

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement



MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière: Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

"Gestion Intelligente des Déchets dans les Zones Industrielles : Intégration des Nouvelles Technologies" étude de cas cimenterie Lafarge Holcim Algérie"

Préparer par:

Medahi Aymen

Mebrouk Abderrahmane

Devant le jury composé de:

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Moulessehoul Atika	MCB	Univd'Oran2/IMSI	Président
Nadji Amine	MAA	Univd'Oran2/IMSI	Encadreur
Talbi Zahira	MCB	Univd'Oran2/IMSI	Examineur

Année universitaire 2023/2024

REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier premièrement Dieu tout-puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'Il nous a accordées durant toutes ces longues années.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur mr nadjia amine pour avoir proposé ce thème passionnant, suivi le déroulement de ce mémoire, et pour la confiance et l'intérêt qu'elle nous a témoignés tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous tenons à citer avec reconnaissance les membres du jury qui ont bien voulu examiner et évaluer notre travail.

Nos sincères remerciements vont également à tous nos professeurs de l'IMSI qui ont contribué à notre formation.

Enfin, nous remercions chaleureusement tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidés et ont ainsi contribué au succès de ce travail.

Mebrouk Abdeerhmen et Medahi Aymen.

DÉDICACES

Jedédiecemémoireà:

A mon père mebrouk mohamed que dieu lui fasse miséricorde età ma chère mère aguid houaria pour son amour inestimable, sont sacrifices,sa confiances et son soutien.

A , mes sœurs zahra et souad , aucun remerciement ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours poureux.

Sans oublié mes amis ikken yacine saadat khaled khelif tarek yadi rayane touimi abdesamed haba sahbi Imane Amira mouni et taibi fatima pour les bons moments partager ensemble.

Un grand merci aussi pour tous mes profs du primaire jusqu'à mes find'études.

Et pour conclure je remercie toute ma famille et mes proches, merci à tousquejen'aipaspu citer.

DÉDICACES

Je dédie ce mémoire à :

A mon père meddahi Mohamed que dieu lui fasse miséricorde et à ma chère mère pour son amour inestimable, sont sacrifices, sa confiance et son soutien.

A mes parents mes frère sidali et gano et mon grandpère Fakheur Ladjel, ma femme rahma aucun remerciement ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours pour eux.

Sans oublié mes amis pour les bons moments partager ensemble.

Un grand merci aussi pour tous mes profs du primaire jusqu'à mes fin d'études.

Et pour conclure je remercie toute ma famille et mes proches, merci à tous que je n'ai pas pu citer.

RÉSUMÉ :

Ce mémoire traite de la gestion des déchets, mettant en évidence les classifications, les impacts environnementaux et les cadres législatifs en vigueur, avec une étude de cas spécifique sur l'usine Lafarge. Il explore les principes de prévention, de valorisation et d'élimination des déchets, en soulignant l'importance de chaque étape dans la réduction de l'impact écologique. Les défis actuels comme l'augmentation de la production de déchets et leur diversité nécessitent des solutions innovantes, soutenues par des technologies avancées telles que l'IoT et l'IA. Une solution clé proposée dans ce mémoire est le développement d'une application pour la gestion des déchets à l'usine Lafarge, démontrant l'efficacité des pratiques intelligentes de gestion des déchets dans différentes industries. En somme, ce mémoire souligne la nécessité d'une gestion intégrée et durable des déchets pour protéger l'environnement et promouvoir une économie circulaire.

Abstract :

This memo deals with waste management, highlighting existing classifications, environmental impacts and legislative frameworks, with a specific case study on the Lafarge plant. It explores the principles of waste prevention, recovery and disposal, highlighting the importance of each step in reducing the environmental impact. Current challenges such as increased waste generation and diversity require innovative solutions, supported by advanced technologies such as IoT and AI. A key solution proposed in this memo is the development of a waste management application at the Lafarge plant, demonstrating the effectiveness of intelligent waste management practices in different industries. In short, this memorandum highlights the need for integrated and sustainable waste management to protect the environment and promote a circular economy.

ملخص :

يتناول هذا التقرير إدارة النفايات، وتحديد التصنيفات والتأثيرات البيئية والتنظيمات التشريعية الحالية، مع دراسة الحالات وتعرض مبادئ الوقاية والتركيز والتخلص من النفايات، مع التركيز على أهمية كل Lafarge ذات الصلة على مصنع خطوة في تقليل التأثير البيئي. تحتاج التحديات الحالية مثل زيادة إنتاج النفايات وتعديلها إلى الحلول الابتكارية التي تدعمها تكنولوجيات متقدمة مثل شبكة المعلومات والاتصالات والذكاء الاصطناعي. أحد الحلول الرئيسية التي تم تقديمها في هذا ، مما يثبت كفاءة ممارسات إدارة النفقات الذكية في مختلف Lafarge المؤتمر هو تطوير تطبيق لإدارة النفايات في مصنع الصناعات. وفي نهاية المطاف، يدرك هذا التقرير الحاجة إلى إدارة النفايات المتكاملة والمستدامة من أجل حماية البيئة وتشجيع الاقتصاد المحلي.

