, certains COV, comme le benzène et le benzo(a)pyrène, sont classés cancérigènes.

Les COV ne se contentent pas d'impacter directement la santé humaine. Ils réagissent également avec d'autres polluants atmosphériques, tels que le méthane et les oxydes d'azote, pour former des composés secondaires comme l'ozone, les particules fines et les gaz à effet de serre.

3.2.1.6. Composés Soufrés (SOx) :

Loin d'être un simple gaz incolore, le dioxyde de soufre se révèle être un véritable fléau pour notre santé et notre environnement. Sa présence dans l'air entraîne une série de conséquences néfastes tels que l'irritation des muqueuses, toux, gêne respiratoire, crises d'asthme... Le dioxyde de soufre s'attaque directement à nos voies respiratoires, fragilisant particulièrement les personnes asthmatiques et les enfants, contribue à l'acidification des pluies, phénomène aux effets dévastateurs sur les écosystèmes et les monuments en pierre, qu'il érode progressivement, formation de particules secondaires.

3.2.1.7. Ammoniac (NH₃) :

Principalement émis par le secteur de l'agriculture et par la décomposition des déchets, l'ammoniac est aussi utilisé pour la fabrication d'engrais, d'explosifs et de polymères.

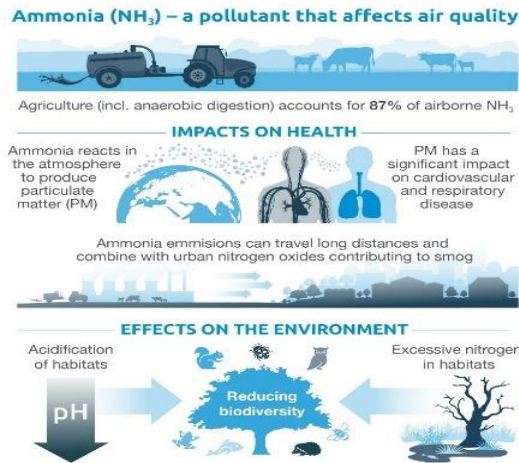


Figure 1.6 : Effets néfastes de l’ammoniac sur les écosystèmes (CivilsDaily)

3.2.2. Les polluants secondaires :

Les polluants secondaires ne sont pas émis directement dans l’atmosphère, mais se forment à partir de réactions physico-chimiques entre composants chimiques (polluants primaires et autres constituants de l’atmosphère) régies par les conditions météorologiques. [7]

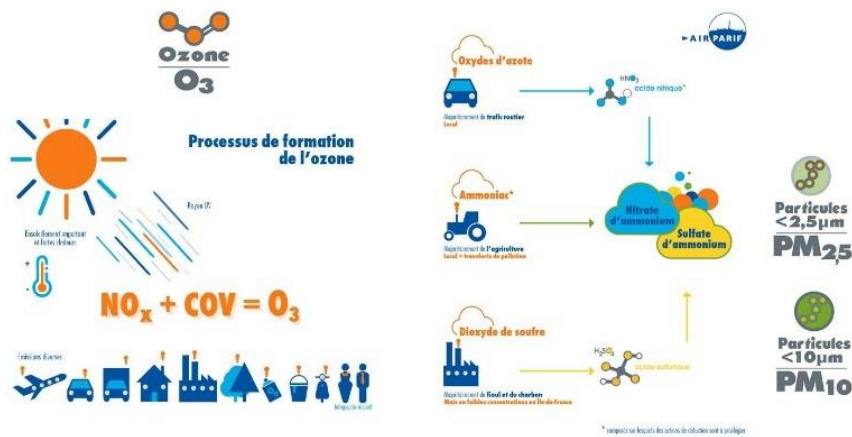


Figure 1.7 : Polluants atmosphériques (Airparif)

L’Agence de protection de l’environnement des États-Unis (EPA) définit le polluant secondaire comme «un polluant qui n’est pas émis directement dans l’atmosphère, mais qui se forme à partir de la réaction chimique de deux ou plusieurs polluants primaires». Parmi les exemples courants de polluants secondaires, on trouve :

3.2.2.1. L'ozone (O₃):

L'ozone (O₃), est un gaz incolore aux propriétés surprenantes, joue un rôle crucial dans notre environnement. Naturellement présent dans la stratosphère, il agit comme un bouclier protecteur contre les rayons ultraviolets (UV) nocifs du soleil. Cependant, lorsqu'il se trouve dans la troposphère, la couche basse de l'atmosphère où nous respirons, l'ozone devient un polluant redoutable pour la santé humaine et l'environnement (ISO 4225 :2017 « Air quality – General aspects –Vocabulary »)

- **L'ozone stratosphérique** :Située entre 15 et 50 km d'altitude, la stratosphère concentre une quantité importante d'ozone cette dernière absorbe la majeure partie du rayonnement UV nocif, protégeant ainsi la vie sur Terre des effets néfastes tels que les coups de soleil, les cancers de la peau et les cataractes
- **L'ozone troposphérique** :présent dans la couche basse de l'atmosphère où nous vivons, est un polluant nocif pour la santé humaine et l'environnement. Sa formation résulte de réactions chimiques complexes entre des précurseurs tels que les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV) sous l'action du soleil.

3.2.2.2. Smog :

Le smog, un mot-valise formé à partir des mots anglais "smoke" (fumée) et "fog" (brouillard), est un type de pollution de l'air qui se caractérise par un brouillard épais et grisâtre. Il est causé par la réaction de polluants primaires, tels que les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV), avec la lumière du soleil et l'humidité.

Ces polluants primaires peuvent provenir de diverses sources, notamment les gaz d'échappement des véhicules sont une source majeure d'oxydes d'azote et de COV , les usines émettent divers polluants, notamment des oxydes d'azote, du dioxyde de soufre (SO₂) et des particules, Les centrales électriques qui brûlent des combustibles fossiles émettent des oxydes d'azote, du SO₂ et des particules.

3.2.2.3. Pluies acides :

Les pluies acides se forment lorsque le dioxyde de soufre (SO₂) et les oxydes d'azote (NO_x) réagissent avec l'eau et l'oxygène dans l'atmosphère. Les pluies acides peuvent acidifier les sols et les lacs, ce qui peut nuire à la croissance des plantes et des arbres et perturber les écosystèmes aquatiques, affaiblir les arbres et les rendre plus vulnérables aux maladies et aux parasites

3.2.2.4. Nitrates et sulfates inorganiques :

Les nitrates et sulfates inorganiques se forment à partir des réactions du SO₂ et des NO_x avec d'autres substances dans l'atmosphère. Ces particules peuvent causer des problèmes respiratoires, aggraver les maladies cardiaques et contribuer au brouillard

4. **Sources de la pollution atmosphérique :** La pollution atmosphérique, fléau invisible qui contamine l'air que nous respirons, trouve son origine dans une multitude de sources, tant naturelles qu'anthropiques. Comprendre ces sources est crucial pour élaborer des stratégies efficaces de lutte contre ce problème environnemental majeur.[8]

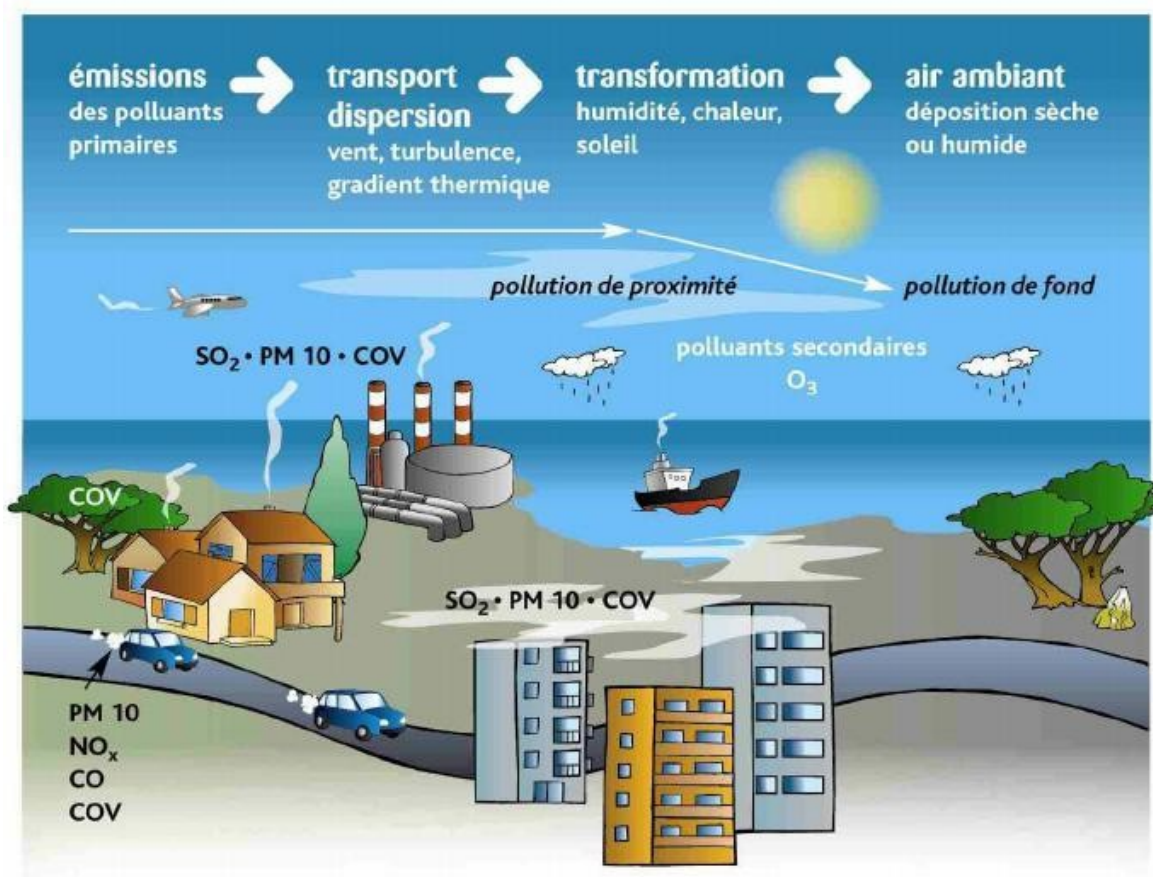


Figure 1.9 : Cycle de La pollution Atmosphérique (ResearchGate)

4.1. Sources naturelles :

4.1.1. Incendies de forêt :

Ces événements naturels, souvent amplifiés par l'activité humaine, libèrent dans l'atmosphère des particules fines, des gaz à effet de serre et d'autres polluants nocifs.

4.1.2. Éruptions volcaniques :

Les explosions volcaniques projettent dans l'air des cendres, des gaz toxiques et des aérosols qui peuvent affecter la qualité de l'air sur de vastes distances.

Émissions biogéniques :

Certains processus naturels, tels que la décomposition des matières organiques et la respiration des plantes, produisent des gaz comme le méthane et le dioxyde de carbone qui contribuent à la pollution atmosphérique.

4.2. Sources anthropiques :

4.2.1. Combustion de combustibles fossiles :

La production d'énergie à partir du charbon, du pétrole et du gaz naturel génère des émissions importantes de gaz à effet de serre, de particules fines et d'autres polluants nocifs.

4.2.2. Émissions des véhicules :

Les véhicules automobiles, les avions et les navires contribuent de manière significative à la pollution atmosphérique en émettant des gaz d'échappement, des particules fines et des oxydes d'azote.

4.2.3. Émissions industrielles :

Les usines et les installations industrielles émettent une variété de polluants atmosphériques, tels que des gaz à effet de serre, des particules fines, des composés organiques volatils (COV) et des métaux lourds.

4.2.4. Émissions agricoles :

Pratiques agricoles telles que l'utilisation d'engrais azotés, l'élevage intensif et le brûlage des champs contribuent aux émissions de gaz à effet de serre, d'ammoniac et de particules fines.

4.2.5. Émissions domestiques

Les émissions domestiques comprennent les produits de consommation courante tels que les produits chimiques ménagers, les peintures, les solvants et les parfums pouvant également émettre des COV dans l'atmosphère. Les appareils d'ancienne génération utilisés quotidiennement sont les principales sources de polluants, originaires de très fortes émissions par rapport aux appareils modernes. (Collet, 2009)

4.2.6. Emissions dues au traitement de déchets :

Le traitement des déchets, qu'il s'agisse de l'incinération, de la mise en décharge ou du compostage, génère des émissions de gaz à effet de serre (GES), principalement du méthane (CH₄) et du dioxyde de carbone (CO₂).

5. Répartition des Émissions Polluantes par Secteur

La pollution atmosphérique, véritable fléau de notre époque, est la résultante d'une combinaison complexe de sources d'émissions diverses. Parmi celles-ci, **l'industrie** se distingue comme un contributeur majeur, comme le confirment de nombreux articles et réglementations. **La directive européenne 2010/75/UE** relative aux émissions industrielles (IED) fixe des limites strictes pour les émissions de polluants atmosphériques provenant des installations industrielles, reconnaissant ainsi leur impact significatif sur la qualité de l'air. [9]

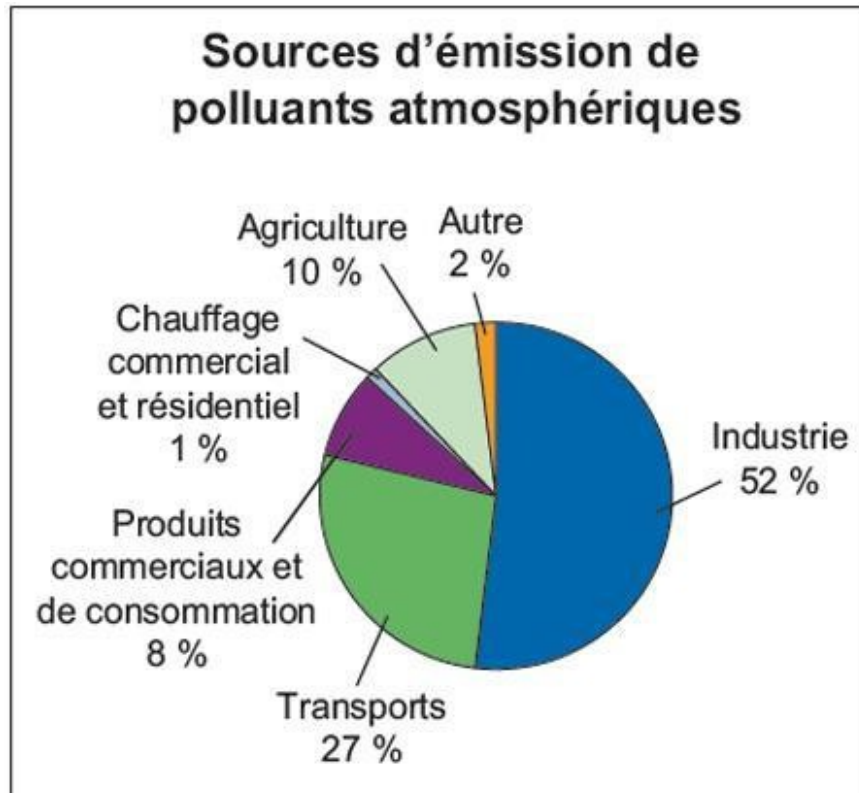


Figure 1.10 : sources d'émission de polluants atmosphériques en France (Encyclo-ecolo.com)

Ce graphique indique que les industries sont responsables de 52% des émissions, ce qui en fait le contributeur majeur à la pollution atmosphérique en France.

Il est important de noter que la contribution relative des différents secteurs peut varier en fonction de la région et des conditions locales. Cependant, les données scientifiques montrent que les émissions industrielles sont un contributeur majeur à la pollution atmosphérique dans le monde entier.

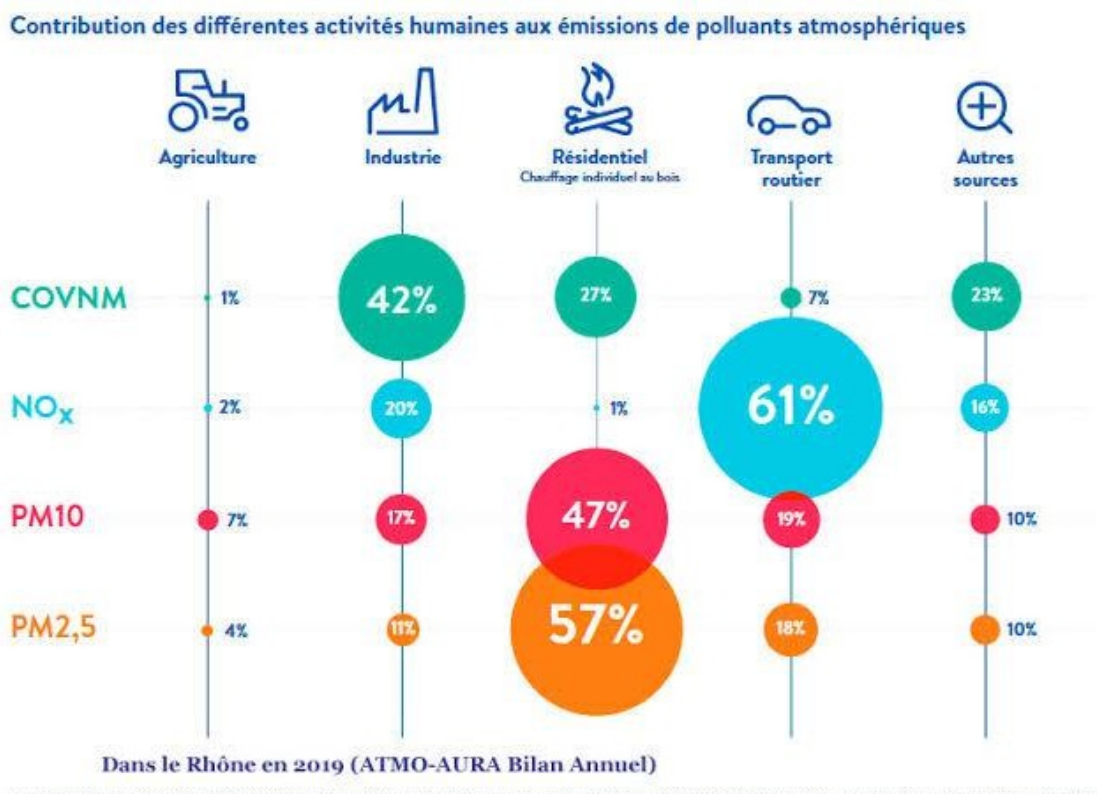


Figure 1.11 : Contribution des différentes activités humaines aux émissions de polluants atmosphériques (Atmo-Aura)

Les données présentées dans ce graphique montre que les transports routiers sont la principale source d'émissions de NO_x (61%) et de PM_{2,5} dans la région du **Rhône, France 2019**. L'industrie est la principale source d'émissions de COVNM (42%) et de PM₁₀ (17%). Le chauffage individuel au bois est également une source importante d'émissions de PM₁₀ (47%) et de PM_{2,5} (57%).