Liste des Abrviations :

DD : Dechet dangereux

DND: Déchets non dangereux

DS: Déchets spéciaux

DSD: Déchets spéciaux dangereux

DASRI : Déchets d'activités de soins à risque infectieux

IA : Intelligence artificiel

IOT : Internet of Thinks

L'Iot : L'Internet des objets Industriels

LCO : LAFRAGE HOLCIM CIMENT OGGAZ

AES : Aspect Enviromental Spécieux

DIS : Déchet industriel Spécieux

CNRC: Centre National du Registre du Commerce

Table of Contents

Chapitre 01 généralité sûr le déchet

I	Historique :	3
II	Généralités.....	3
II.1	Définition du terme déchet :	3
II.2	Classification des Déchets :	4
II.2.1	Selon l'état physique :	4
II.2.2	Selon leur origine :	5
II.2.3	Selon leur nature :	8
II.2.1	Potentiel de valorisation :	9
II.2.2	Selon leur dangerosité :	9
II.3	But de la classification des déchets:	10
III	Impact Environnemental et Gestion :	10
IV	Concept de gestion des déchets :	11
IV.1	Définition de la gestion des déchets :	11
IV.2	Principes de la Gestion des Déchets :	11
IV.2.1	La prévention :	11
IV.2.2	Conception écologique :	12
IV.2.3	La Valorisation :	12
IV.2.4	L'élimination :	14
IV.3	Les méthodes utilisent dans la Gestion déchets :	15
IV.3.1	Réduction de la production de déchets :	15
IV.3.2	Amélioration du tri et du recyclage des déchets :	15
IV.3.3	Gestion des déchets dans les zones urbaines :	15
IV.3.4	Transformation des déchets en ressources :	15
V	Cadre Législatif et Réglementaire :	16
V.1	Lois et Directives :	16
V.2	Responsabilité du Producteur :	17
V.2.1	Principe Pollueur-Payeur :	17
V.2.2	Obligations des Producteurs :	17
V.2.3	Responsabilité Étendue :	18
V.2.4	Sanctions et Contrôles :	18
VI	Enjeux :	18
VI.1	Défis Actuels et Futurs :	18
VI.1.1	Augmentation de la Production de Déchets :	19

VI.1.2	Diversité des Déchets :	20
VI.1.3	Impact Environnemental :	20
VI.1.4	Coûts de Gestion :	20
VI.1.5	Conformité Réglementaire :	20
VI.2	L'impact des innovations technologiques :	21
VI.2.1	Optimisation par l'IoT :	21
VI.2.2	Robotique et IA :	21
VI.2.3	Blockchain pour la Traçabilité :	21
VI.2.4	Économie Circulaire :	22

Chapitre 02 la technologie et l'industrie

I	La technologie et l'industrie :	25
I.1	La première révolution industrielle :	25
I.2	La deuxième révolution industrielle :	25
I.3	La troisième révolution industrielle :	26
I.4	La quatrième révolution industrielle :	26
II	INDUSTRIE 4.0 :	27
II.1	caractéristiques de l'industrie 4.0.....	27
II.2	Big data, intelligence artificielle (IA) et machine learning.....	28
II.3	Robots collaboratifs 'Cobots'.....	28
II.4	Simulation	29
II.5	transformation verticale et horizontale	30
II.6	Internet des objets industriels	31
II.7	Internet des services.....	31
II.8	Cyber-sécurité.....	31
II.9	Cloud.....	32
II.10	Blockchain.....	33
III	Concepts fondamentaux de l'Internet des objets	33
III.1	introduction	33
III.2	Internet Of Thing (IOT).....	34
III.2.1	Définition.....	34
III.2.2	Composants de l'iot :.....	35
III.2.3	domaine d'application de l'internet des objets :	38
IV	Exemples de gestion intelligente de déchets industriels dans le monde :.....	42
IV.1	Système de Tri Robotisé - ZenRobotics Recycler	42

IV.2	Capteurs IoT pour la Gestion des Déchets – Enevo	43
IV.3	Transformation des Déchets en Énergie - Covanta Energy	43
IV.4	Recyclage des Déchets Électroniques – TES	44
IV.5	Utilisation de la Blockchain pour la Traçabilité – Circular :	45
IV.6	Valorisation des Déchets Organiques -Anaerobic Digestion Facilities :	45