Ces informations peuvent être utilisées pour identifier les domaines dans lesquels des efforts doivent être déployés pour réduire la pollution atmosphérique. Par exemple, les gouvernements pourraient mettre en place des réglementations plus strictes pour limiter les émissions et investir dans des technologies plus propres et dans le développement des énergies renouvelables. [10]

6. Les Émissions de Fumées Industrielles : un contributeur majeur

6.1. Les fumées d'usines :

6.1.1. Définition :

Les fumées d'usines constituent une menace majeure pour l'environnement, provoquant une pollution de l'air et de l'eau qui met en péril la santé humaine et la biodiversité. Les émissions nocives des usines, telles que le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde d'azote, contribuent de manière significative à l'intoxication de l'air sur Terre. La pollution industrielle perdure depuis des années, entraînant des conséquences désastreuses sur la diversité biologique. [11]

6.1.2. Types de fumées industrielles :

Les fumées industrielles se composent de minuscules particules solides ou liquides en suspension dans un gaz. Elles peuvent être classées en deux grandes catégories [12]:

6.1.2.1. Fumées sèches :

Les fumées se composent principalement de particules solides, telles que les suies, les poussières et les métaux. Lorsque l'analyseur de fumée est équipé d'un système de refroidissement des gaz à une température proche de 0°C et d'un dispositif d'extraction des condensats, les concentrations mesurées correspondent à celles du gaz sec.

6.1.2.2. Fumées humides :

Elles contiennent à la fois des particules solides et liquides, comme les brouillards d'huile, les aérosols et les acides sulfuriques. Si les capteurs d'un analyseur de gaz mesurent les concentrations du gaz brut sans refroidissement ni extraction de l'eau, les concentrations mesurées correspondent à celles du gaz humide.

6.1.3. Sources des fumées industrielles :

Les fumées industrielles sont produites par une large gamme de processus industriels, dont les principaux secteurs concernés sont :

➤ Production d'énergie :

La combustion de combustibles fossiles dans les centrales électriques et les installations de cogénération est une source majeure de fumées industrielles.

➤ **Industrie manufacturière:**

De nombreux procédés de fabrication, tels que la métallurgie, la production de ciment, la fabrication de produits chimiques et le raffinage du pétrole, génèrent des fumées.

➤ **Métallurgie :**

Ce secteur regroupe la production de métaux , tels que le fer , l'aluminium, le cuivre, le zinc, le plomb, le nickel, etc. Les procédés de fusion utilisés dans la métallurgie varient en fonction du métal produit, mais ils génèrent généralement des fumées industrielles contenant des



oxydes métalliques, des poussières et des gaz toxiques

Figure 1.12 :Fusion du métal dans un four (Algérie patriotique)

➤ **Industrie agroalimentaire:**

La transformation des aliments, en particulier la production de viande et de produits laitiers, peut également produire des fumées riches en composés organiques volatils (COV), en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et en particules fines.

➤ **Incineration des déchets :**

L'incinération des déchets solides et dangereux est une autre source importante de fumées



industrielles.

Figure 1.12 : Usine d'incinération (openDemocracy)

➤ Construction et démolition :

Les activités de construction et de démolition peuvent également générer des fumées, notamment de la poussière et des gaz d'échappement des engins de chantier.

6.2. L'impact des émissions industrielle sur la santé publique, l'environnement et l'économie :

6.2.1. Sur la santé publique :

L'exposition aux émissions industrielles a des effets néfastes sur la santé publique à court et à long terme, notamment[13] :

6.2.1.1. Augmentation des maladies respiratoires :

Les particules fines et d'autres polluants atmosphériques sont responsables de l'asthme, de la bronchite, de la pneumonie et d'autres maladies respiratoires, en particulier chez les enfants, les personnes âgées et les personnes souffrant de problèmes respiratoires chroniques.

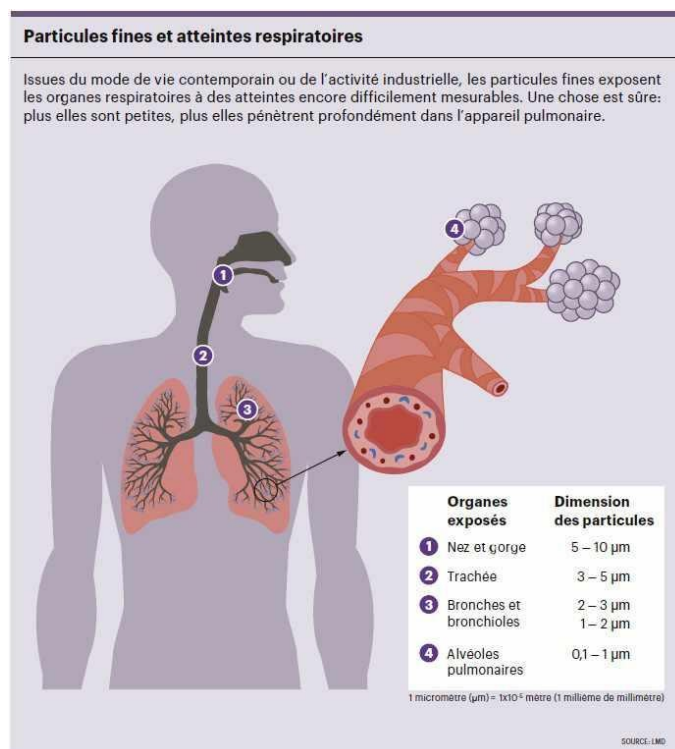


Figure 1.13 : Appareil respiratoire et pénétration des particules (planetesante.ch)

6.2.1.2. Exacerbation des maladies cardiaques :

Les polluants atmosphériques peuvent aggraver les maladies cardiaques existantes et augmenter le risque d'accidents vasculaires cérébraux et d'infarctus du myocarde.

6.2.1.3. Augmentation du risque de cancer :

L'exposition à certains polluants industriels, comme le benzène et le formaldéhyde, a été liée à un risque accru de cancer du poumon et d'autres types de cancer.

6.2.1.4. Impacts sur le développement et la reproduction :

Les polluants atmosphériques peuvent affecter le développement du cerveau et des poumons chez les enfants, nuire à la fertilité et augmenter le risque de malformations congénitales.

6.2.1.5. Augmentation de la mortalité :

Les émissions industrielles contribuent à une augmentation de la mortalité prématurée, en particulier dans les zones urbaines et les populations vulnérables.

Le tableau 1.1 ci-dessous présente les populations vulnérables à la pollution atmosphérique, les facteurs qui les rendent vulnérables, les impacts potentiels de la pollution sur leur santé et les mesures de protection qui peuvent être mises en place pour les protéger.

Population	Facteurs de vulnérabilité	Impacts potentiels	Mesures de protection
Travailleurs du secteur industriel	Exposition directe aux polluants sur le lieu de travail	Risques accrus de maladies respiratoires, de cancers et d'autres problèmes de santé	Améliorer les normes de sécurité et de santé au travail, fournir des équipements de protection individuelle (EPI) adéquats
Personnes vivant à proximité des sites industriels	Exposition à la pollution atmosphérique et à la contamination des sols et de l'eau	Problèmes respiratoires. Maladies chroniques, contamination de la chaîne alimentaire	Mettre en place des zones tampons autour des sites industriels, surveiller la qualité de l'air et de l'eau dans les communautés voisines
Personnes âgées	Système respiratoire et cardiovasculaire plus fragiles	Maladies respiratoires. Cardiaques, aggravation de maladies chroniques	Mettre en place des programmes de surveillance de la qualité de l'air et d'alerte en cas de pic de pollution, fournir des soins de santé accessibles
Femmes enceintes et jeunes enfants	Développement du cerveau et des poumons particulièrement sensible	Risques accrus de malformations congénitales, de problèmes respiratoires et de troubles du développement	Réduire l'exposition aux polluants pendant la grossesse et la petite enfance, promouvoir des modes de vie sains

Tableau 1.1 : Les populations vulnérables à la pollution atmosphérique (ecologie.gouv.fr)

6.2.2. Sur l'environnement :

Les émissions industrielles ont un impact dévastateur sur l'environnement, notamment [13]:

6.2.2.1. Changement climatique:

Les émissions de gaz à effet de serre provenant des industries contribuent de manière significative au changement climatique, qui entraîne des bouleversements climatiques, des

phénomènes météorologiques extrêmes, une montée du niveau de la mer et des impacts sur les écosystèmes.

6.2.2.2. Pluies acides:

Les émissions de NO_x et de SO_x des industries réagissent avec l'eau et l'oxygène dans l'atmosphère pour former des pluies acides, qui acidifient les sols et les lacs, nuisent à la vie aquatique et endommagent les forêts.

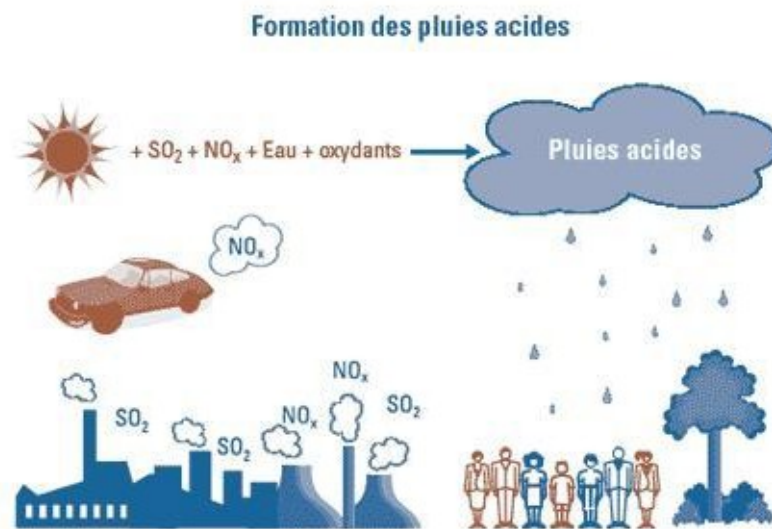


Figure 1.14 : Formation des pluies acides (Moutamadris.ma)

6.2.2.3. Contamination des sols et des eaux :

Les rejets industriels peuvent contaminer les sols et les eaux, nuisant aux écosystèmes et menaçant la santé humaine par l'exposition à des substances toxiques.

6.2.3. Impacts économiques :

Les dommages économiques peuvent être variés, incluant notamment [14] :

- La détérioration des bâtiments historiques, des ponts, et des sites archéologiques ;
- La contamination des cultures et des herbes, entraînant des maladies chez les animaux qui en dépendent, ce qui affecte également le cheptel ;
- La destruction des forêts et des récoltes agricoles essentielles pour de nombreux secteurs ;

- L'augmentation des dépenses et des coûts médicaux dans les hôpitaux.

7. Rôle des entreprises dans la lutte contre la pollution :

Mesures préventives :

- Mettre en place des systèmes de management environnemental tels que la certification ISO 14001 pour s'assurer que la protection de l'environnement est intégrée à tous les aspects des activités de l'entreprise.
- L'utilisation des énergies renouvelables.
- Le remplacement des matières premières toxiques ou polluantes par des alternatives plus durables, comme des matériaux recyclés ou des biomatériaux. Ou en remplaçant les combustibles fossiles polluants (charbon, fioul) par des sources d'énergie plus propres (gaz naturel, biocarburants, énergies renouvelables)
- Les travailleurs doivent recevoir une formation adéquate sur la manière de choisir, d'utiliser et d'entretenir correctement les EPI appropriés aux risques auxquels ils sont exposés.

Mesures curatives :

- L'installation des systèmes de traitement des fumées.
- La mise en œuvre des technologies de capture et de stockage du carbone (CSC) pour capturer le dioxyde de carbone (CO₂) émis lors des processus de production et le stocker de manière sûre sous terre.
- Investir dans la recherche et le développement de nouvelles technologies propres et de procédés de production plus durables. [15]

Conclusion

Les émissions industrielles en particulier les fumées représentent une part importante de la pollution atmosphérique. Ces fumées contiennent des polluants spécifiques, souvent plus toxiques que ceux provenant d'autres sources, et peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement. Il est impératif de mettre en œuvre des solutions concrètes pour réduire ces émissions et protéger la qualité de l'air.

Le traitement des fumées est donc essentiel pour capturer et éliminer les polluants avant qu'ils ne soient rejetés dans l'atmosphère.

Chapitre 2 :
Techniques de traitement des émissions
industrielles

1. Introduction :

Les activités industrielles génèrent inévitablement des polluants sous forme de fumées, de gaz et de particules. Sans traitement adéquat, ces émissions nocives représentent une menace sérieuse pour la santé humaine et l'environnement. Le traitement des fumées industrielles est donc crucial pour protéger la qualité de l'air et promouvoir un développement durable.

Ce chapitre examinera les différentes techniques de traitements des fumées, et mettra en lumière leur importance pour réduire la pollution de l'air et préserver la santé publique. Il soulignera également soulignerons l'existence de normes internationales et de législations algériennes qui régissent les traitements de fumée et les émissions de polluants, démontrant l'engagement des autorités à garantir un environnement sain

2. Définition du traitement des fumées :

Le traitement de fumée industrielle, également appelé **épuration des gaz de combustion**, est un ensemble de procédés visant à réduire la quantité et à éliminer les polluants présents dans les fumées issues des processus de combustion industrielle.

Ces fumées, généralement chargées de particules fines, de gaz acides (SO₂, NO_x), de COV (composés organiques volatils), de métaux lourds et d'autres substances nocives, peuvent avoir des impacts environnementaux et sanitaires importants si elles ne sont pas traitées adéquatement. [16]

2.1. Les types de traitement des fumées :

2.1.1. Traitement sec :

2.1.1.1. Epuration par voie sèche par réactif calcique :

L'épuration par voie sèche à la chaux est une technique de traitement des gaz visant à neutraliser les gaz acides (SO₂, HCl, HF) présents dans les fumées industrielles. Cette partie se concentre uniquement sur les réactifs calciques (chaux). L'utilisation de réactif sodique (bicarbonate de soude) est présentée dans une autre partie en raison de leurs spécificités. [17]

2.1.1.1.1. Procédé sec classique :

Le procédé sec classique se compose de deux modules principaux :

Réacteur de neutralisation des gaz acides : Dans ce module, le réactif est injecté et les fumées ont un temps de contact de 2 à 6 secondes.

Système de dépeussierage final : Utilisant soit un électrofiltre, soit un filtre à manches, ce système capte les poussières, les sels produits par la neutralisation et le réactif en excès.

Aujourd'hui, l'utilisation d'un filtre à manches est systématique en raison des exigences strictes sur les émissions de polluants gazeux. Une couche de chaux, ou « gâteaux », se forme sur les manches, composée de poussières et de produits de la réaction de neutralisation. Cette couche permet de finaliser la neutralisation des fumées, d'éliminer davantage de poussières et de réduire la consommation de chaux. [17]

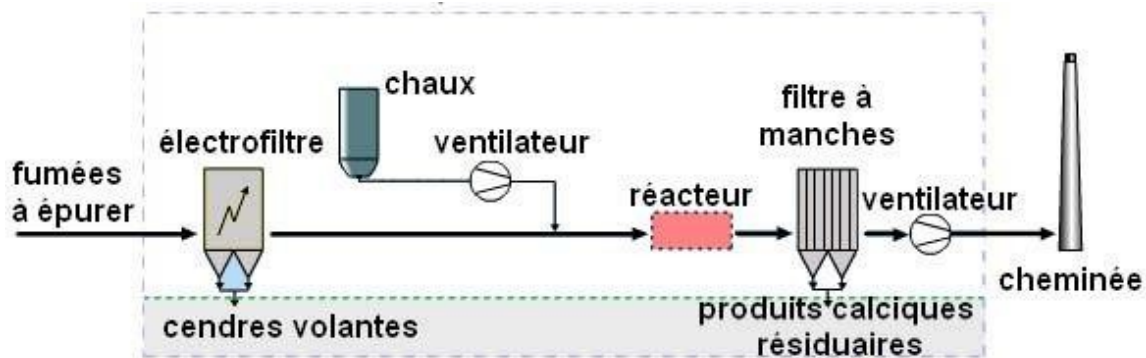


Figure2.1 : Principe du procédé sec classique

À la température en sortie de four-chaudière (généralement entre 200 et 300°C), la chaux est peu réactive et nécessite un excès stœchiométrique élevé, ce qui est désavantageux. Par conséquent, un refroidissement des fumées en amont est généralement effectué.

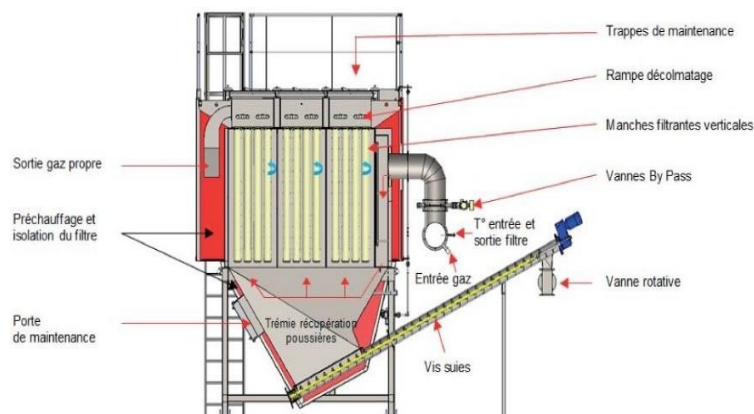


Figure2.2 : Principe du fonctionnement d'un filtre à manches

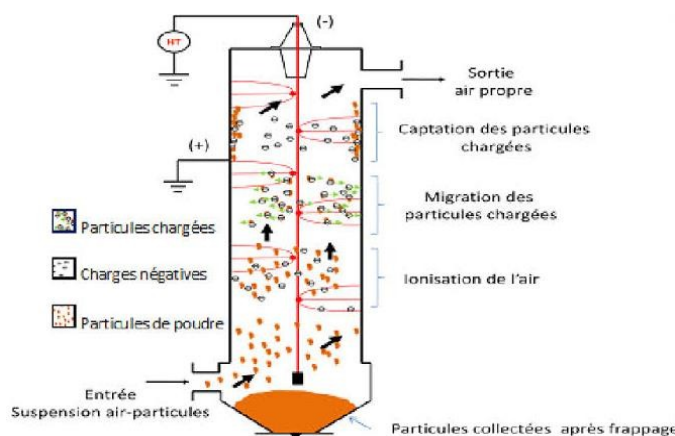


Figure2.3: Principe de la précipitation électrostatique des particules « électrofiltre »

2.1.1.1.2. Procédé sec refroidi :

Dans cette configuration, les fumées sont refroidies dans un module situé en amont du réacteur ou intégré à celui-ci.