Chapitre 03 présentation de l'entreprise

I	Introduction :	47
II	Historique de Lafarge :	47
II.1	En Algérie	49
II.2	Contribution à la construction durable :	50
II.3	Contribution à l'économie circulaire :	51
III	Introduction à LAFARGE HOLCIM CIMENT OGGAZ (LCO) :	51
III.1	Production	52
III.1.1	Ligne de production de ciment gris :	52
III.1.2	Ligne de production de ciment blanc :	53
III.2	La carte géographique de LCO :	54
IV	Projets Innovants de LafargeHolcim	55
IV.1	Dans le monde :	55
IV.2	en Algérie	56
IV.2.1	Introduction d'une Nouvelle Technique de Revêtement des Routes en Béton Compacté Routier (BCR).....	56
IV.2.2	Innovation dans le Traitement des Déchets de Sonatrach Arzew	56
IV.2.3	Quatrième Opération d'Exportation de Ciment.....	57
V	C'est quoi le ciment ?	57
V.1	la composition chimique et minéralogique du ciment:	57
V.2	Les étapes de la fabrication du ciment :	58
V.2.1	Extraction des Matières Premières :	58
V.2.2	Concassage :	58
V.2.3	Pré-homogénéisation :	59
V.2.4	Séchage et Broyage :	60
V.2.5	Cuisson dans un Four Rotatif :	60
V.2.6	Refroidissement du Clinker :	60
V.2.7	Broyage du Clinker :	60
V.2.8	Stockage et Conditionnement :	60
V.2.9	Expédition et livraison :	61

V.2.10	Contrôle qualité :	62
VI	Les aspects environnementaux :	62
VI.1	Défis écologiques :	62
VII	Les différents déchets générés par Lafarge Holcim et son impact sur l'environnement: .63	
VII.1	Poussières des filtres à air des fours de cimenterie :	63
VII.2	Boues des stations d'épuration :	63
VII.3	Déchets de démolition/déconstruction :	63
VII.4	Huiles usagées :	63
VII.5	Déchets d'emballages :	64
VII.6	Combustibles de substitution résiduels :	64
VII.7	Déchets ménagers assimilés :	64
VII.8	Déchets industriels spéciaux (DIS) :	64
VII.9	Déchets industriels spéciaux dangereux :	64
VII.10	Rejets de matières	65
VII.11	Rejets Liquides :	65
VII.11.1	Consommation d'eau :	66
VII.11.2	Produits chimiques :	66
VIII	Gestion des déchets (geocycle) :	66
VIII.1	Le co-processing :	67
VIII.1.1	Principes directeurs relatifs au co-processing	68
VIII.1.2	Les avantages du co-processing:	70
VIII.1.3	Relation dynamique entre recyclage et co-processing	70
VIII.1.4	Prétraitement du Déchet à la Ressource	71
VIII.1.5	Hiérarchie des déchets	72
VIII.1.6	Expérience algérienne dans le co-processing des déchets en cimenterie	74
VIII.2	Renforcer l'efficacité de la Gestion des Déchets	75
VIII.2.1	Les investissements :	75
VIII.2.2	Les Conventions :	76

Chapitre 04 recommandations et résultats

I	Introduction	79
II	Définition de l'entreprise :	81
II.1	Définition de l'entreprise verte :	81

III	Présentation de l'entreprise :	81
III.1	Stratégie opérationnelle de Waste Market :	82
IV	Les étapes de création de l'entreprise Waste Market :	83
IV.1	Les formes juridiques de création d'entreprise en Algérie :	83
IV.1.1	Forme physique :	83
IV.1.2	Forme morale :	83
IV.2	Choix de la forme juridique :	83
IV.3	La réglementation de création d'une SARL en Algérie :	84
IV.4	Les étapes de création d'une (SARL) en Algérie :	84
IV.4.1	Choix et réservation de la dénomination sociale :	85
IV.4.2	Rédaction des statuts :	85
IV.4.3	Déblocage des fonds :	85
IV.4.4	Établissement de l'acte notarié :	85
IV.4.5	Publication de l'avis de constitution :	85
IV.4.6	Immatriculation au Registre du Commerce :	85
IV.4.7	Déclaration fiscale :	86
IV.4.8	Affiliation à la sécurité sociale :	86
IV.4.9	Obtention du numéro statistique :	86
IV.4.10	Ouverture de comptes courants :	86
IV.5	L'obtention de la nomination :	86
IV.5.1	Étape 1 : Le choix de la nomination.....	87
IV.5.2	Étape 2 : Disponibilité des noms.....	87
IV.5.3	Étape 3 : Réservation du nom.....	87
IV.5.4	Étape 4 : Paiement des frais de réservation.....	87
IV.5.5	Étape 5 : Obtention du certificat de réservation.....	87
IV.5.6	Étape 6 : Utilisation du nom réservé :.....	Error! Bookmark not defined.
IV.6	Conseils supplémentaires.....	87
IV.7	Label startup.....	88
IV.7.1	Les conditions d'attribution du label Startup.....	88
IV.7.2	Avantages du Label Startup.....	90
IV.7.3	Qui délivre le label Startup :.....	90
IV.8	Le financement de l'entreprise :	90
IV.9	Communication et marketing :	91
IV.10	Partie structurelle :	91
IV.10.1	Simulation sur le locale d'entreprise :	91
IV.11	Présentation de l'application mobile :	94