Les Fumées sortant de la chaudière à environ 250°C sont refroidis avant d’atteindre le réacteur par pulvérisation d’eau ou à travers un échangeur thermique. Les systèmes utilisés doivent assurer le refroidissement des gaz tout en évitant la condensation de fines gouttelettes sur les parois et en minimisant les risques de colmatage. Le refroidissement par dilution est rarement utilisé en raison de l’augmentation du volume des fumées à traiter. De plus, il est difficile de créer un mélange homogène entre les gaz à différentes températures, avec un risque accru de condensation d’acidité sur les parois du refroidisseur. [18]

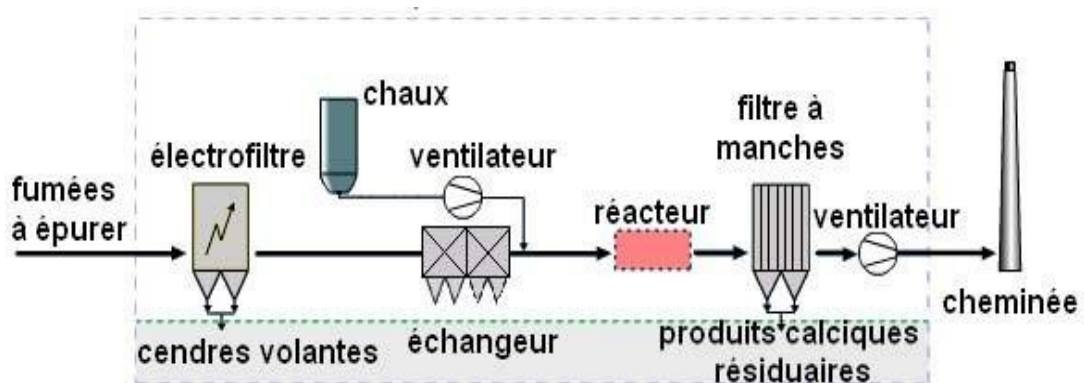


Figure2.4 : Principe du procédé sec refroidi – cas de l’échangeur

Pour assurer la condensation des métaux lourds gazeux et éviter la corrosion et le colmatage du système de dépoussiérage, la température est généralement maintenue entre 130 et 150°C. Dans les unités d'incinération des déchets dangereux, cette température peut atteindre jusqu'à 200°C.

Étant donné que les fumées sont plus proches du point de rosée acide, l'efficacité de la neutralisation des polluants acides est améliorée, permettant ainsi de réduire la quantité de chaux nécessaire. Les fumées sortantes, à environ 140°C, ne produisent généralement pas de panache visible à la cheminée, selon les conditions de température et d'humidité de l'air ambiant.

2.1.1.1.3. Nature des réactifs :

Dans le processus d'épuration par voie sèche à la chaux, deux types de réactifs principaux peuvent être utilisés :

- Chaux vive (oxyde de calcium – CaO) : composée de plus de 90% d'oxyde de calcium (CaO). Cette utilisation est peu courante et n'est pas utilisée sous forme pulvérulente (CaO).
- Chaux hydratée (hydroxyde de calcium – Ca(OH)₂) : basée sur l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)₂), obtenue industriellement par l'hydratation de la chaux vive. [19]

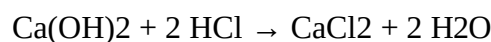
2.1.1.1.4. Réactions chimiques :

Le réactif le plus couramment utilisé est la chaux hydratée.

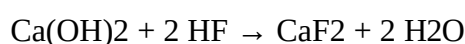
À partir de cette chaux hydratée, les réactions aboutissent à la formation de chlorure de calcium (CaCl₂), et de fluorure de calcium (CaF₂), ainsi que de sulfate de calcium anhydre (CaSO₄).

Les principales réactions chimiques sont les suivantes :

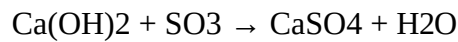
Neutralisation du HCl (acide chlorhydrique) :



Neutralisation du HF (acide fluorhydrique) :



Neutralisation du SO₃ (trioxyde de soufre) :



En plus de ces réactions principales, d'autres réactions secondaires peuvent se produire en fonction des polluants présents dans les gaz. [19]

2.1.1.1.5. Consommation de réactifs :

La consommation de chaux dans le procédé sec à la chaux dépend de plusieurs facteurs, notamment :

-Le type de procédé sec à la chaux utilisé :

- **Procédé sec à la chaux sans refroidissement** : la consommation de chaux est de l'ordre de **40 kg** voire plus par tonne de déchets traités.
- **Procédé sec à la chaux refroidi** : la consommation de chaux est d'environ **25 à 30kg** par tonne de déchets traités. Un refroidissement des fumées de 250 à 150°C par pulvérisation d'eau nécessite environ 350 kg d'eau par tonne de déchets.

-La concentration des polluants dans les gaz de combustion : plus la concentration des polluants est élevée, plus la consommation de chaux sera importante.

-L'efficacité du procédé : une meilleure efficacité du procédé permettra de réduire la consommation de chaux.

-Les caractéristiques des polluants : certains polluants réagissent plus facilement avec la chaux que d'autres. [19]

2.1.1.1.6. La gestion des sous produits :

En France, les résidus d'épuration des fumées, à cause de leur concentration élevée en polluants et de leur capacité significative à libérer ces polluants (fraction soluble élevée), sont considérés comme dangereux. Avant d'être entreposés dans des installations de stockage de déchets dangereux, ces résidus doivent subir un traitement de solidification /stabilisation. [19]

2.1.1.1.7. Avantages et inconvénients du procédé :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mise en œuvre simple ✓ Coût d'investissement réduit ✓ Besoin de main d'œuvre réduit ✓ Absence d'effluent liquide T <input type="checkbox"/> Prix du réactif ✓ Nombreux fournisseurs a <input type="checkbox"/> Solubilité moyenne des produits de réaction 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exploitation peu souple ✓ Consommation élevée de réactif (chaux) ✓ Production importante de résidus solides

bleau 2. 1 : Avantages et inconvénients du procédé sec à la chaux

2.1.1.1.8. Avantages et inconvénients du procédé :

2.1.1.2. Epuration par voie sèche par réactif sodique :

2.1.1.2.1. Description du procédé :

L'épuration par voie sèche au bicarbonate de sodium (NaHCO_3) se présente comme une solution efficace et simple pour le traitement des fumées industrielles, permettant de répondre aux exigences d'émissions les plus strictes. Ce procédé se démarque de l'épuration traditionnelle à la chaux par ses nombreux avantages, offrant une flexibilité d'utilisation et une performance accrues. [20]

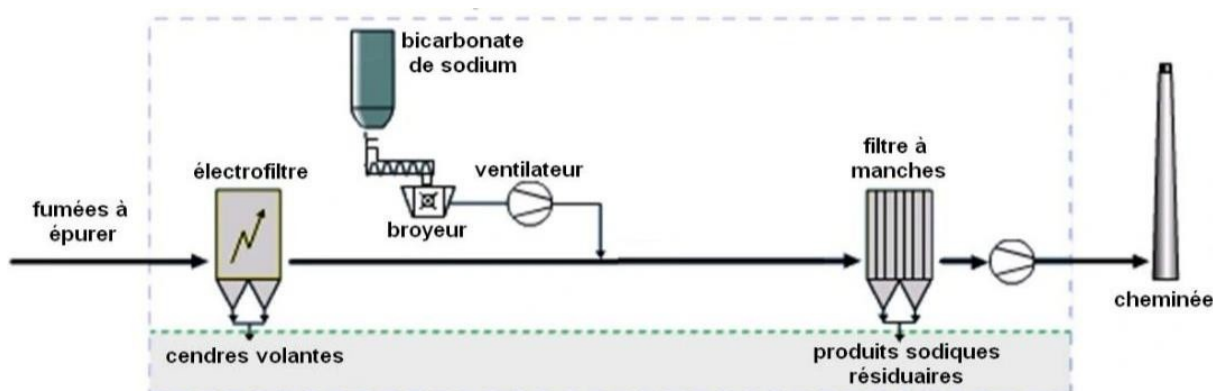


Figure 2.5: Principe du procédé au bicarbonate de sodium

Contrairement à l'épuration à la chaux, ce procédé ne nécessite pas nécessairement de réacteur de neutralisation avant un filtre à manches. La neutralisation par le bicarbonate de

sodium peut se faire dans le carneau des fumées avant le filtre pour un électrofiltre, ou directement dans le filtre à manches pour ce type d'équipement. Cette approche simplifie considérablement l'installation et réduit les coûts d'investissement.

Le bicarbonate de sodium offre une plage de température de fonctionnement plus large (140°C à 300°C) par rapport à la chaux (limitée à 130°C). Cette flexibilité permet d'adapter le procédé aux conditions spécifiques des fumées à traiter, sans nécessiter de refroidissement supplémentaire des fumées.

2.1.1.2.2. Nature des réactifs :

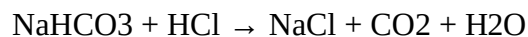
Le bicarbonate de sodium (NaHCO₃) doit être broyé avant son injection, à une granulométrie d₉₀ comprise entre 20 et 35 µm. Ce produit est une poudre neutre, non corrosive, non irritante et non toxique, ce qui permet une manipulation facile et sécurisée sans risque de brûlure. Sa mise en œuvre est donc totalement sûre. [20]

2.1.1.2.3. Réactions chimiques :

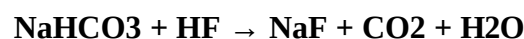
Le bicarbonate de sodium (NaHCO₃) réagit avec divers gaz acides pour produire des sels neutres de sodium et des sous-produits gazeux. [20]

Les réactions principales sont les suivantes :

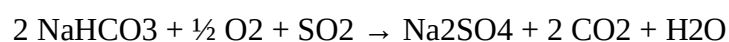
Neutralisation de l'acide chlorhydrique (HCl) :



Neutralisation de l'acide fluorhydrique (HF) :



Neutralisation du dioxyde de soufre (SO₂) :



2.1.1.2.4. Consommation de réactifs :

La consommation de réactifs pour neutraliser les fumées est calculée en fonction des concentrations des gaz acides présents dans les fumées brutes. Typiquement, les fumées brutes contiennent : [20]

6 à 7 kg de HCl par tonne de déchets incinérés

1 à 1,5 kg de SO₄ par tonne de déchets incinérés

La quantité de réactif utilisée dépend du rapport stœchiométrique, qui est le rapport molaire du réactif utilisé par rapport à la quantité de HCl et SO₄ à épurer. Ce rapport stœchiométrique influence directement l'efficacité de la dépollution.

il est nécessaire d'utiliser entre 10 et 15 kg de bicarbonate de sodium par tonne de déchets incinérés. Ce calcul prend en compte la composition des déchets et le type de filtre utilisé.

2.1.1.2.5. La gestion et la valorisation des sous-produits :

Les résidus du traitement sec, composés de chlorure de sodium (NaCl), sulfate de sodium (Na₂SO₄) et carbonate de sodium (Na₂CO₃), sont traités selon plusieurs étapes pour leur valorisation. Tout d'abord, environ 7 à 11 kg de ces produits sont dissous dans 40 kg d'eau par tonne d'ordures. Ensuite, le mélange est filtré à travers un filtre presse pour séparer les insolubles, principalement les hydroxydes de métaux lourds, qui représentent 1 à 3 kg de déchets ultimes contenant 50 % d'eau. Les composés organiques présents dans le filtrat sont ensuite absorbés sur une colonne de charbon actif. Le filtrat, contenant des sels solubles, est ensuite traité sur des résines échangeuses d'ions pour éliminer les dernières traces de métaux lourds. Les réactifs utilisés pour régénérer ces résines sont recyclés dans le processus. Enfin, la saumure épurée, qui contient environ 250 grammes de sels sodiques par litre, est recyclée dans l'industrie chimique pour la production de carbonate de soude. [2

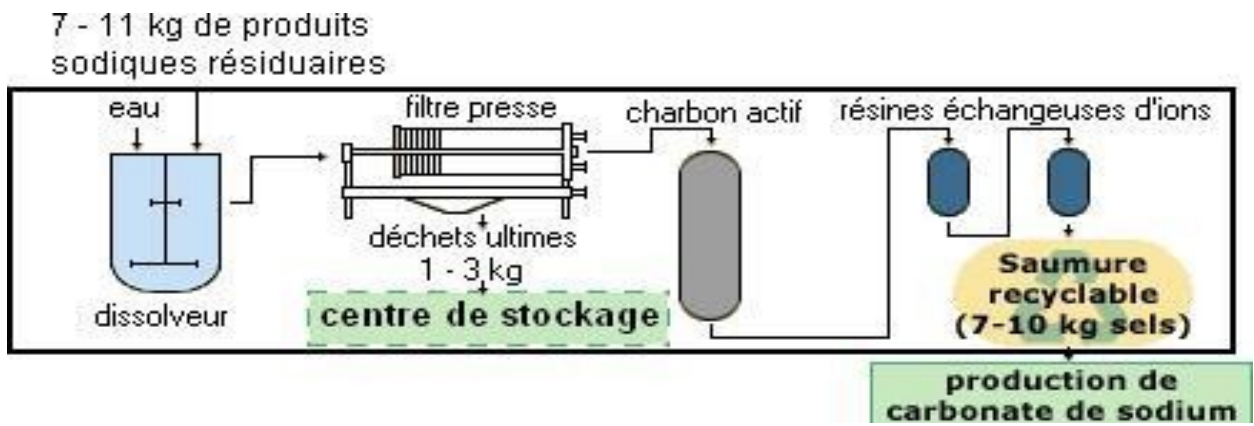


Figure 2.6 : Principe de fonctionnement de la régénération du bicarbonate

2.1.1.3. Avantages et inconvénients de procédé :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mise en œuvre et exploitation des installations simples ✓ Sécurité d'utilisation ✓ Coût d'investissement et d'exploitation réduits ✓ Besoin de main d'œuvre réduit ✓ Absence d'effluent liquide ✓ Possibilité de recycler les produits sodiques résiduaux dans l'industrie chimique 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Consommation massique élevée de réactif ✓ Coût du réactif élevé ✓ Résidus solides plus solubles et plus difficiles à stabiliser

Tableau 2.2 : Avantages et inconvénients de procédé sec sodique

2.1.1.4. Comparaison des différents réactifs alcalins :

Réactif	Avantages	Inconvénients
Chaux	<ul style="list-style-type: none"> -Réactivité moyenne (plus grande réactivité avec la chaux sorbacal) -Possibilité de fonctionner à une température élevée (avec la chaux sorbacal) -Coût/kg de réactif plus faible -Solubilité faible des résidus -Peut permettre le recyclage de gypse des épurateurs humides (cas des procédés combinés) 	<ul style="list-style-type: none"> -La manipulation peut être problématique (produit corrosif et irritant) et le recyclage peut être difficile -Production importante de résidu (pouvant être réduite par recirculation) -Pas de solution de valorisation
Bicarbonate de sodium	<ul style="list-style-type: none"> -Bonne réactivité -Faible stoechiométrie (~1,2) -Faible production de résidus -Purification et réutilisation des résidus possible et appliquées -Efficace sur une large gamme de températures de fonctionnement (140 - 300°C) : compatibilité avec les systèmes SCR -Sécurité d'utilisation (réactif non dangereux à manipuler) 	<ul style="list-style-type: none"> -Résidus solides plus solubles et plus difficiles à stabiliser s'il y a absence de valorisation -Coût/kg de réactif plus élevé

Tableau 2.3 : Comparaison des procédés sodiques et calciques

2.1.2. Epuration par voie semi-humide :

2.1.2.1. Description de procédé

Le procédé semi-humide, également connu sous le nom de procédé par voie semi-humide, est une technique de traitement des gaz de combustion qui permet de neutraliser les gaz acides présents dans les fumées, tels que le chlorure d'hydrogène (HCl), le fluorure d'hydrogène (HF) et le dioxyde de soufre (SO₂). [21]

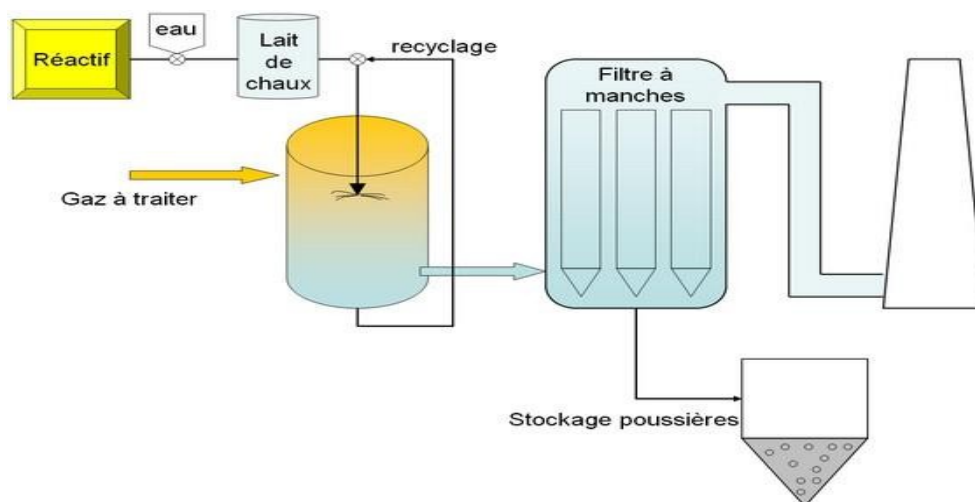


Figure 2.7 : principe de fonctionnement du procédé semi-humide

Ce procédé se distingue du procédé sec à la chaux par l'injection d'une quantité d'eau plus importante, ce qui permet d'obtenir une suspension de chaux (lait de chaux) et d'augmenter l'efficacité de captation des polluants.