IV.12	Interface de l'application :.....	96
V	Les avantages de ce projet :.....	96
V.1	Les avantages du projet WasteMarket pour Lafarge sont considérables et stratégiques :.....	97
VI	Les revenus de l'entreprise :.....	98
VI.1	Commissions sur les Transactions :.....	98
VI.2	Abonnements Premium.....	99
VI.3	Publicité et Sponsoring :.....	99
VI.4	Services Additifs :.....	99
VI.5	Données et Analyses :.....	99
VI.6	Partenariats et Affiliation :.....	99

TABLEAU DES FIGURES

Figure I-1 : Déchets ménagers	P05
Figure I-2 : Déchets industriels	P06
Figure I-3 : Déchets industriels	P06
Figure I-4: Déchets d'Activités de Soins	P07
Figure I-5: Déchets de construction et de démolition	P07
Figure I-6: Déchets inorganiques	P08
Figure II-1 : caractéristiques de l'industrie 4.0	P27
Figure II-2 : caractéristiques de l'industrie Robots collaboratifs	P29
Figure II-3 : Cloud	P33
Figure II-4 : Cloud platform	P37
Figure II-5 : Domaine D'application De l'iot	P38
Figure II-6 : Iot dans l'industrie	P42
Figure III-1 : Four	P53
Figure III-2 : Broyeurs de ciment gris	P54
Figure III-3 : Ligne de production de ciment blanc	P54
Figure III-4 : Concasseur	P55
Figure III-5 : carte géographique	P56
Figure III-6 : la composition chimique et minéralogique du ciment	P59
Figure III-7 : Concassage	P60
Figure III-8 : Pré-homogénéisation	P60
Figure III-9 : Refroidissement du Clinker	P61
Figure III-10 : les diffirent produit de ciment	P62
Figure III-11 : Traitement mécanique (broyage en deux étapes) pour la production de combustibles solides de substitution (Geocycle)	P72
Figure III-12 : Traitement mécano-biologique pour la production de CS solide	P73
Figure III-13 : Hiérarchie de la gestion des déchets	P75

Figure III-14 : CARRIÈRE	P76
Figure IV-1 : logo de l'entreprise	P85
Figure IV-1 : Interface de l'application	P99

Liste des tableau

<i>Tableau IV-1 : Catégorie chômeurs et étudiants</i>	P95
<i>Tableau IV-2 : La catégorie des travailleurs</i>	P95
<i>Tableau IV-3 : Financement bilatéral</i>	P95

***INTRODUCTION
GENERALE***

Introduction Générale :

La gestion des déchets est devenue un défi majeur de notre époque, à l'intersection des préoccupations environnementales, économiques et sociétales. Dans un monde marqué par une industrialisation galopante et une consommation effrénée, la question du traitement et de la valorisation des déchets s'impose comme un enjeu crucial pour la durabilité de nos sociétés et la préservation de notre planète.

Ce mémoire se propose d'explorer en profondeur les multiples facettes de la gestion des déchets, en mettant l'accent sur les avancées technologiques et les pratiques innovantes qui permettent de transformer ce qui était autrefois considéré comme un fardeau en une ressource potentiellement précieuse. L'étude, menée au sein de l'usine Lafarge, offre un terrain d'observation privilégié pour examiner les défis concrets et les solutions émergentes dans un contexte industriel.

Le travail s'articule autour de plusieurs axes fondamentaux. Tout d'abord, il pose les bases conceptuelles de la gestion des déchets, en explorant les différentes classifications selon l'état physique, l'origine et la dangerosité des matériaux. Cette approche taxonomique permet de mieux appréhender la complexité du sujet et les enjeux spécifiques à chaque catégorie de déchets.

L'étude s'attache ensuite à analyser les impacts environnementaux liés à la gestion des déchets, soulignant l'urgence d'adopter des pratiques plus durables. Dans cette optique, le mémoire propose une solution innovante sous la forme d'une application destinée à optimiser la gestion des déchets au sein de l'usine Lafarge. Cette initiative illustre le potentiel des technologies numériques pour révolutionner les pratiques traditionnelles.

Un examen approfondi du cadre législatif et réglementaire vient compléter cette analyse, mettant en lumière la responsabilité des producteurs et les défis actuels et futurs auxquels notre société est confrontée. Cette perspective juridique est essentielle pour comprendre les contraintes et les opportunités qui façonnent le paysage de la gestion des déchets.

Le mémoire s'inscrit résolument dans l'ère de l'Industrie 4.0, en explorant comment les technologies de pointe telles que l'Internet des Objets (IoT) et l'intelligence artificielle (IA) ouvrent de nouvelles perspectives pour une gestion des déchets plus efficace et durable. Ces innovations technologiques promettent de transformer radicalement notre approche de la valorisation et du traitement des déchets.

Enfin, pour ancrer cette réflexion dans la réalité du terrain, le travail présente plusieurs études de cas sur la gestion intelligente des déchets dans différentes industries à travers le monde. Ces exemples concrets illustrent les meilleures pratiques et les solutions novatrices mises en œuvre par des entreprises pionnières, offrant ainsi des modèles inspirants pour l'avenir.

En somme, ce mémoire se veut une exploration exhaustive et multidimensionnelle de la gestion des déchets à l'ère moderne, alliant réflexion théorique, analyse pratique et perspectives d'avenir. Il ambitionne de contribuer au débat crucial sur la transition vers une économie circulaire et durable, où les déchets ne sont plus perçus comme un problème, mais comme une opportunité de réinventer nos modes de production et de consommation.

CHAPITRE 01

Généralités sur les
déchets

I **Historique :**

L'évolution de la collecte et du traitement des déchets au fil des siècles révèle une transformation progressive, résultant de divers facteurs socio-économiques, technologiques et environnementaux. Au XVIIIe siècle, avec l'essor des villes européennes, des systèmes de gestion des déchets plus organisés ont émergé pour répondre à la croissance démographique et à l'urbanisation croissante. Des méthodes rudimentaires ont été employées, notamment la collecte manuelle des déchets par des charrettes spéciales, suivie de leur transport vers des sites de décharge situés en périphérie des agglomérations. Cependant, ces pratiques étaient souvent insuffisantes pour faire face à l'augmentation des volumes de déchets.

Au XIXe siècle, les conséquences sanitaires et environnementales de la gestion inadéquate des déchets ont suscité une prise de conscience croissante. Les premières incinératrices ont été mises en service pour réduire le volume des déchets et minimiser leur impact sur l'environnement. Bien que ces installations aient représenté une avancée technologique, leur efficacité et leur impact environnemental étaient limités par des normes de conception et de fonctionnement peu rigoureuses.

Le XXe siècle a été marqué par des avancées significatives dans la collecte et le traitement des déchets, stimulées par l'industrialisation et l'urbanisation rapides. L'introduction de camions à ordures motorisés a permis d'améliorer l'efficacité de la collecte des déchets, tandis que des usines de traitement modernes ont été développées pour gérer les flux de déchets de manière plus efficace et hygiénique.

Aujourd'hui, au XXIe siècle, la gestion des déchets évolue vers une approche plus intégrée et durable. La réduction à la source, le recyclage, la valorisation énergétique et l'élimination sûre des déchets sont au cœur des stratégies de gestion des déchets. De nouvelles technologies émergent, telles que le tri automatisé, la méthanisation et la pyrolyse, offrant des solutions innovantes pour répondre aux défis actuels de gestion des déchets et contribuer à la transition vers une économie circulaire et durable.

II **Généralités**

II.1 Définition du terme déchet :

Le terme "déchet" peut être défini professionnellement comme toute substance, matériau, produit ou article dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire, conformément à la législation en vigueur. Les déchets peuvent être solides, liquides

ou gazeux et peuvent résulter d'activités domestiques, commerciales, industrielles, agricoles ou institutionnelles. Ils comprennent une gamme diversifiée de matériaux, tels que les déchets organiques, les déchets dangereux, les déchets de construction et de démolition, les déchets électroniques, les déchets médicaux, les déchets plastiques, etc.

- Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. Journal officiel de l'Union européenne, L 312/3, 22 novembre 2008.¹

Selon algérienne décrit

La définition des déchets selon la législation algérienne relative à la gestion des déchets est définie dans la loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Selon cette loi, un déchet est défini comme toute substance, matériau, produit ou objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire, ou qu'il estime être dans l'obligation de récupérer et d'éliminer.²

Cette définition englobe une vaste gamme de matériaux et de substances et comprend les déchets solides, liquides et gazeux. Elle souligne également le rôle du détenteur dans la gestion des déchets, qu'il s'agisse de les éliminer de manière responsable ou de les récupérer pour un traitement approprié.

II.2 Classification des Déchets :

II.2.1 Selon l'état physique :

La classification des déchets selon leur état physique, telle que définie par Tchobanoglous et al. (1993), distingue les déchets en trois catégories principales :

II.2.1.1 Déchets solides :

Les déchets solides se présentent sous forme de matières solides et comprennent une large gamme de matériaux tels que les déchets ménagers, les déchets industriels, les déchets de construction et de démolition, les déchets agricoles, etc. Ils peuvent varier en taille, en composition et en dangerosité, et nécessitent des méthodes de collecte, de transport et de traitement spécifiques en fonction de leurs caractéristiques.³

¹Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. Journal officiel de l'Union européenne, L 312/3, 22 novembre 2008.

²La loi algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.

³Tchobanoglous et al. (1993).

II.2.1.2 *Déchets liquides* :

Les déchets liquides sont des déchets qui se présentent sous forme de liquide. Ils peuvent inclure des effluents industriels, des eaux usées domestiques, des eaux de processus, des déchets chimiques liquides, etc. Les déchets liquides nécessitent souvent un traitement spécialisé pour leur élimination ou leur recyclage afin de prévenir la pollution de l'eau et de protéger la santé publique et l'environnement.

II.2.1.3 *Déchets gazeux* :

Les déchets gazeux sont des déchets qui se présentent sous forme de gaz ou de vapeurs. Ils peuvent être produits par des processus industriels, des activités de combustion, des émissions de véhicules, etc. Les déchets gazeux peuvent contenir des polluants atmosphériques tels que des oxydes d'azote, des oxydes de soufre, des composés organiques volatils, etc. Ils nécessitent souvent des dispositifs de contrôle des émissions pour réduire leur impact sur la qualité de l'air et la santé humaine.

II.2.2 Selon leur origine :

La Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne classe les déchets selon leur origine en plusieurs catégories distinctes :

II.2.2.1 *Déchets ménagers (ordures ménagères)* :

Les déchets ménagers sont générés par les activités quotidiennes des ménages et des habitants. Ils comprennent les déchets alimentaires, les emballages, les papiers, les plastiques, le verre, les textiles, les appareils électriques et électroniques, etc. Ces déchets sont collectés par les services municipaux de collecte des déchets.⁴



Figure I-1 : Déchets ménagers

⁴Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne

II.2.2.2 Déchets industriels :

Les déchets industriels sont produits par les activités industrielles et commerciales. Ils peuvent inclure des déchets de processus de fabrication, des déchets chimiques, des déchets métalliques, des déchets électroniques, des déchets de production, etc. Les déchets industriels sont souvent soumis à des réglementations spécifiques en matière de gestion et de traitement.



Figure I-1 : Déchets industriels

II.2.2.3 Déchets agricoles :

Les déchets agricoles sont générés par les activités agricoles et horticoles. Ils comprennent les déchets de cultures, les déchets d'emballages agricoles, les déchets d'aliments pour animaux, les déchets de litière animale, etc. Ces déchets peuvent être compostés ou recyclés pour une utilisation agricole ou industrielle.



Figure I-3 : Déchets agricoles

II.2.2.4 Déchets d'Activités de Soins :

Les déchets d'activités de soins sont produits par les établissements de santé, tels que les hôpitaux, les cliniques et les cabinets médicaux. Ils comprennent les déchets médicaux, les déchets dangereux, les déchets infectieux, les déchets pharmaceutiques, etc. La gestion

sécurisée de ces déchets est essentielle pour prévenir les risques pour la santé publique et l'environnement.

– Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux (DASRI) Les DASRI sont des déchets provenant des établissements de santé qui comportent des agents infectieux.

Ils comprennent :

- Matériel médical usagé : Seringues, gants, masques.
- Déchets biologique : Tissus, organes, fluides corporels



Figure I-4: Déchets d'Activités de Soins

II.2.2.5 Déchets de construction et de démolition :

Les déchets de construction et de démolition sont générés par les activités de construction, de rénovation et de démolition de bâtiments et d'infrastructures. Ils comprennent des matériaux tels que le béton, le bois, le métal, le plâtre, le verre, les plastiques, etc. Ces déchets peuvent être recyclés ou réutilisés dans de nouveaux projets de construction pour réduire leur impact environnemental.