2.1.2.2. Aspect théorique :

Dans le procédé semi-humide, les particules de lait de chaux, utilisées comme absorbant, réagissent d'abord par contact gaz-liquide avec les gaz acides présents dans l'effluent gazeux. Ensuite, sous l'effet de la chaleur des gaz de combustion, une partie de l'eau contenue dans le lait de chaux s'évapore, augmentant l'humidité des gaz de combustion et abaissant leur température. La réaction se poursuit alors par contact solide-gaz pour maximiser la neutralisation des gaz acides restants. Le temps de séjour dans la tour de réaction, généralement de 10 à 15 secondes, est optimisé pour assurer une réaction complète. Les sels neutres formés et les particules de lait de chaux non réactives sont récupérés par un système de dépolluierage humide, tel qu'un scrubber, à la sortie de la tour de réaction, garantissant ainsi une efficacité maximale du traitement des gaz acides. [21]

Le schéma réactionnel pour le HCl est présenté dans la **figure** ci-dessous.

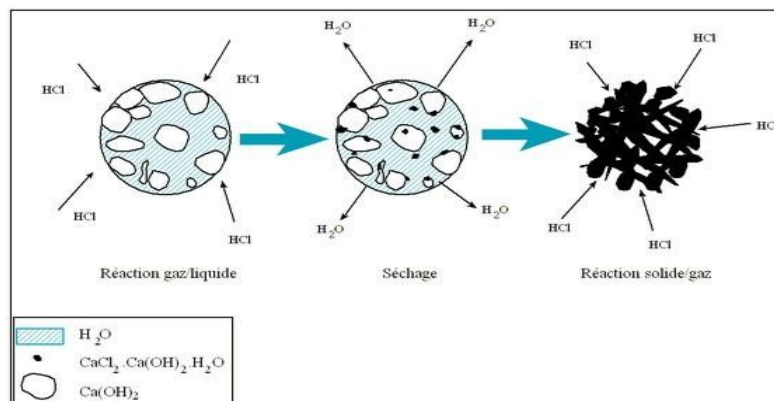
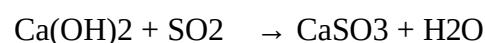
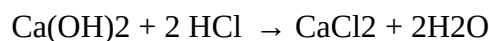


Figure 2.8 : Réaction d'élimination de HCl par procédé semi-humide

Les réactions théoriques de neutralisation sont :



Le système de filtration placé en aval du réacteur doit être adapté pour cette application (type de manches). De plus, il est essentiel de maintenir une température au-dessus de 130-140°C. En dessous de cette température, des problèmes de corrosion peuvent survenir.

2.1.2.3. Avantages et inconvénients du procédé :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Coût d'investissement limité (intermédiaire entre le procédé sec et le procédé humide) ✓ Absence d'effluent liquide ✓ Recirculation possible. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Consommation d'eau ✓ Production importante de poussière ✓ Consommation importante de réactif ✓ Mise en œuvre plus délicate liée à la préparation du lait de chaux.

Tableau 2.4 : Avantages et inconvénients du procédé semi-humides

2.1.3. Traitements humides :

2.1.3.1. Description du procédé :

Le procédé humide est une méthode de traitement des gaz industriels qui utilise une solution liquide pour capter et neutraliser les polluants présents dans les effluents gazeux. Ce procédé implique l'injection d'une solution de lavage, souvent de l'eau ou une solution contenant des réactifs chimiques, dans un laveur où elle est pulvérisée sous forme de fines gouttelettes. Ces gouttelettes entrent en contact avec les gaz contaminés, permettant ainsi la dissolution ou la réaction chimique avec les polluants. [22]

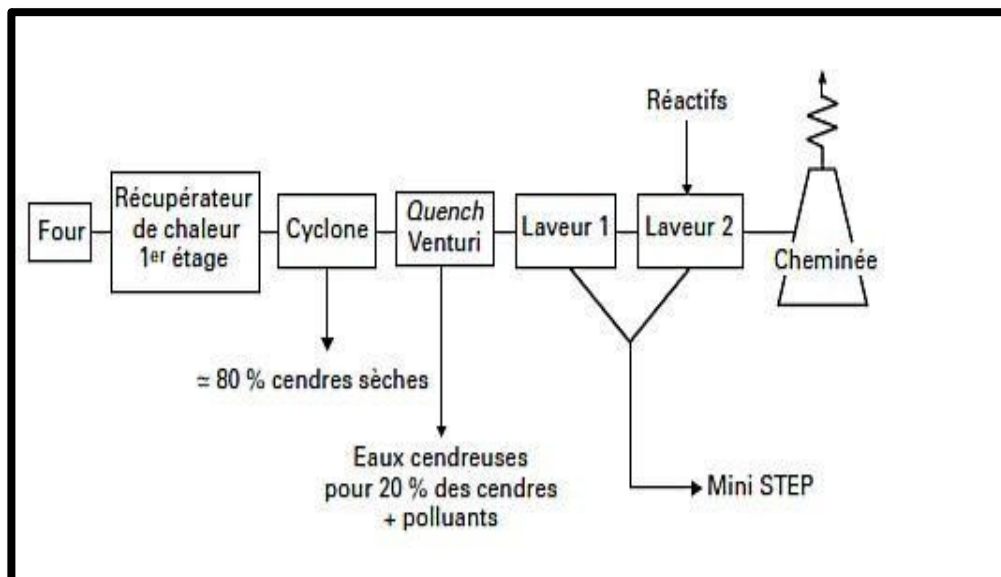


Figure 2.9 : Principe de fonctionnement du procédé humide

Il existe deux principaux types d'absorption dans ce procédé :

-L'absorption physique se produit lorsque les polluants passent de la phase gazeuse à la phase liquide sans qu'il y ait de réaction chimique. Ce type d'absorption repose sur la solubilité des polluants dans le liquide utilisé. Le liquide peut être de l'eau ou un autre solvant capable de dissoudre les polluants.

- **Exemple :** Si un gaz contient du dioxyde de carbone (CO_2) et qu'on le fait entrer en contact avec de l'eau, le CO_2 se dissoudra dans l'eau en formant de l'acide carbonique (H_2CO_3), sans qu'il y ait une réaction chimique complexe.

-L'absorption chimique, en revanche, se produit lorsque les polluants gazeux réagissent chimiquement avec des réactifs présents dans la phase liquide, formant ainsi de nouveaux composés. Ce type d'absorption est particulièrement utile lorsque la solubilité des polluants dans le liquide est faible.

- **Exemple :** Si un gaz contient du dioxyde de soufre (SO_2) et qu'on le fait passer à travers une solution contenant de l'hydroxyde de sodium (NaOH), le SO_2 réagira chimiquement avec le NaOH pour former du sulfite de sodium (Na_2SO_3) et de l'eau. Cette réaction chimique améliore l'efficacité de la capture des polluants.

Le procédé humide est couramment utilisé pour éliminer les gaz acides, les composés organiques volatils et autres contaminants gazeux, offrant ainsi une solution efficace pour réduire les émissions polluantes et améliorer la qualité de l'air.

2.1.3.2. Configuration des systèmes de lavage :

En fonction de la nature et de la quantité des polluants présents dans les gaz d'échappement à traiter, les laveurs peuvent être configurés de différentes manières : lavage à un étage et à deux étages. [23]

2.1.3.2.1. Lavage à un étage :

Le laveur à un étage est une installation utilisée pour traiter les émissions de polluants, principalement le HCl.

Il est moins efficace pour capturer le SO₂. Le choix du réactif dépend des polluants à traiter : l'eau est efficace pour le HCl, tandis qu'une base forte comme la soude est nécessaire pour capturer le SO₂ en plus du HCl. La chaux peut être utilisée mais présente des risques de colmatage.

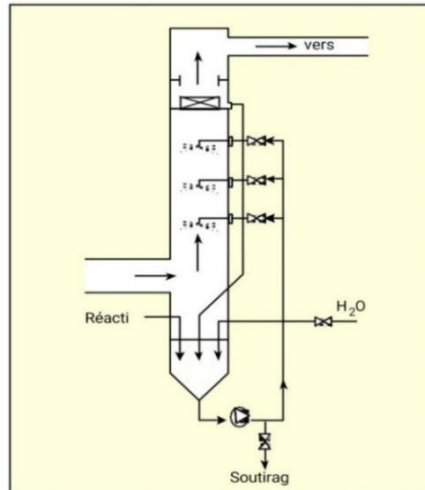


Figure 2.10 : Principe de fonctionnement d'un laveur à un étage

Le fonctionnement du laveur à un étage implique l'envoi en continu de la solution de lavage dans l'installation, avec un ajout régulier de réactif pour maintenir le pH optimal. Cette solution est recirculée en continu à travers le système, et des échantillons sont régulièrement prélevés pour évaluer l'efficacité de la capture des polluants. Ces échantillons sont analysés en laboratoire afin de mesurer les concentrations de polluants et de s'assurer que les émissions respectent les normes environnementales. Les résultats des analyses aident à ajuster les paramètres opérationnels pour optimiser le fonctionnement du laveur et assurer la conformité réglementaire. [23]

2.1.3.2.2. Lavage à deux étages :

Pour améliorer la captation du HCl et surtout du SO₂, qui sont captés de manière insuffisante dans un laveur à un seul étage, les constructeurs proposent un laveur à deux étages distincts. Le premier étage, appelé « acide », est spécifiquement conçu pour capturer le HCl et certains métaux lourds. Le deuxième étage, appelé « basique », vise à compléter la captation du HCl résiduel et à capturer efficacement le SO₂, qui est relativement peu capté dans les laveurs à un étage. [26]

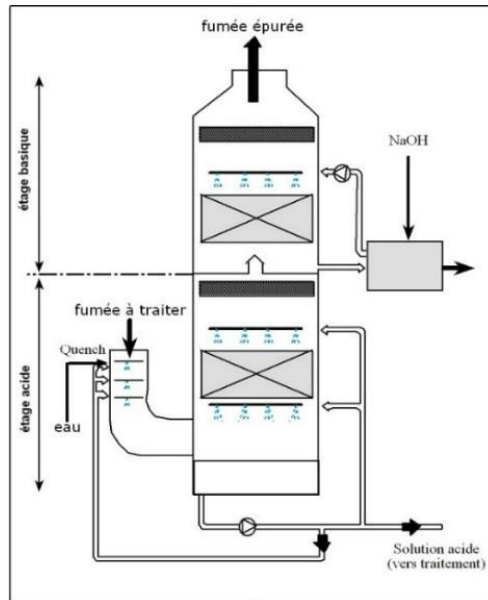
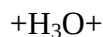


Figure 2.11 : Principe de fonctionnement d'un laveur à deux étages

2.1.3.2.2.1. Etage 1 (Acide) :

La solution est injectée en partie haute de l'étage acide et rencontre les gaz ascendants à contre-courant. L'absorption se produit lors du refroidissement par contact avec l'eau, captant ainsi le HCl, le HF et certains métaux lourds. Les réactions d'absorption sont les suivantes :



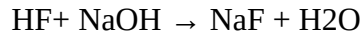
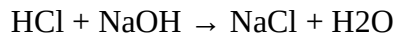
Le pH acide de la solution de lavage favorise également la solubilisation des métaux lourds. La solution récupérée en pied de colonne, maintenant acide, est recyclée en permanence. Pour éviter une surconcentration, une partie du liquide est soutirée en continu par la boucle acide et envoyée vers le traitement des eaux. [23]

2.1.3.2.2.2. Etage 2 (Basique) :

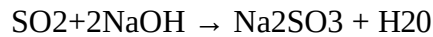
Cet étage, appelé « basique » en raison de la nature basique à neutre de la solution, complète la captation du HCl et du HF résiduels, ainsi que la neutralisation du SO₂. Dans cette zone de lavage, la solution à base de soude est utilisée, choisi pour sa capacité élevée à neutraliser le SO₂ et sa bonne solubilité dans l'eau.

Les fumées provenant de l'étage acide entrent dans l'étage basique où elles rencontrent la solution de soude à contre-courant.

La soude réagit avec le HF et le HCl pour former des sels solubles :



Enfin, la neutralisation du SO₂ par la soude donne du sulfite de sodium :



La solution de lavage est récupérée en bas de l'étage basique et recyclée en continu. Cette configuration permet une captation efficace du HCl, du HF et du SO₂ tout en maintenant la solution à un pH neutre à légèrement basique (idéalement entre 7 et 8,5), approprié pour la dissolution des polluants acides et la neutralisation du SO₂.

Le lavage à deux étages est meilleur que le lavage à un étage en raison de sa capacité accrue à capturer efficacement à la fois le HCl et le SO₂. En utilisant des réactifs acides et basiques adaptés à chaque étage, il offre une meilleure flexibilité pour traiter une variété de polluants, ce qui permet de répondre plus efficacement aux exigences réglementaires strictes en matière d'émissions polluantes. [23]

2.1.3.3. Gestion des effluents liquides issus du traitement humide :

2.1.3.3.1. Traitement physico-chimique :

Le traitement des eaux industrielles par la chaux comprend plusieurs étapes essentielles. Initialement, une pré-neutralisation au lait de chaux ajuste le **pH à 8-9** pour précipiter les sels sous forme de gypse et neutraliser les ions chlorure et fluorure. Une seconde neutralisation à un **pH de 9-10** favorise la précipitation des métaux lourds, aidée par l'ajout d'agents complexants et de chlorure ferrique pour coaguler les particules en suspension. Ensuite, la floculation sous l'effet de **polyélectrolytes** et de **FeCl₃** permet de regrouper les hydroxydes de métaux lourds avant leur séparation par décantation.

Les boues résultantes sont filtrées pour récupérer un gâteau solide, ensuite asséché dans des filtres presses pour atteindre des teneurs en solides secs de 40 à 60%. Un traitement complémentaire sur charbon actif peut être effectué pour éliminer le COT et les AOX. [23]

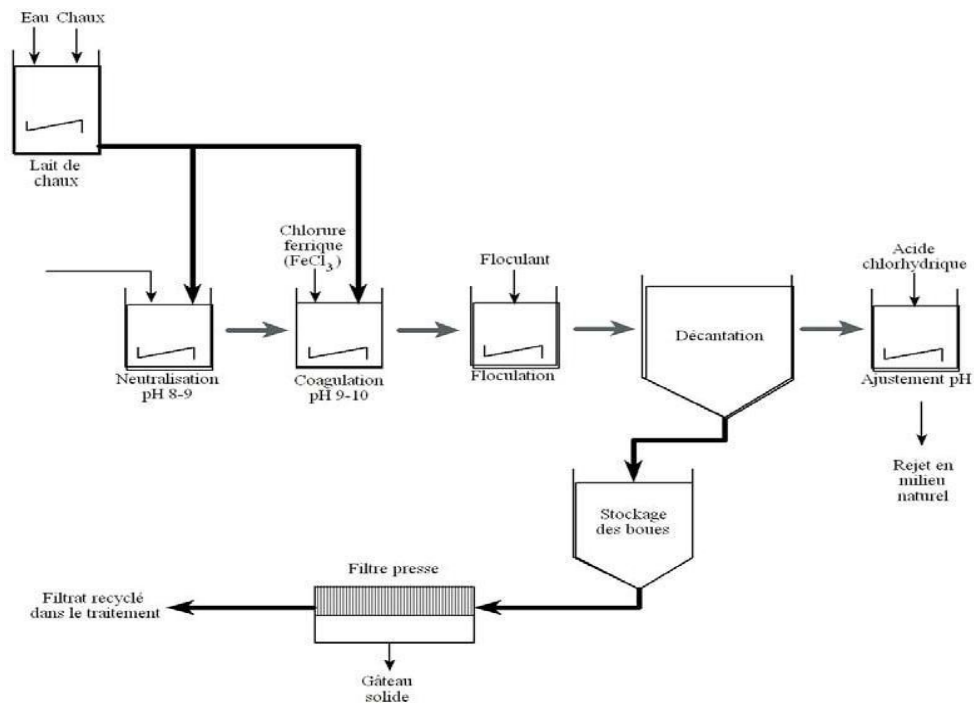


Figure 2.12 : Principe de fonctionnement du traitement physico-chimique du liquide de lavage

Le filtrat est généralement recyclé dans le système de traitement, et si nécessaire, il subit une filtration supplémentaire à travers des filtres à sable ou à charbon activé pour réduire les contaminants restants.

Les rejets liquides sont ajustés à un pH neutre avant d'être déversés dans le milieu naturel, sous réserve d'une autorisation stricte régissant les limites de chlorures et de sulfates fixées par l'arrêté préfectoral, avec un pH des eaux avant rejet contrôlé entre 5,5 et 8,5 pour respecter les normes environnementales.

2.1.3.3.2. Traitement biologique :

Le traitement biologique aérobie des sulfates dans les effluents industriels est une méthode efficace pour résoudre les problèmes potentiels que ces sulfates peuvent poser aux systèmes d'assainissement en béton. Dans ce processus, les sulfates sont d'abord réduits en sulfures par des bactéries anaérobies dans un réacteur. Ensuite, les sulfures sont oxydés en soufre élémentaire (S) par des bactéries aérobies en présence d'oxygène. Les boues formées, connues sous le nom de gâteau de soufre, sont collectées à la sortie du réacteur. Ce traitement

permet de réduire efficacement la concentration de sulfates tout en produisant un déchet solide gérable. [23]

2.1.3.4. Consommation de réactifs :

L'eau joue un rôle crucial dans le traitement, principalement utilisée pour refroidir les gaz à l'entrée du laveur (quench) afin de réduire leur température à environ 150°C. Cette eau est également utilisée pour préparer le lait de chaux nécessaire au traitement des effluents, où la chaux est dissoute dans l'eau pour neutraliser les acides tels que HCl, HF et SO₂. [23]

Pour le traitement humide, la consommation de réactifs est la suivante :

- **Soude** : 2-3 kg par tonne d'effluent traité
- **Chaux** : 5-10 kg par tonne d'effluent traité
- **Eau (appoint purge + préparation de réactifs)** : 100-500 m³ par tonne d'effluent traité. [23]

2.1.3.5. Avantages et inconvénients du procédé :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Performances élevées Supérieure à celles des procédés secs et semi-humides ✓ Faible consommation de réactif ✓ Faible production de résidus solides ✓ Lixiviation minimisée des métaux lourds ✓ Possibilité d'évolution facile ✓ Grande souplesse de fonctionnement 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Production forte d'effluent liquide ✓ Nécessité d'un traitement des eaux contenant des sels ✓ Coût d'investissement élevé ✓ Consommation d'eau et d'électricité importante ✓ Main-d'œuvre supplémentaire

Tableau 2.5 : Avantages et inconvénients du procédé humide

2.2. Les critères de sélection des procédés de traitement de fumée :

Le choix entre les procédés de traitement des fumées par voie humide, sèche ou semi-humide dépend de plusieurs facteurs, dont [24]:

2.2.1. Les polluants à éliminer:

- **Particules:** Les trois procédés peuvent capturer les particules, mais les procédés humides sont plus efficaces pour les particules fines.
- **Gaz acides:** Les procédés humides sont plus efficaces pour éliminer les gaz acides tels que le SO₂, HCl et HF

- **COV (Composés Organiques Volatils):** Les procédés par voie humide ou semi-humide peuvent être utilisés pour éliminer les COV, mais l'efficacité dépend du type de COV..