Figure I-5: Déchets de construction et de démolition

II.2.3 Selon leur nature :

Selon la classification de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME, 2020), les déchets peuvent être regroupés en trois grandes catégories selon leur nature :⁵

II.2.3.1 Déchets organiques :

Ce sont des déchets d'origine biologique provenant de matières vivantes ou végétales. Ils comprennent les déchets alimentaires, les résidus de jardinage, les déchets de bois, les boues de station d'épuration, etc. Ces déchets peuvent être compostés pour produire du compost, un amendement organique utilisé dans l'agriculture et le jardinage.

II.2.3.2 Déchets inorganiques :

Ils sont d'origine minérale et ne contiennent pas de matière organique. Les déchets inorganiques comprennent les métaux, les plastiques, le verre, le papier, le carton, les textiles synthétiques, etc. Ils sont souvent recyclables et peuvent être récupérés pour être transformés en nouveaux produits.



FigureI-6: Déchets inorganiques

II.2.3.3 Déchets inertes :

Ce sont des matériaux qui ne subissent pas de décomposition significative au fil du temps. Les déchets inertes comprennent la terre, les gravats de construction, le béton, les pierres, les céramiques, etc. Bien qu'ils ne se dégradent pas facilement, certains peuvent être recyclés ou réutilisés dans des applications de construction.

⁵Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME, 2020) --Guide des déchets en Auvergne, Ed. Délégation régionale, Clermont-Ferrand, 95p.

II.2.1 Potentiel de valorisation :

Selon la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte de 2015, les déchets sont classés en deux catégories principales en fonction de leur potentiel de valorisation :

II.2.1.1 *Déchets valorisables:*

Ces déchets peuvent être recyclés, compostés ou valorisés énergétiquement. Ils incluent des matériaux tels que le papier, le carton, le plastique, le verre, les métaux, ainsi que les déchets alimentaires et de jardin. Ils peuvent être transformés en nouveaux produits, compostés pour produire du compost organique ou utilisés pour produire de l'énergie par incinération ou méthanisation.

II.2.1.2 *Déchets ultimes :*

Ce sont des déchets pour lesquels il n'existe actuellement aucune technologie ou aucun procédé économiquement viable permettant leur valorisation. Ils sont destinés à une élimination finale sûre et définitive, car ils ne peuvent pas être recyclés, compostés ou valorisés énergétiquement de manière pratique. Ces déchets nécessitent une gestion appropriée pour minimiser leur impact sur l'environnement.

II.2.2 Selon leur dangerosité :

La Convention de Bâle de 1989 classe les déchets en trois catégories principales selon leur dangerosité :⁶

II.2.2.1 *Déchets dangereux :*

Ces déchets présentent des caractéristiques spécifiques qui les rendent dangereux pour la santé humaine ou l'environnement. Ils peuvent être toxiques, inflammables, corrosifs, radioactifs, ou présenter d'autres dangers similaires. Ils proviennent d'industries telles que la chimie, la pharmacie, le pétrole, l'électronique, ainsi que d'activités agricoles, médicales, et de soins. Ils nécessitent une gestion et un traitement spécifiques pour prévenir les risques pour la santé et l'environnement.

II.2.2.2 *Déchets non dangereux :*

Ces déchets ne présentent pas de danger particulier pour la santé humaine ou l'environnement. Ils comprennent généralement les déchets municipaux ordinaires, de construction et de

⁶Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte de 2015

démolition, ainsi que les déchets agricoles. Bien qu'ils ne soient pas dangereux, ils nécessitent une gestion appropriée pour réduire leur impact sur l'environnement et encourager le recyclage ou la valorisation.

II.2.2.3 Déchets inertes :

II.3 But de la classification des déchets:

Selon Koller, le but d'une classification des déchets est peut-être: D'ordre technique, afin de mieux maîtriser les problèmes de transport, de stockage intermédiaire, de traitement et d'élimination finale; D'ordre financier, selon l'application du principe pollueur payeur, tri entre les communes et les entreprises qui sont membre ou non d'un organisme de gestion des déchets qui ont assuré le financement; D'ordres légaux, afin de cerner les responsabilités relatives à des questions de sécurité des populations ou de protection de l'environnement.⁷

III Impact Environnemental et Gestion :

La gestion des déchets est devenue un enjeu critique dans le contexte du développement durable, où les approches traditionnelles d'élimination des déchets montrent leurs limites en termes d'efficacité et de durabilité à long terme. Dans cette optique, une attention accrue est portée à la réutilisation et au recyclage des déchets, soulignant ainsi la transition vers une économie circulaire et la réduction de l'empreinte écologique.