2.2.2. Les caractéristiques des fumées:

- **Température:** Les procédés humides nécessitent généralement que les fumées soient refroidies avant le traitement, tandis que les procédés secs peuvent fonctionner à des températures plus élevées.
- **Teneur en humidité:** Les procédés humides augmentent l'humidité des fumées, tandis que les procédés secs la diminuent.
- **Débit:** Le débit des fumées peut influencer le choix de la taille et du type d'équipement de traitement.

2.2.3. Coût:

- **Investissement initial:** Les procédés humides ont généralement un coût d'investissement initial plus élevé que les procédés secs.
- **Coûts d'exploitation:** Les coûts d'exploitation des procédés humides et secs peuvent varier en fonction des polluants à éliminer, des caractéristiques des fumées et des réglementations locales.

En général, les procédés humides sont plus efficaces pour éliminer une large gamme de polluants, mais ils sont plus coûteux à installer et à exploiter. Les procédés secs sont moins efficaces pour éliminer certains polluants, mais ils sont généralement moins coûteux à installer et à exploiter. Les procédés semi-humides offrent un compromis entre les procédés humides et secs en termes d'efficacité et de coût.

Il est important de consulter un spécialiste du traitement des fumées pour déterminer le procédé le mieux adapté à vos besoins spécifiques.

3. L'importance de traitement des fumées :

Le traitement des fumées industrielles est d'une importance capitale pour plusieurs raisons essentielles [25]:

3.1. Protection de l'environnement :

Le traitement des fumées industrielles est essentiel pour réduire les émissions de polluants atmosphériques nocifs tels que les particules fines (PM10, PM2.5), les oxydes de soufre (SOx), les oxydes d'azote (NOx), et les composés organiques volatils (COV). Ces polluants sont responsables de la pollution de l'air et peuvent avoir des effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement. En réduisant ces émissions, le traitement des fumées contribue à prévenir la pollution de l'air, l'acidification des sols et des eaux, ainsi que la formation de smog, tout en protégeant la biodiversité et les écosystèmes.

3.2. Protection de la santé publique :

Le traitement des fumées contribue à améliorer la qualité de l'air respiré par les populations environnantes, y compris les travailleurs et les résidents à proximité des installations industrielles. En réduisant les niveaux de polluants atmosphériques, comme les particules fines et les gaz toxiques, il aide à réduire les risques pour la santé associés à l'exposition à ces polluants. Cela peut diminuer l'incidence des maladies respiratoires, cardiovasculaires et d'autres problèmes de santé graves, améliorant ainsi la qualité de vie des populations concernées.

3.3. Conformité réglementaire :

Le traitement des fumées permet aux installations industrielles de respecter les normes environnementales strictes imposées par les gouvernements locaux, nationaux et internationaux. En se conformant à ces normes, les entreprises évitent les amendes et autres sanctions légales pour non-conformité, tout en minimisant les impacts négatifs sur leur réputation. Cela garantit que les activités industrielles se déroulent dans le respect des exigences légales, assurant une exploitation durable et responsable.

3.4. Responsabilité sociale et image de l'entreprise :

En adoptant des pratiques de traitement des fumées efficaces, les entreprises démontrent leur engagement envers la durabilité environnementale et le bien-être des communautés locales. Cela permet d'améliorer la réputation et l'image de marque de l'entreprise en tant qu'acteur responsable et respectueux de l'environnement. Une bonne gestion des émissions polluantes renforce la confiance des parties prenantes et favorise des relations positives avec la communauté locale et les régulateurs.

3.5. Valorisation des sous-produits :

Le traitement des fumées permet de récupérer certains polluants comme les cendres volantes ou le gypse, qui peuvent être valorisés dans d'autres applications. Par exemple, les cendres volantes peuvent être utilisées comme matériau de construction, tandis que le gypse peut être transformé en plâtre pour divers usages. Cette valorisation réduit le volume des déchets à éliminer tout en créant de nouvelles opportunités économiques et environnementales.

Chacune de ces aspects montre l'importance cruciale du traitement des fumées industrielles non seulement pour l'environnement et la santé publique, mais aussi pour la conformité réglementaire, la responsabilité sociale et l'optimisation des ressources.

4. Normes et réglementations internationales sur le traitement des émissions atmosphériques :

4.1. Normes internationales sur le traitement des fumées :

Les normes internationales concernant le traitement des fumées et la réduction des émissions de polluants atmosphériques sont établies par plusieurs organisations et accords.

➤ Organisation Mondiale de la Santé (OMS) directives de l'OMS sur la qualité de l'air :

Ces directives établissent des limites pour divers polluants atmosphériques, y compris les particules fines (PM10 et PM2.5), le dioxyde de soufre (SO₂), le dioxyde d'azote (NO₂) et l'ozone (O₃).[26]

➤ **Organisation Internationale de Normalisation (ISO) :**

- ISO 14001 : Système de management environnemental qui aide les organisations à minimiser leur impact sur l'environnement, y compris la gestion des émissions de fumées. [27]

- ISO 14040 : Gestion du cycle de vie, qui inclut l'évaluation des impacts environnementaux des émissions de polluants. [28]

➤ **Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP) :**

Cette convention vise à éliminer ou à réduire la production et l'utilisation de certains produits chimiques qui peuvent être présents dans les fumées industrielles. [29]

➤ **Accords Multilatéraux sur l'Environnement (MEA) :**

Protocole de Göteborg : Réduit les émissions de polluants atmosphériques transfrontaliers en Europe, fixant des limites pour les émissions de soufre, d'azote et de composés organiques volatils. [30]

4.2. Législation mondiale sur le contrôle des émissions de polluants :

La réglementation sur le traitement des fumées varie selon les régions, mais plusieurs pays et entités régionales ont mis en place des réglementations strictes pour contrôler les émissions de polluants atmosphériques.

➤ **Union Européenne :**

-Directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles (DEI) : Cette directive établit des limites d'émissions pour les grandes installations de combustion, les industries chimiques et d'autres secteurs industriels. [31]

-Règlement REACH (Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques) : Réglemente les substances chimiques pour protéger la santé humaine et l'environnement contre les risques liés aux substances chimiques. [32]

-Directive 2008/50/CE sur la qualité de l'air ambiant et l'air pur pour l'Europe : Fixe les objectifs pour les niveaux de qualité de l'air à atteindre dans les États membres.

- BREF (Best Available Techniques Reference Documents) : Documents de référence qui décrivent les meilleures techniques disponibles pour la réduction des émissions de polluants dans différents secteurs industriels [33]

➤ **États-Unis :**

Clean Air Act (CAA) : La loi sur la qualité de l'air des États-Unis réglemente les émissions de polluants atmosphériques dangereux. L'Environmental Protection Agency (EPA) fixe des normes de qualité de l'air et des limites d'émissions pour les polluants industriels.

New Source Performance Standards (NSPS) : Établit des normes pour les nouvelles sources d'émissions. [34]

➤ **Canada :**

Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE) : Établit des normes pour les émissions de substances toxiques et les polluants atmosphériques.

Les Règlements sur les systèmes de contrôle de la pollution de l'air exigent des installations industrielles qu'elles mettent en œuvre des technologies pour réduire les émissions de polluants. [35]

➤ **Chine :**

Loi sur la prévention et le contrôle de la pollution atmosphérique : Cette loi établit des normes pour les émissions de polluants atmosphériques et impose des limites strictes sur les émissions industrielles. [36]

Plan d'action pour la prévention et le contrôle de la pollution de l'air : Vise à réduire les niveaux de PM2.5 et à améliorer la qualité de l'air dans les principales villes chinoises.

➤ **Japon :**

Loi sur le contrôle de la pollution de l'air : Fixe des limites d'émissions pour divers polluants et réglemente les émissions des installations industrielles.

Normes d'émission pour les incinérateurs de déchets : Réglemente les émissions de dioxines et d'autres polluants dangereux. [37]

➤ **Australie :**

Réglemente les émissions de polluants des installations industrielles, y compris les centrales électriques et les usines de traitement des déchets [38]

➤ **Russie :**

Loi fédérale sur la protection de l'air atmosphérique

Régule les émissions de polluants et établit des normes de qualité de l'air.

Le Service fédéral de surveillance des ressources naturelles (Rosprirodnadzor) supervise le respect des normes d'émissions et des règlements environnementaux. [39]

4.3. Aspects communs et principes directeurs :

- **Meilleures Techniques Disponibles (BAT):** Les réglementations exigent souvent l'utilisation des technologies les plus efficaces et les plus récentes pour réduire les émissions.
- **Surveillance et Reporting :** Les entreprises sont tenues de surveiller leurs émissions et de rendre compte régulièrement aux autorités réglementaires.
- **Permis et Conformité :** Les installations industrielles doivent obtenir des permis d'exploitation, qui définissent les limites d'émission spécifiques et les conditions de fonctionnement.
- **Sanctions pour Non-Conformité :** Les entreprises qui ne respectent pas les réglementations peuvent être soumises à des amendes, des sanctions, ou des fermetures temporaires ou permanentes. [31]

5. Législation algérienne sur le traitement des fumées et la gestion des émissions atmosphériques :

5.1. Décrets algériens :

Le Décret exécutif n° 06-138 du 15 avril 2006 : Ce décret régleme l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions de leur contrôle. Il fixe les valeurs limites des rejets atmosphériques et impose des prescriptions techniques pour réduire les émissions. Il mentionne également les méthodes de traitement des fumées pour garantir leur conformité aux normes environnementales. [40]

Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable : Cette loi établit le cadre général pour la protection de l'environnement en Algérie. Elle comprend des dispositions sur les émissions atmosphériques et le traitement des fumées, en obligeant les installations industrielles à respecter les normes environnementales pour prévenir et réduire la pollution atmosphérique. [41]

Le Décret exécutif n° 93-165 du 10 juillet 1993 vise à réguler les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussières, odeurs et particules solides provenant des installations fixes. Ce décret fixe des valeurs limites pour différents types de polluants, définissant ainsi des seuils que les installations industrielles doivent respecter. Il oblige également les exploitants à effectuer des contrôles réguliers et à déclarer leurs émissions, garantissant ainsi une gestion rigoureuse de la pollution atmosphérique.

La 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 a pour objectif de prévenir les risques environnementaux majeurs, y compris la pollution atmosphérique. Elle prévoit des mesures spécifiques pour limiter les émissions polluantes en cas d'incidents industriels, renforçant ainsi la résilience environnementale et la protection des populations

La Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets vise à gérer et réduire les déchets, y compris ceux qui émettent des polluants atmosphériques. Cette loi impose des dispositions pour le traitement des déchets industriels afin de minimiser les émissions de polluants, contribuant ainsi à une meilleure qualité de l'air et à la protection de l'environnement.

La Loi n° 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'utilisation et à la gestion durable des ressources en eau a pour objectif la préservation et la gestion durable des ressources en eau, incluant les impacts des émissions atmosphériques sur les cycles hydrologiques. Les dispositions de cette loi prévoient des mesures pour prévenir la pollution de l'eau causée par les dépôts atmosphériques de polluants. [42]

La Loi n° 02-09 du 8 mai 2002 relative à la gestion des déchets et leur élimination a pour objectif de gérer les déchets solides et liquides pour minimiser leur impact sur l'environnement, y compris les émissions atmosphériques provenant des décharges et des incinérateurs. Cette loi impose des obligations aux installations de traitement des déchets de respecter les normes d'émission atmosphérique. [43]

Le Décret exécutif n° 02-175 du 20 mai 2002 relatif aux mesures de prévention et de réduction des pollutions atmosphériques causées par les véhicules vise à réduire les pollutions atmosphériques causées par les véhicules à moteur. Ce décret impose des normes strictes pour les émissions de gaz d'échappement et oblige à un contrôle technique régulier des véhicules. [44]

Enfin, **le Décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007** fixant les modalités d'application de la **loi n° 03-10 du 19 juillet 2003** relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable détaille les modalités d'application de cette loi, incluant des mesures spécifiques pour le contrôle et la réduction des émissions atmosphériques. Les articles de ce décret définissent les dispositions techniques et les procédures administratives nécessaires

pour assurer la mise en conformité des installations industrielles avec les normes environnementales. [45]

Ces législations forment un cadre complet pour la régulation des émissions atmosphériques en Algérie, imposant des normes strictes aux diverses sources de pollution, qu'elles soient industrielles, de transport ou liées à la gestion des déchets. Les mesures de contrôle et de prévention intégrées dans ces lois et décrets visent à protéger l'environnement et la santé publique en réduisant les impacts négatifs des émissions atmosphériques.

5.2. Inspections et sanctions pour le respect des normes de traitement des fumées en Algérie :

En Algérie, le contrôle du respect des normes de traitement des fumées est une responsabilité des agences de wilaya de l'environnement. Elles mènent des inspections régulières pour garantir que les installations industrielles respectent les valeurs limites d'émission de polluants atmosphériques. En cas de non-conformité, les entreprises peuvent se voir imposer des amendes significatives qui peuvent atteindre jusqu'à 5 000 000 de dinars, **selon l'article 42 de la loi n°01-01 du 20 février 2001**, ainsi que d'autres mesures administratives comme la fermeture temporaire ou définitive des installations, la suspension de l'autorisation d'exploitation, ou l'obligation de réaliser des travaux de mise en conformité.

les amendes et autres sanctions peuvent varier en fonction de la gravité de l'infraction et du type d'activité de l'entreprise. Les entreprises doivent donc s'assurer de bien connaître la réglementation en vigueur et prendre des mesures proactives pour respecter les normes de traitement des fumées afin d'éviter des sanctions importantes. [46]

Conclusion :

Le traitement des fumées industrielles constitue un pilier essentiel de la gestion environnementale actuelle. Les différentes techniques disponibles, qu'elles soient sèches, semi-secs, semi-humides ou humides, sont indispensables pour réduire les émissions polluantes. Ces traitements sont vitaux pour protéger la qualité de l'air, préserver la santé publique et respecter les normes internationales ainsi que les réglementations algériennes.

L'engagement des industries et des autorités à adopter et perfectionner ces méthodes est crucial pour assurer un développement durable et un environnement sain pour les générations futures.

Chapitre 3 :

Étude de cas : Traitement des fumées au niveau de GISB

Introduction :

Ce chapitre vise à fournir une compréhension approfondie de l'engagement de l'usine GISB envers la durabilité environnementale en se concentrant sur la gestion des émissions atmosphériques et la préservation de la qualité de l'air, avec une attention particulière sur le traitement des fumées. Nous étudierons en détail les initiatives mises en place par l'usine pour limiter l'impact de ses activités industrielles sur l'environnement atmosphérique.

1. Présentation du câblerie Sidi Bendehiba (GISB) :

La câblerie Sidi Bendehiba filiale du GISB (Groupe Industriel Sidi Bendehiba) est implanté dans la zone d'activités de Mesra Wilaya de Mostaganem. GISB opère dans le domaine de l'énergie depuis 2009. Afin de répondre aux besoins du marché national et international, GISB fabrique et commercialise des fils machine ainsi que des fils et des câbles électriques (basse, moyenne et haute tension) de haute qualité. [47]

1.1. Situation géographique :

GISB (groupe Industriel Sidi Bendehiba) est un groupe industriel diversifié implanté dans la zone d'activité de Mesra, wilaya de Mostaganem, GISB a su profiter d'avantages géographique ; une implantation dans une ville portuaire.

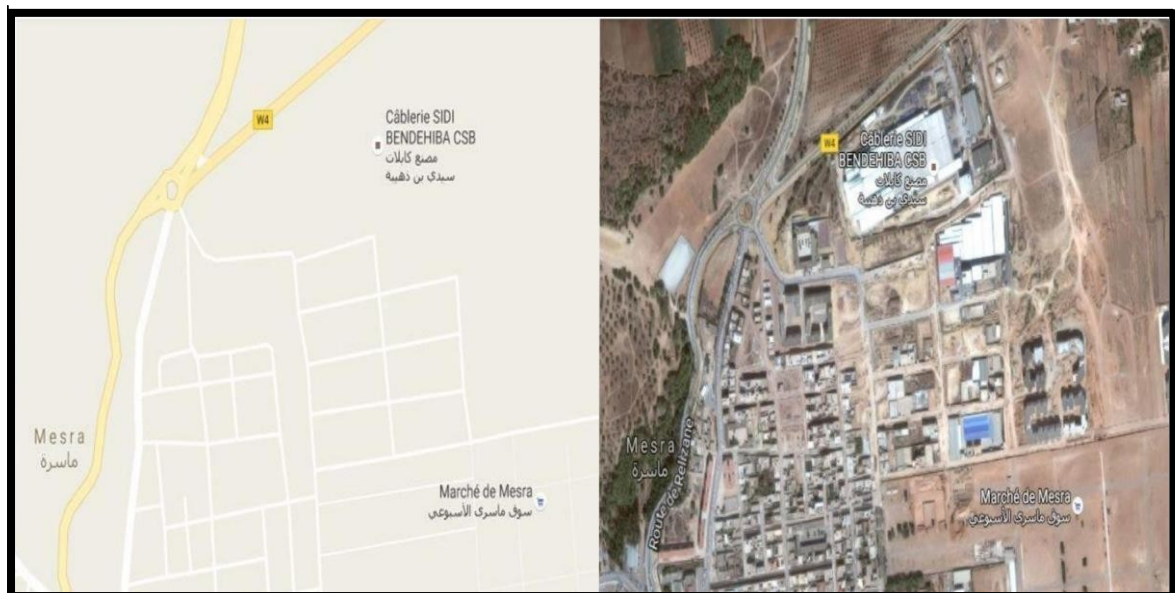


Figure 3.1 : Vue géographique de l'entreprise

1.2. Historique :

Le groupe industriel GISB opère dans le domaine de l'énergie depuis 2009. Il est composé de trois filiales : la Câblerie Sidi Bendehiba dont l'activité principale est la production et la commercialisation des câbles électriques (basse, moyenne et haute tension) de haute qualité afin de répondre aux besoins du marché national et international.

ASTOR, quant à elle, est une unité de fabrication de transformateurs électriques et les cellules LC-M.LC-M.LF. Son savoir-faire lui permet d'usiner une grande variété d'appareils : transformateur de distribution, transformateur de type sec, transformateur monophasé, transformateur avec cabine et transformateur de type spéciale. Avec le plus important investissement en Algérie.

Et la troisième filiale est KAST lighting : fabrication des lampes LED, les luminaires LED solaire et les projecteurs.

1.3. Organigramme :

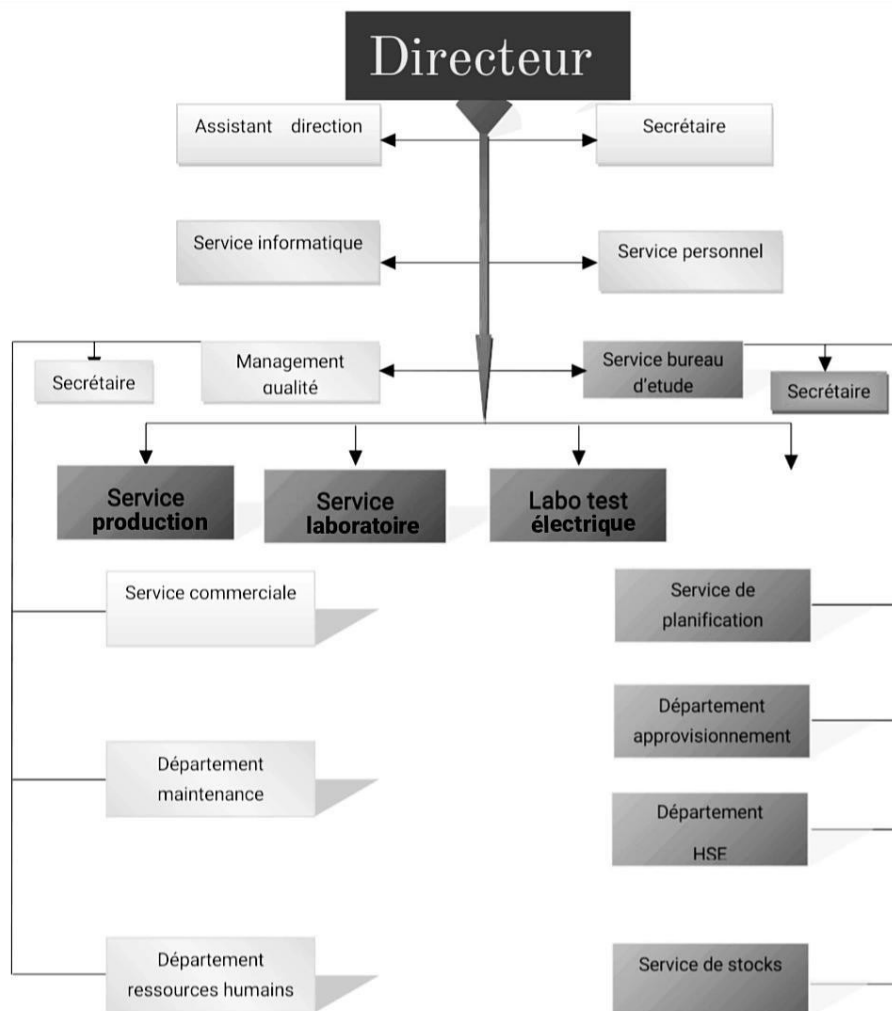


Figure 3.2 : organisation de l'entreprise

1.4. Fiche technique du GISB :

Activités principales	Fabrication des câbles	Production du fils machine en cuivre et aluminium et alliages d'aluminium
		Production de fils et câbles électriques : câble de contrôle, câble basse et moyenne tension, câble et conducteur pour les lignes de transmission aérienne.
Capitale sociale	102 400 000 DA. Détenu à 100% par des investisseurs Algériens	
Nombre d'employés	plus de 800 employés	
Lieu d'implantation	siège et usine à la zone industrielle de Mesra -Mostaganem	
Superficie site 2	métallurgie, tréfilage et câblage : 72 000 m ² .	
Superficie site 1	Extrusion et administration : 20 000 m ² .	

Tableau 3.1 : la fiche technique de la câblerie

1.5. Fonctionnement :

La câblerie algérienne est une société industrielle spécialisée dans la fabrication de différentes sortes de câbles tell

- Câbles domestiques
- Câbles industriels
- Câbles moyennes tension
- Câbles basse tension
- Câbles moyenne tension
- Câbles haute tension
- Conducteurs nus

1.6. Les procédés de fabrication d'un câble électrique :

La production dans la câblerie est effectuée en deux sites de production chacun a des étapes de fabrication spécifiées, la production dans cette entreprise est globale et totale de la matière première jusqu'à le câble ou le fil électrique fini.

Le site de production **02** est pour la production des câbles semi-finis par transformation des matières premières en des fils machines par la fusion en trois fours, et par le tréfilage et le câblage nous produisons les câbles semi-finis.

Dans le site de production **01** il existe trois opérations essentielles :
isolation – assemblage – gainage sans/avec bourrage.

Chaque étape réalisée est exécutée sous la supervision du laboratoire de contrôle de la qualité, la figure suivante présente une résumé descriptive de la production dans les deux ateliers

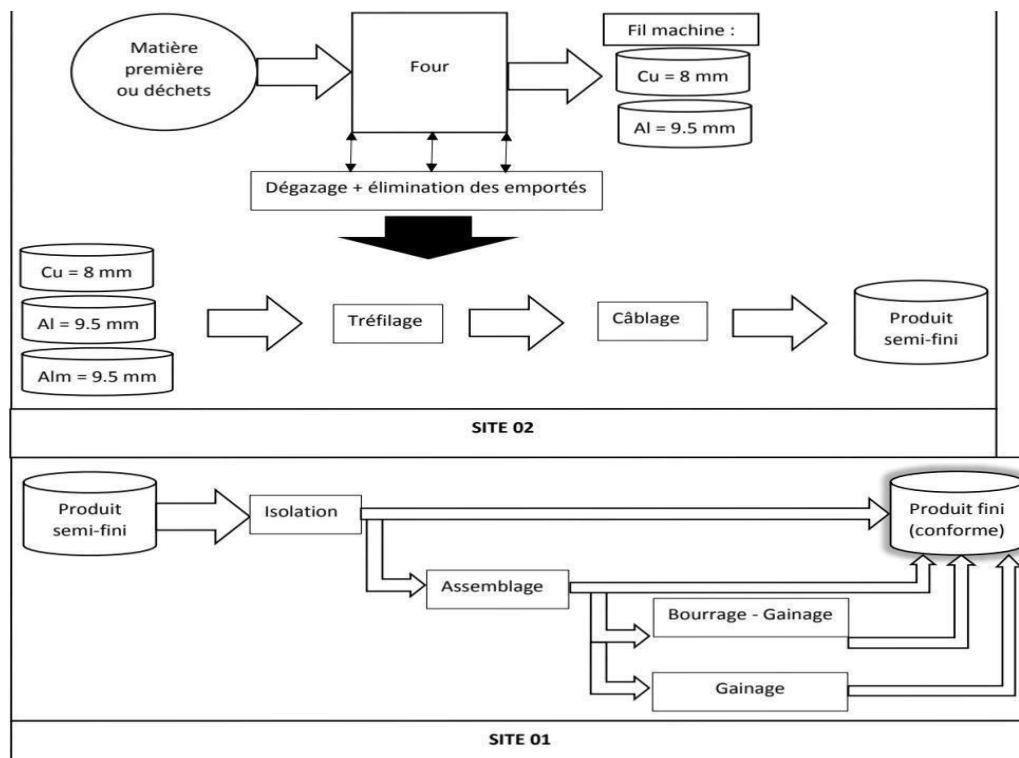


Figure 3.3 : processus de fabrication d'un câble électrique

1.6.1. Description de la production au niveau de site 02 :

La production dans ce site est appuyée sur trois métaux : le cuivre, l'aluminium et l'alliage D'aluminium.

Comme nous avons déjà figuré, dans ce site la production commence par la fusion des matières premières dans le four pour obtenir le fil machine (conducteur nu), ensuite on a le tréfilage puis le câblage. Pendant cette partie nous aurons détaillés bien ces étapes de la production et ses essais qui Assurent la conformité du produit

1.6.1.1. Différents types matières premières utilisées :

➤ Cuivre :

Le cuivre est le métal le plus utilisé pour faire des fils et câbles électriques, car il a une excellente [conductivité](#) électrique. Les cuivres industriels non alliés peuvent, en général, être classés en trois grandes catégories qui sont, d'après la nomenclature française, Cu-a, Cu-b et Cu-c.

➤ L'aluminium :

On utilise aujourd'hui des conducteurs d'aluminium pour les lignes aériennes, car le gain de poids ainsi obtenu compense largement la perte de conductivité par rapport au cuivre.

➤ Bronze :

le bronze est un matériau polyvalent et précieux qui trouve son application dans une multitude de domaines. Sa robustesse, sa résistance à la corrosion et sa malléabilité en font un choix privilégié pour l'industrie.

➤ Almelec :

Dans le but d'obtenir des câbles très résistants mécaniquement pour les zones fortement givrées ou les lignes de montagne, des câbles almélec.

1.6.1.2. Tréfilage :

Le tréfilage est la réduction de la section (le diamètre) d'un fil en métal par une traction mécanique sur une machine à tréfiler par une série des filières, la machine de tréfilage est appelée tréfileuse. Pour le cuivre il faut utiliser une solution d'huile (lubrifiant) et l'eau pour éviter le frottement et diminuer la température dans les filières, et il soumit un recuseur aussi.

Pour l'aluminium et l'alliage d'aluminium il existe juste un lubrifiant sans l'eau et sans recuit aussi, et pour l'alliage d'aluminium (almélec) il faut un traitement thermique dans un four pendant six heures pour améliorer leurs caractéristiques mécaniques (la résistivité et la traction).

Après le tréfilage il faut vérifier la qualité du produit par les essais suivants :

- L'aspect du produit (visuellement) Le diamètre spécifié
- Le poids
- La résistivité
- L'allongement et la traction.



Figure 3.4 : une tréfileuse

Filière :

Une filière est une pièce mécanique très dure permettant de mettre en forme un matériau (acier, aluminium, cuivre, plastique) généralement par compression ; la matière est poussée à chaud ou à froid à l'intérieur d'une forme qui force la matière à prendre le profil voulu. On peut ainsi fabriquer des objets longs, de section constante, soit pleins (fils nus ou enduits ,

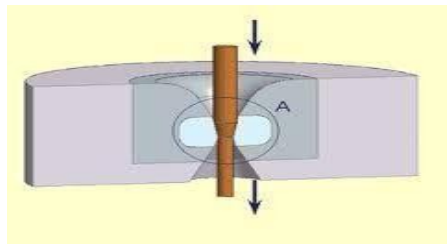


Figure 3.5: une coupe d'une filière

1.6.1.3. Câblage :

L'assemblage sert à réunir plusieurs brins nus, câblés en hélice avec un certain pas, éventuellement afin de constituer un câble multibrin.



Figure 3.6 : câblage7

1.6.2. Description de la production au niveau de site 01 :

Après le transport du produit semi-fini de site 02 au site 01, on commence la deuxième partie de la fabrication qui fait en trois étapes : isolation – assemblage – gainage, et pour identifier chaque produit ,Il faut signifier chaque câble ou fil par un marquage soit manuellement (mécanique), soit via Description de la production au niveau de site un 01

Après le transport du produit semi-fini de site 02 au site 01, on commence la deuxième partie de la fabrication qui fait en trois étapes : isolation – assemblage – gainage, et pour identifier chaque produit il faut signifier chaque câble ou fil par un marquage soit manuellement (mécanique), soit via une imprimante de jet encre. Le produit semi-fini est compté comme une matière première pour la production au site 01, qui contient aussi les tourets, le PVC /

XLPE pour l’isolation ou le gainage, le catalyseur...

1.6.2.1. Isolation :

Elle entoure l’âme conductrice et assure l’isolation électrique. Elle doit avoir une résistivité et une rigidité électrique élevée. Il doit résister à :

- Des contraintes mécaniques : Torsion, chocs
- Des contraintes chimiques : Résistance à la combustion
- Des contraintes physiques : Tenue à la corrosion par l’humidité

1.6.2.2. L’assemblage :

C’est l’assemblage des plusieurs câbles électrique isolés pour former un seul câble en Multiconducteur, dans cette étape et par contre le câblage précédent on peut assembler des câbles électriques n’ont pas les mêmes sections ou diamètres. Durant l’assemblage, il faut vérifier le sens et le pas d’assemblage, et le diamètre du câble entier.

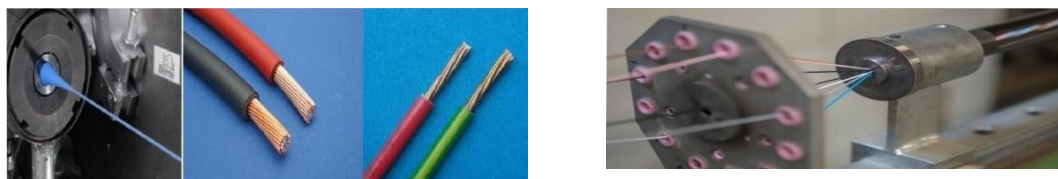


Figure 3.6 : assemblage des câbles électriques

1.6.2.3. Le bourrage – gainage :

Le bourrage a pour but de remplir les interstices entre les conducteurs après l'assemblage afin de donner au câble une forme cylindrique (rond).

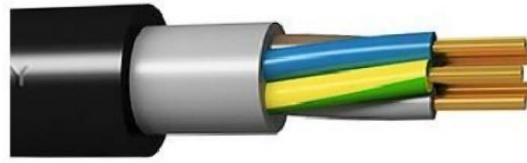


Figure 3.7 : Gainage

2. La politique environnementale :

Dans le cadre de la conférence annuelle sur la sécurité, GISB examine et évalue régulièrement son comportement environnemental. Comme elle s'inscrit dans le cadre légal pour réduire au maximum son impact sur l'environnement, elle utilise un processus dédié à différents contrôles : qualité des déchets, des eaux usées et des émissions.

Grâce à de nombreux partenaires commerciaux, elle optimise son utilisation de la matière première et recycle ses déchets de cuivre. GISB s'engage à utiliser le moins d'eau fraîche possible grâce à un processus de traitement des eaux usées provenant des secteurs de production. Elle s'engage aussi à acheter des matières consommables compatibles avec la protection de l'environnement afin de réduire la part des déchets dangereux. De plus, elle utilise une technologie permettant de diminuer les émissions de cuivre et d'aluminium et ainsi réduire les rejets de gaz. Elle contribue à la performance environnementale de ses clients. De plus, une démarche de transparence est mise en œuvre vis-à-vis des clients sur les produits.

GISB réalise des recherches approfondies pour garantir la résistance des câbles dans les environnements difficiles : grandes profondeurs, fortes pressions, températures extrêmes, corrosion, tenue au feu, sollicitations mécaniques intenses...

Le choix de matériaux moins polluants pour les gaines des câbles et leur connectique, ainsi que leur identification, contribue à faciliter le recyclage des câbles en fin de vie. Sa mission est de fournir des informations fiables sur les impacts environnementaux des produits électriques et électroniques. GISB améliore ses procédés et modernise ses équipements.

3. Le rôle de GISB dans la réduction des émissions atmosphériques :

L'usine **GISB**, bien que contribuant de manière significative à l'économie et au développement, est également une source importante de pollution atmosphérique. Les émissions de gaz à effet de serre, de particules fines et de métaux lourds provenant des processus de fusion, de traitement des minerais et de combustion de combustibles fossiles peuvent avoir des effets néfastes sur la santé publique et l'environnement de la région de Mesra et de l'Algérie en général.

Cependant, il est important de souligner que l'usine métallurgique n'est pas seulement un acteur responsable de la pollution atmosphérique, elle peut également jouer un rôle crucial dans la lutte contre celle-ci. En adoptant une approche proactive et en mettant en œuvre des stratégies de réduction des émissions, **GISB** peut minimiser son impact environnemental et contribuer à un avenir plus durable pour la région. Voici les différentes stratégies dont l'usine peut mettre en place :

- 3.1. Identification des sources de pollution :** La première étape essentielle consiste à identifier précisément les sources de pollution atmosphérique au sein de l'usine. Cela implique de cartographier les processus industriels, de mesurer les émissions de polluants et de déterminer les contributeurs majeurs à la pollution atmosphérique.

3.2. Mise en œuvre de technologies de traitement des fumées : Une fois les sources de pollution identifiées, l'usine peut investir dans des technologies de traitement des fumées efficaces pour capturer et éliminer les polluants avant qu'ils ne soient rejetés dans l'atmosphère.

3.3. Optimisation des procédés industriels : L'optimisation des procédés industriels peut également contribuer à réduire les émissions de polluants. Cela peut impliquer l'utilisation de matières premières moins polluantes, l'amélioration de l'efficacité de la combustion, l'optimisation des paramètres des procédés et la mise en œuvre de meilleures pratiques de maintenance.

3.4. Promotion d'une culture de prévention : L'usine métallurgique peut jouer un rôle important dans la sensibilisation des travailleurs aux enjeux de la pollution atmosphérique et à l'importance de la réduction des émissions. Cela implique de former les travailleurs aux bonnes pratiques de travail, de fournir des équipements de protection individuelle adéquats et de promouvoir une culture de responsabilité environnementale au sein de l'entreprise.

3.5. Collaboration avec les parties prenantes : L'usine peut s'engager avec les autorités locales, les communautés environnantes et les organisations non gouvernementales pour collaborer à la lutte contre la pollution atmosphérique. Cela peut impliquer le partage d'informations sur les émissions, le développement de plans d'action conjoints et la participation à des initiatives de surveillance de la qualité de l'air.

4. Polluants atmosphériques émis par l'usine GISB et leurs effets potentiels sur la santé et l'environnement :

Polluant	Description	Effets potentiels sur la santé et l'environnement
Oxyde de cuivre (CuO)	Solide noir ou brunâtre insoluble dans l'eau	Irritant pour les voies respiratoires
Plomb (Pb)	Le plomb, présent dans certains alliages de bronze, peut se retrouver dans les émissions de fusion	Cancérogène, peut causer des problèmes de développement chez les enfants, des problèmes neurologiques, des troubles rénaux et des problèmes reproductifs.
Cadmium (Cd)	Ce métal lourd peut également être présent dans les émissions de fusion de cuivre et s'accumuler dans l'organisme	Cancérogène, peut causer des problèmes rénaux, des troubles osseux et des problèmes respiratoires.
Gaz à effet de serre (CO₂)	Le processus de fusion dégage du dioxyde de carbone (CO ₂)	Le CO ₂ piège la chaleur dans l'atmosphère, ce qui entraîne une augmentation de la température globale de la planète, pouvant causer des événements météorologiques extrêmes
Fluorures	Ces composés, sous forme de gaz ou de particules, peuvent s'infiltrer dans les sols et les eaux	Les fluorures peuvent causer des problèmes respiratoires, des problèmes dentaires et des problèmes osseux chez les animaux
Dioxines et furanes	Ces polluants organiques chlorés (POP) hautement toxiques peuvent être générés lors de la combustion incomplète des matériaux organiques présents dans les charges d'alimentation des fours	Les dioxines et furanes peuvent causer des cancers, des problèmes de reproduction, des problèmes immunitaires et des problèmes de développement chez les enfants.
Acide chlorhydrique (HCl) Acide sulfurique (H₂SO₄)	Gaz incolore, acide fort, corrosif et irritant	Peut causer des brûlures graves à la peau, aux yeux et aux voies respiratoires. L'inhalation peut entraîner des problèmes respiratoires graves, voire mortels.

Tableau 3. 2: Polluants atmosphériques émis par l'usine GISB et leurs effets potentiels sur la santé et l'environnement.

5. Sources de polluants et émissions atmosphériques au niveau de GISB :

5.1. Procédés de fusion :

Les procédés de fusion des métaux, impliquant des réactions chimiques à haute température, génèrent divers polluants atmosphériques. Les polluants spécifiques émis dépendent du type de métal et des procédés utilisés. Parmi les polluants courants, on trouve les métaux lourds comme le plomb, le cadmium, le mercure et l'arsenic, ainsi que des composés organiques volatils (COV) et des gaz acides tels que l'acide chlorhydrique (HCl) et l'acide fluorhydrique (HF). Par exemple, la fusion du cuivre émet principalement des oxydes de cuivre, des particules fines et des gaz acides, tandis que la fusion du bronze libère des oxydes d'étain et de cuivre ainsi que des composés volatils. La fusion de l'aluminium produit des oxydes d'aluminium, des poussières fines et des gaz comme HCl et HF, et la fusion d'almelec entraîne des émissions d'oxydes d'aluminium et de gaz. Ces émissions doivent être soigneusement contrôlées pour réduire leur impact environnemental.

5.2. Traitement des minerais :

Le traitement des minerais comprend principalement le traitement des métaux tels que le cuivre, l'aluminium et l'almelec...etc.

Ce processus peut libérer des polluants atmosphériques, notamment des gaz et des poussières, en raison des opérations de broyage, de concassage, de séparation et de traitement chimique des minerais métalliques

5.3. Transport :

Le transport des matières premières, des produits intermédiaires et des produits finis vers et depuis l'usine peut également générer des polluants atmosphériques sous forme d'émissions de gaz d'échappement des véhicules et de poussières soulevées par les activités de chargement et de déchargement. [48]

6. Impact des émissions sur la santé publique et l'environnement :

6.1. Sur la santé :

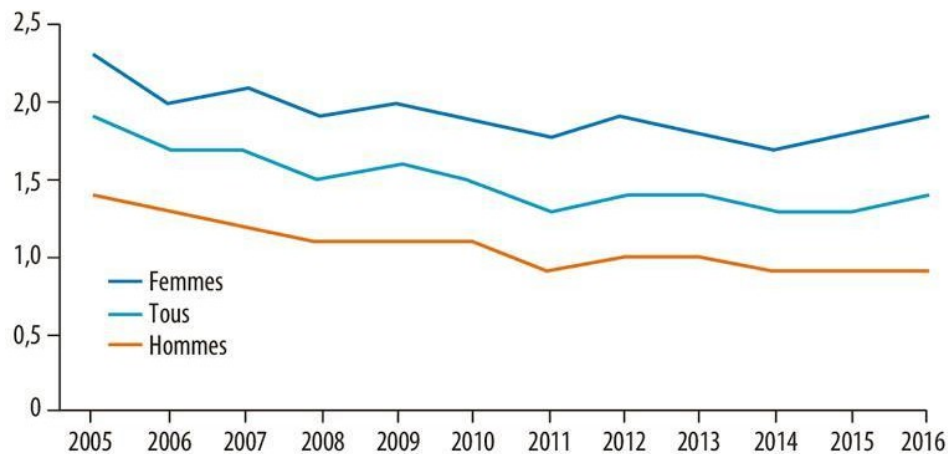
6.1.1. Problèmes respiratoires:

- Irritation des voies respiratoires, toux, essoufflement, bronchite, pneumonie
- Aggravation de maladies respiratoires existantes telles que l'asthme et la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO)

6.1.2. Maladies cardiaques:

- Augmentation de la tension artérielle, de la fréquence cardiaque et du risque de crise cardiaque
- Accident vasculaire cérébral

6.1.3. Problèmes de peau:



- Irritations, éruptions cutanées, acné

Figure 3.8 :Évolution du pourcentage de personnes exposées à l'asthme (femme / hommes) dans les environs de l'usine GISB

6.2. Sur l'environnement :

6.2.1. Formation de smog photochimique :

Lorsque les polluants provenant des usines réagissent avec la lumière du soleil, ils peuvent créer du smog photochimique, qui peut nuire à la santé humaine et à la végétation

6.2.2. Pollution des sols:

Les déchets solides et dangereux provenant des usines peuvent s'accumuler dans les sols, les contaminant et les rendant impropres à l'agriculture et à l'habitation.

6.2.3. Acidification des sols:

Les pluies acides, causées par les émissions de gaz à effet de serre des usines, peuvent acidifier les sols, les rendant moins fertiles et réduisant leur capacité à soutenir la végétation.



Figure 3.9 : Effet des émissions de l'usine GISB - 2012

7. Rôle du responsable HSE :

Le Responsable HSE (Hygiène, Sécurité, Environnement) joue un rôle crucial dans la prévention des accidents du travail, des maladies professionnelles et des atteintes à l'environnement dans une usine métallurgique. Ses principales responsabilités comprennent :

7.1. Identifier et évaluer les risques HSE :

Le Responsable HSE a un rôle dans l'identification et l'évaluation des risques liés aux émissions atmosphériques dans cette usine . À travers des inspections régulières et une analyse approfondie des systèmes de traitement de fumée et des émissions, il identifie les

dangers potentiels et évalue leur impact sur la santé des travailleurs et l'environnement. Cette démarche inclut également l'analyse des données historiques d'incidents et la veille constante sur les nouvelles réglementations et les meilleures pratiques en matière de HSE.

7.2. Mettre en œuvre des mesures de prévention :

Basé sur l'évaluation des risques, le Responsable HSE développe et met en œuvre des mesures de prévention spécifiques pour réduire les émissions de polluants atmosphériques. Cela comprend l'installation et la maintenance des systèmes de captation et de filtration des fumées pour contrôler efficacement les rejets industriels. De plus, il assure la formation continue des travailleurs sur les procédures de sécurité et l'utilisation correcte des équipements de traitement des fumées. Encourager l'adhésion aux normes de protection individuelle (EPI) fait également partie intégrante de ses responsabilités pour minimiser l'exposition des travailleurs aux risques environnementaux.

7.3. Communiquer et sensibiliser :

La communication efficace sur les enjeux des émissions atmosphériques est essentielle dans le rôle du Responsable HSE. Il informe la direction, les employés et les parties prenantes sur les risques associés aux émissions de fumée et sur les mesures préventives mises en place. En fournissant des informations claires sur les réglementations en vigueur, il sensibilise également à l'importance de la conformité et promeut une culture d'entreprise axée sur la prévention et la durabilité environnementale.

7.4. Assurer la veille réglementaire :

Le Responsable HSE doit se tenir informé des réglementations HSE en vigueur et s'assurer que l'usine est en conformité. Cela implique de suivre les changements de législation, de mettre à jour les procédures et de réaliser des audits de conformité.

7.5. Gérer les incidents et les accidents :

En cas d'incident ou d'accident lié aux émissions de fumée, le Responsable HSE joue un rôle clé dans la gestion et la résolution de la situation. Il mène des enquêtes approfondies pour déterminer les causes racines, analyse les données collectées, et met en place des actions correctives pour prévenir la récurrence d'incidents similaires à l'avenir. La gestion proactive des risques environnementaux est cruciale pour maintenir un environnement de travail sûr et durable.

Le **tableau** d'analyse préliminaire des risques (**APR**) présenté ci-dessous est un outil essentiel pour le responsable HSE pour identifier, évaluer et hiérarchiser les risques HSE dans l'usine. Il permet de cibler les efforts de prévention et de mettre en place des mesures adéquates pour réduire les risques les plus importants :

Élément	Danger	Risque	Gravité	Probabilité	Mesures de prévention	Responsable	Date d'échéance
Traitement des minerais	Poussières, émanations de gaz toxiques	Maladies respiratoires, intoxications	Majeure	Moyenne	Installation de systèmes de captation des poussières, port de masques respiratoires, contrôles réguliers de la qualité de l'air, formation des travailleurs aux procédures de sécurité.	Responsable HSE	08/2022
Fusion du cuivre	Projections de métal fondu, émanations de gaz	Brûlures, intoxications	Majeure	Moyenne	Port d'équipements de protection individuelle (EPI) adéquats, mise en place d'une ventilation efficace, formation des travailleurs aux procédures de sécurité.	Responsable HSE	08/2022
Fusion du plomb	Fumées de plomb, oxyde de plomb (PbO)	Saturnisme (intoxication au plomb), maladies respiratoires, troubles neurologiques	Majeure	Moyenne	Installation de systèmes de captation et de traitement des fumées, port de masques respiratoires adéquats et de combinaisons de protection, formation des travailleurs aux procédures de sécurité, analyses biologiques régulières du plomb chez les travailleurs.	Responsable HSE	08/2022
Fusion d'autres	Fumées de métaux divers (cadmium,	Intoxications par les métaux, maladies	Majeure	Moyenne	Installation de systèmes de captation et de traitement des	Responsable HSE	08/2022

méta ux	arsenic, etc.)	respiratoir es, cancers			fumées spécifiques à chaque métal, port de masques respiratoires adéquats		
--------------------	-------------------	-------------------------------	--	--	--	--	--

Transport des engins	Chutes d'objets, collisions, renversements	Blessures graves, décès	Majeure	Moyenne	Mise en place de zones de circulation sécurisées, signalisation claire, formation des conducteurs aux règles de sécurité routière, maintenance régulière des engins.	Responsable HSE	09/2022
Fumées des engins	Gaz à effet de serre (CO2, CH4), oxydes d'azote (NOx), oxydes de soufre (SOx), particules fines	Changement climatique, pollution atmosphérique, maladies respiratoires	Moyenne	Moyenne	Utilisation de véhicules plus propres, mise en place de filtres à particules, formation des conducteurs aux bonnes pratiques de conduite.	Responsable HSE	09/2022

Tableau 3.3 :Analyse préliminaire des risques pour les opérations de GISB en 2022

8. Traitement des fumées à l'usine GISB :

8.1. Description de procédé:

L'usine GISB est engagée dans la réduction de son impact environnemental en mettant en œuvre des techniques efficaces de traitement des fumées avant leur rejet dans l'atmosphère. Parmi ces techniques, l'usine utilise le **procédé humide**, une méthode qui permet de capturer et de neutraliser les polluants contenus dans les fumées industrielles. Ce procédé repose sur l'utilisation de solutions liquides pour absorber les contaminants, ce qui permet de purifier les gaz émis et de garantir que les rejets atmosphériques respectent les normes environnementales strictes. Grâce à cette approche, l'usine contribue à la protection de la qualité de l'air et à la préservation de la santé publique.

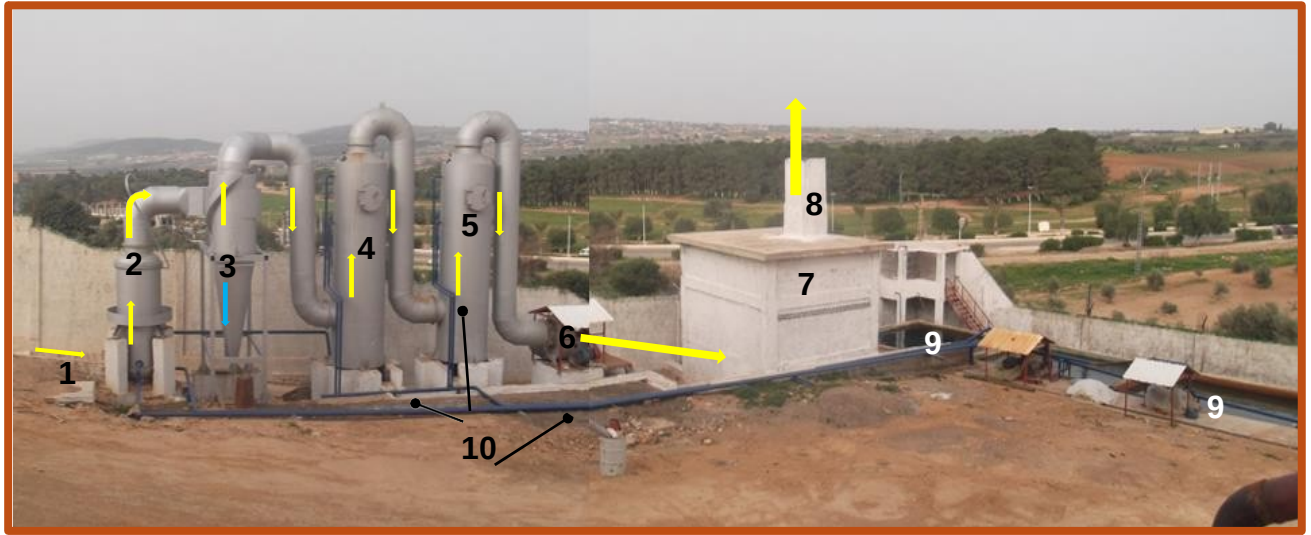


Figure 3.10 : Station de traitement des fumées au niveau de GISB - procédé humide



Figure 3.11 : Passage des fumées et des poussières

Le traitement des fumées par procédé humide implique le passage des gaz de combustion à travers une série d'étapes soigneusement conçues :

1. **Caniveau** : Le caniveau sert à acheminer la fumée chargée de poussière et de gaz nocifs dégagée par le four jusqu'à la station de traitement de fumées.
2. **Refroidisseur tubulaire** : Le refroidisseur tubulaire est un échangeur de chaleur à convection forcée qui permet d'abaisser la température de la fumée. Cela est nécessaire car la plupart des procédés de traitement des fumées fonctionnent plus efficacement à des températures plus basses.

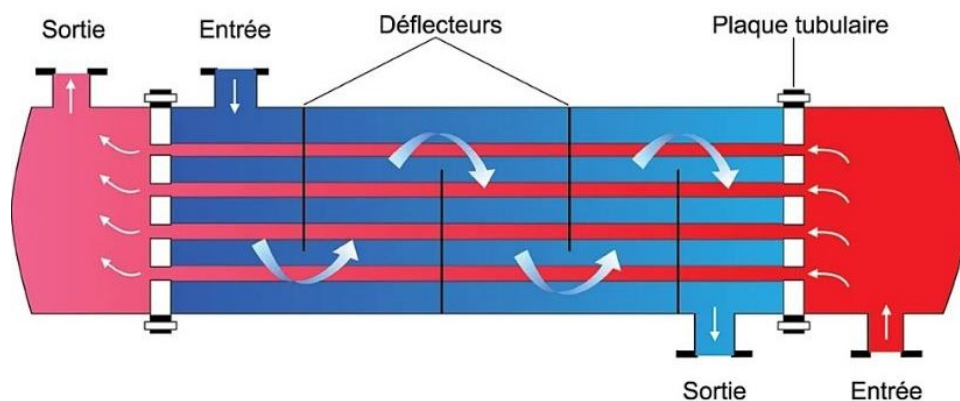


Figure 3.12 : principe de fonctionnement d'échangeur de chaleur

3. **Dépoussiéreur** : Le dépoussiéreur vertical permet de séparer la poussière de la fumée. Cela se fait généralement par gravité ou par l'utilisation de cyclones.

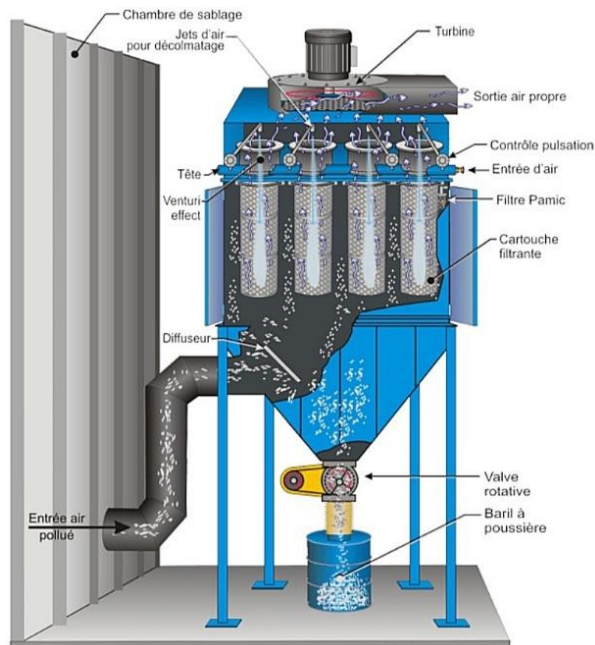


Figure 3.13 : principe de fonctionnement de dépoussiéreur

4. **1ère tour de lavage :** La première tour de lavage est une tour à garnissage où la fumée passe à travers un système de douchette d'eau. Cela permet d'éliminer les gaz nocifs solubles dans l'eau, tels que les oxydes d'azote et les chlorures d'hydrogène.
5. **2ème tour de lavage :** La deuxième tour de lavage est similaire à la première tour de lavage, mais elle est généralement utilisée pour éliminer les gaz nocifs résiduels.

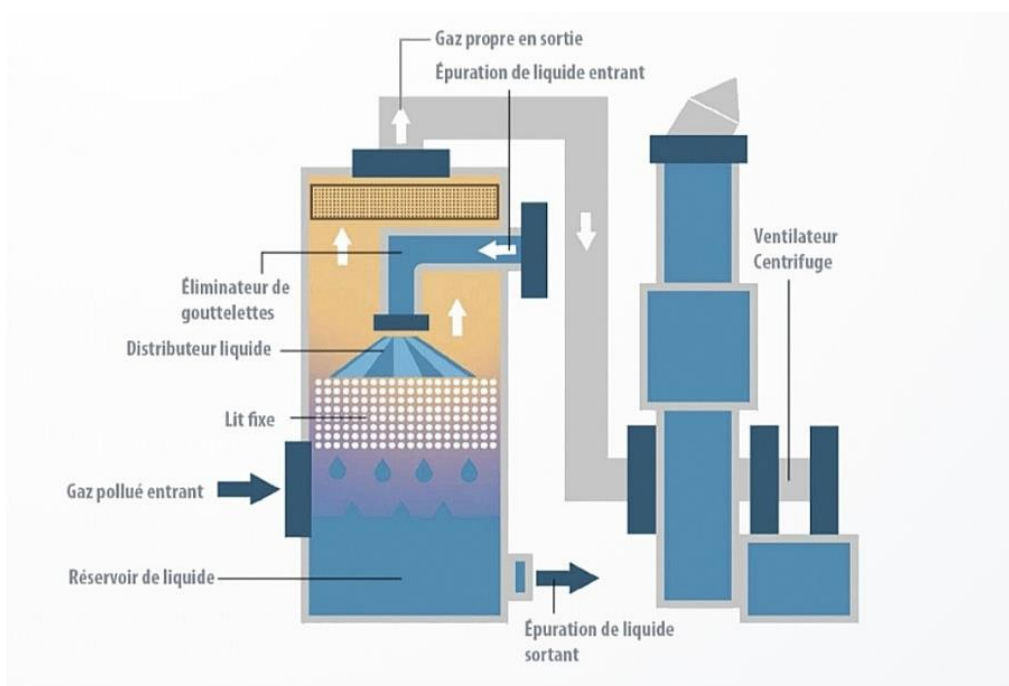


Figure 3.14 : principe de fonctionnement des laveurs

- 6. Souffleur extracteur :** Le souffleur extracteur crée un vide qui permet d'aspirer la fumée vers la chambre de décompression.
- 7. Chambre de décompression :** La chambre de décompression permet de réduire la pression de la fumée avant qu'elle ne soit évacuée dans l'atmosphère. Cela est nécessaire pour des raisons de sécurité.
- 8. Cheminée :** La cheminée permet d'évacuer la fumée dans l'atmosphère.
- 9. Bâche à eau :** Les bâches à eau stockent l'eau utilisée pour le refroidissement et le lavage de la fumée.
- 10. Circuit d'alimentation/retour de l'eau :** Le circuit d'alimentation et de retour transporte l'eau des bâches à eau vers les refroidisseurs tubulaires et les tours de lavage, puis la ramène aux bâches à eau.

8.2. Mode opératoire :

La fumée chargée de poussière et de gaz nocifs dégagé par le four est acheminée par le caniveau(1) jusqu'à la station de traitement de fumées où elle passe par un refroidisseur tubulaire(2) (échangeur de chaleur à convection forcée) pour abaisser sa température, puis par un dépoussiéreur vertical(3) pour séparer la poussière de la fumée, ensuite par la 1ère tour de lavage(4) et la 2ème tour de lavage(5) où la fumée passe par un système de douche d'eau pour l'élimination des gaz nocifs, après elle passe par le souffleur extracteur(6) pour terminer sa course dans la chambre de décompression(7) et l'évacuation dans l'atmosphère par la cheminée(8).

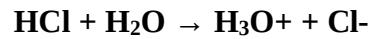
La station de traitement de fumées a tout un système d'alimentation et de récupération d'eau qui sert à la fois pour le refroidissement et pour le lavage de la fumée, ce système comporte des bâches à eau(9) et un circuit d'alimentation et de retour(10) (tuyauterie, canal, pompes)

8.3. Réactions chimiques des polluants avec l'eau dans les laveurs :

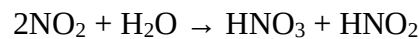
Les laveurs humides sont des dispositifs utilisés pour éliminer les polluants gazeux présents dans les fumées industrielles. Ils fonctionnent en mettant en contact les gaz avec un liquide absorbant, généralement de l'eau ou une solution aqueuse. Ce contact permet le transfert des polluants de la phase gazeuse vers la phase liquide, les éliminant ainsi des gaz de combustion.

Les réactions chimiques qui se produisent entre les polluants et l'eau dans les laveurs humides dépendent de la nature des polluants présents. Parmi les réactions les plus courantes, on trouve :

- **Chlorure d'hydrogène (HCl) : Le chlorure d'hydrogène réagit avec l'eau pour former de l'acide chlorhydrique :**

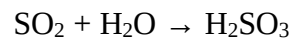


- **Oxydes d'azote (NOx) :** Les oxydes d'azote (NO et NO₂) réagissent avec l'eau pour former de l'acide nitrique et de l'acide nitreux :

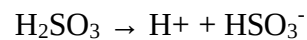


- **Dioxyde de soufre (SO₂) :**

Le dioxyde de soufre réagit avec l'eau pour former de l'acide sulfurique :



L'acide sulfurique formé peut ensuite se dissocier en ions hydrogène et bisulfite :



Ces réactions chimiques permettent de transformer les gaz nocifs en composés moins dangereux ou plus facilement manipulables. Les produits formés peuvent être collectés et traités en conséquence, réduisant ainsi les émissions polluantes dans l'atmosphère.

8.4. Performances de procédé :

Pour évaluer la performance de procédé de traitement, il est essentiel de prélever des échantillons à des points stratégiques du système. Ce processus comprend des prélèvements à l'entrée du système de traitement (avant traitement), à la sortie (après traitement), ainsi qu'à des points intermédiaires utilisant des sondes isocinétiques pour assurer la représentativité des échantillons. Ces échantillons sont ensuite analysés pour quantifier l'efficacité du traitement et vérifier la conformité aux normes environnementales.

Le **tableau** ci-dessous compare les concentrations de quelques polluants avant et après le traitement des fumées dans l'usine GISB :

Polluants	Concentration avant traitement (mg/Nm ³)	Concentration après traitement (mg/Nm ³)	Réduction (%)	Norme réglementaire (mg/Nm ³)
HCl (acide chlorhydrique)	1500	0,1-1	99	10
HF (fluorure d'hydrogène)	10	< 0,1-0,5	>98	1
SO ₂ (dioxyde de soufre)	300	< 10	96,7	50
Poussières	5000	< 5	99	10
Métaux lourds particuliers	40	< 1	>99	

Tableau 3.4 : comparaison des concentrations de polluants (HCl , HF, SO₂, poussières, métaux lourds) avant et après le traitement dans l'usine GISB – 2022

Les données présentées indiquent que l'usine GISB est en conformité avec les normes en vigueur en ce qui concerne les rejets atmosphériques. En effet, les concentrations de tous les polluants, après traitement, sont inférieures aux seuils réglementaires.



Figure 3.15 : Cannes de prélèvement – GISB

8.5. Gestion des effluents liquides issus du procédé :

Les effluents liquides issus du procédé humide présentent généralement les caractéristiques suivantes : [49]

- **Acidité:** Ils sont acides en raison de la présence de gaz dissous tels que le dioxyde de soufre (SO₂) et les oxydes d'azote (NO_x) absorbés par l'eau de lavage.
- **Teneur en solides en suspension:** Ils peuvent contenir des particules solides provenant des fumées traitées.
- **Présence de métaux lourds:** Des traces de métaux lourds peuvent être présentes, provenant des matières premières ou des additifs utilisés dans le procédé.
- **Composés organiques:** Certains effluents peuvent contenir des composés organiques provenant des fumées traitées.

L'usine **GISB** met en œuvre des stratégies de gestion des effluents liquides du procédé humide efficaces pour minimiser leurs impacts environnementaux. Ces stratégies peuvent inclure :

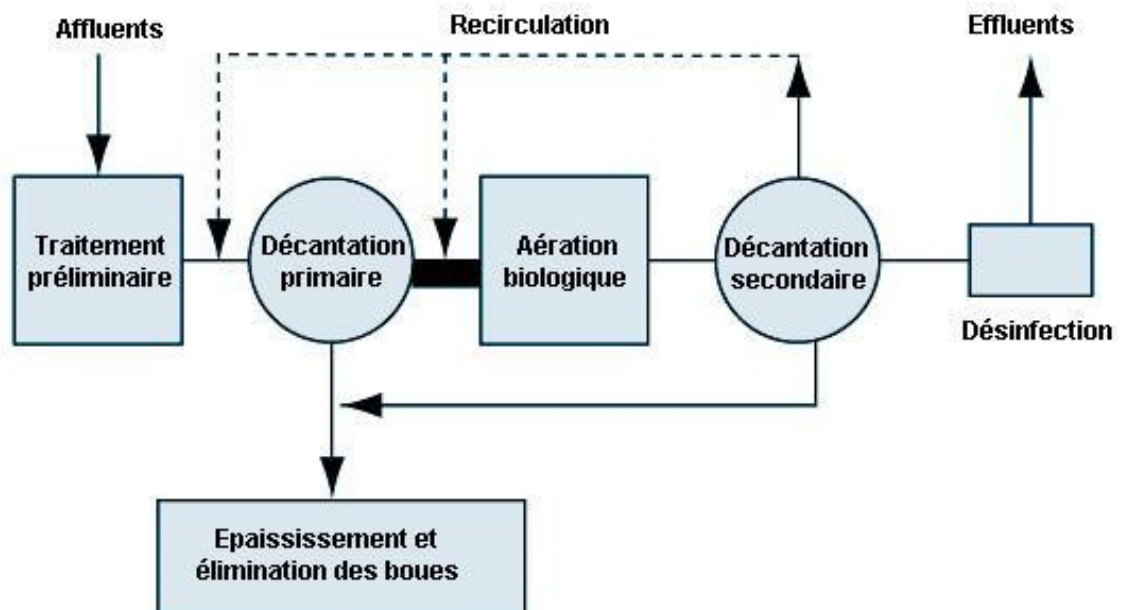


Figure 3.16 : Gestion des effluents liquides

- **Neutralisation:** Les effluents acides sont neutralisés à l'aide de bases telles que la chaux ou la soude.
- **Traitement physico-chimique:** Des procédés tels que la décantation, la filtration et l'adsorption sur charbon actif peuvent être utilisés pour éliminer les solides en suspension, les métaux lourds et les composés organiques.
- **Traitement biologique:** Des procédés biologiques utilisant des micro-organismes peuvent être utilisés pour dégrader les composés organiques biodégradables.

Les effluents traités peuvent être réutilisés dans le procédé de traitement des fumées ou pour d'autres usages industriels après une épuration supplémentaire.

Conclusion :

Les activités industrielles de l'usine GISB, telles que la fusion des métaux et le traitement des minerais, génèrent divers polluants atmosphériques. Cependant, l'usine utilise des technologies de traitement avancées, notamment le procédé humide, pour réduire efficacement les concentrations de ces polluants. Les mesures montrent que toutes les émissions après traitement respectent les seuils réglementaires en vigueur. Cela reflète l'engagement de GISB à respecter les normes environnementales, démontrant une gestion responsable des émissions et contribuant à la protection de la santé publique et de l'environnement.

Conclusion générale

Conclusion générale

La pollution atmosphérique reste l'un des défis environnementaux les plus pressants de notre époque, avec des impacts considérables sur la santé humaine et l'écosystème. Ce mémoire a exploré en profondeur cette problématique, en se concentrant sur les émissions industrielles et les techniques de leur traitement. À travers une analyse des impacts environnementaux de la pollution de l'air, nous avons démontré l'urgence d'implémenter des mesures efficaces pour minimiser les émissions nocives.

L'étude de cas menée au sein de l'usine GISB, spécialisée dans la production de câbles électriques, a permis de mettre en lumière les sources principales de pollution, notamment la fusion des métaux tels que le cuivre, l'aluminium et l'almelec, ainsi que les procédés de transport et de transformation des minerais. Le traitement des fumées par le procédé humide utilisé à GISB s'est révélé être une méthode efficace pour réduire les émissions atmosphériques.

En conclusion, il est impératif pour les industries métallurgiques de continuer à améliorer et à adopter des techniques de traitement des émissions pour protéger la santé publique et l'environnement. Le rôle des départements HSE (Hygiène, Sécurité, Environnement) est crucial dans cette démarche, notamment en conduisant des analyses de risques préliminaires et en veillant à l'application des meilleures pratiques de traitement des fumées. La mise en place de technologies de traitement avancées et une gestion rigoureuse des émissions industrielles constituent des étapes essentielles vers un avenir plus durable.

Bibliographie :

Chapitre 1 :

[1]: <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2003/F2003043.pdf>

[2]: <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2003/F2003043.pdf>

[3]: [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

[4]: **Air Pollution: Causes, Effects and Control Technologies" par Brian Carroll (2008)**

[5]: <https://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/les-polluants-atmospheriques-surveilles-et-a11763.html>

[6] : article ISO 14001 :2015, Section 3.10

[7]: <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/pollution-sont-differents-types-pollutions-atmospheriques-344/>

[8]: <https://www.airparif.fr/comprendre-la-pollution/les-sources-de-pollution-de-lair#:~:text=Tous%20les%20secteurs%20d'activit%C3%A9,agriculture%20ou%20encore%20la%20sylviculture.>

[9]: https://www.encyclo-ecolo.com/Polluants_atmosph%C3%A9riques

[10] : <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/actualite/rapport-du-giec-importance-des-actions-air-climat-energie>

[11] : https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Fum%C3%A9es_dusines/1314126

[12] : <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-%28outdoor%29-air-quality-and-health>

[13] : <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/industrial-emissions/#:~:text=aux%20%C3%A9missions%20industrielles%3F,Que%20sont%20les%20%C3%A9missions%20industrielles%3F,environnement%20et%20%C3%A0%20la%20nature.>

[14] : [https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/polluants-lair-situation-impacts-encadrement#:~:text=Ces%20gaz%20et%20particules%20ont,agricoles%20\(bl%C3%A9%20par%20exemple\).](https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/polluants-lair-situation-impacts-encadrement#:~:text=Ces%20gaz%20et%20particules%20ont,agricoles%20(bl%C3%A9%20par%20exemple).)

[15] : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/prevention-pollution/entreprise.html>

Chapitre 2 :

- [16] : [https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire environnement/definition/traitement des fumees.php4](https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire%20environnement/definition/traitement%20des%20fumees.php4)
- [17] : [https://www.calcinor.com/fr/nouvelles/analyse-de-produit/la-chaux-dans-le-traitement- des-gaz-industriel](https://www.calcinor.com/fr/nouvelles/analyse-de-produit/la-chaux-dans-le-traitement-des-gaz-industriel)
- [18] : <https://sodimate.fr/quest-ce-que-le-traitement-de- fumees/#:~:text=Le%20proc%C3%A9d%C3%A9%20sec%20de%20traitement,soit%20par%20un%20pr%C3%A9cipitateur%20%C3%A9lectrostatique.>
- [19] : (Épuration des fumées.docx) (Dupont, 2023)
- [20] : Épuration des fumées.docx
- [21] : <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/traitement-des-boues- deshydratees/les-procedes-de-traitement-des-fumees-en-aval-des-procedes-thermiques/les- types-de-traitement-des-fumees>
- [22] : <https://sodimate.fr/quest-ce-que-le-traitement-de- fumees/#:~:text=LE%20TRAITEMENT%20DE%20FUM%C3%89E%20PAR%20VOIE%20HUMIDE&text=Il%20consiste%20%C3%A0%20refroidir%20la,ou%20un%20lait%20de%20chaux.>
- [23] : (Épuration des fumées.docx) (Dupont, 2023)
- [24] : <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/traitement-des-boues- deshydratees/les-procedes-de-traitement-des-fumees-en-aval-des-procedes-thermiques/les- donnees-necessaires-a-une-unite-de-traitement-des-fumees>
- [25] : <https://etipcomposites.fr/traitement-eaux-et-fumees/>
- [26] : <https://www.who.int/airpollution/publications/aqg2021.pdf>
- [27] : article iso 14001 2015
- [28] : <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- [29] : <http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx>
- [30] : article «Protocole de Göteborg»
- [31] : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0075>
- [32] : article Règlement REACH
- [33] : <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>

[34] : NSPS Overview

- [35] : Règlements sur les systèmes de contrôle de la pollution de l'air
- [36] : Air Pollution Prevention and Control Action Plan **(en chinois)**
- [37] : Air Pollution Control Act (Japon) Normes d'émission pour les incinérateurs de déchets
- [38] : <http://www.npi.gov.au/>
- [39] : <http://www.rpn.gov.ru/>
- [40] : <http://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2006/F2006026.pdf>
- [41] : Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003
- [42] : <https://www.joradp.dz/TRV/FWater.pdf>
- [43] : Loi n° 02-09 du 8 mai 2002
- [44] : Décret exécutif n° 02-175 du 20 mai 2002
- [45] : <https://www.joradp.dz/FTP/JO-FRANCAIS/2007/F2007028.pdf>
- [46] : Loi n°01-01 du 20 février 2001 relative à la gestion, la protection et la mise en valeur de l'environnement <https://www.joradp.dz/TRV/FR/Index.htm>

Chapitre 3 :

- [47] : <https://fr.scribd.com/document/664932158/Rapport-de-Stage>
- [48] : <https://blog.sofise-filtration.com/industries/toutes-industries/industrie-metallurgique-eliminer-poussieres-fumees-et-brouillards-d-huile>
- [49] : <https://www.ilocis.org/fr/documents/ilo055.htm>