Un élément préoccupant est l'accroissement continu de la production de déchets, surtout visible dans les régions asiatiques et africaines."Selon les estimations des experts, le volume de déchets urbains dans ces régions pourrait doubler d'ici 15 à 20 ans. Cette augmentation soulève des défis importants en termes de gestion des déchets, de traitement approprié, et de préservation de l'environnement.

Le recours accru à la réutilisation et au recyclage s'inscrit dans une vision plus large visant à minimiser l'impact négatif des déchets sur les écosystèmes et les ressources naturelles. Cela inclut également des initiatives telles que la réduction à la source, la sensibilisation à la gestion des déchets, et le développement de technologies innovantes pour une gestion plus efficace des déchets.

⁷Koller, E. (2004) Traitement des pollutions industrielles eaux-air-déchets-sol-boue, Dunod-Paris

Dans ce contexte, des politiques et des stratégies intégrées sont nécessaires pour faire face à cette augmentation de la production de déchets et pour promouvoir des pratiques durables de gestion des déchets à l'échelle mondiale. Cela implique une collaboration entre les gouvernements, les entreprises, la société civile, et les citoyens pour atteindre des objectifs de réduction, de réutilisation et de recyclage des déchets, tout en assurant la préservation de l'environnement et la promotion du développement durable.⁸

IV Concept de gestion des déchets :

IV.1 Définition de la gestion des déchets :

Gestion des déchets : le tri à la source, la collecte, le transport, la valorisation, et l'élimination des déchets, et plus largement toute activité participant de l'organisation, de la prise en charge des déchets depuis leur production jusqu'à leur traitement final, y compris les activités de négoce ou de courtage et la supervision de l'ensemble de ces opérations.

C'est l'ensemble des tâches que l'entreprise effectue afin de se débarrasser des déchets, en en tirant les meilleurs avantages possible, tous les profits qu'on peut extraire des rebuts cela que ce soit dans un but économique : optimiser la rentabilité de l'entreprise en exploitant au maximum les déchets c'est à dire les revalorisant, mais aussi soigner et améliorer l'image de l'entreprise ou dans un but écologique : être responsable, préserver l'environnement.⁹

IV.2 Principes de la Gestion des Déchets :

Les principes de la gestion des déchets sont fondamentaux pour assurer une gestion durable et responsable des ressources et pour minimiser l'impact environnemental des activités humaines. Est parmi ces principe il y a trois principal :

IV.2.1 La prévention :

La prévention des déchets constitue le pilier fondamental de la gestion responsable des ressources et de la réduction de l'impact environnemental des activités humaines. Elle englobe une série de stratégies et de pratiques visant à limiter la quantité et la nocivité des déchets produits dès leur origine.

⁸Organisation des Nations Unies pour l'environnement. (2019). Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. Cambridge University Press. <https://www.unep.org/resources/global-environment-outlook-6>

⁹ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie). (2017). Déchets- page 06

IV.2.2 Conception écologique :

La conception écologique, également appelée écoconception, consiste à développer des produits en tenant compte de leur cycle de vie complet, de leur utilisation à leur élimination. Cela inclut l'utilisation de matériaux durables, facilement recyclables ou biodégradables, ainsi que la réduction de la quantité de matériaux utilisés dans la fabrication.¹⁰

IV.2.2.1 *Réduction à la source :*

La réduction à la source vise à diminuer la quantité de déchets générés en révisant les processus de production et de consommation. Cela peut être réalisé par des pratiques telles que l'optimisation des matières premières utilisées, l'adoption de technologies plus efficaces, la minimisation des emballages et le développement de produits à longue durée de vie.¹¹

IV.2.2.2 *Substitution de matériaux :*

La substitution de matériaux consiste à remplacer les substances dangereuses ou non durables par des alternatives moins nocives et plus durables. Par exemple, remplacer les plastiques à usage unique par des matériaux composables ou utiliser des produits de nettoyage écologiques à la place de produits chimiques agressifs.

IV.2.2.3 *Éducation et sensibilisation :*

L'éducation et la sensibilisation jouent un rôle crucial dans la prévention des déchets en encourageant les individus, les entreprises et les gouvernements à adopter des pratiques plus responsables. Cela comprend la sensibilisation aux conséquences environnementales des déchets, l'encouragement à réduire, réutiliser et recycler, et la promotion de modes de vie durables.¹²

IV.2.3 La Valorisation :

La valorisation des déchets est une étape essentielle dans la gestion responsable des ressources et la réduction de l'impact environnemental des déchets. Elle englobe diverses

¹⁰ISO 14006:2020. (2020). Environmental management systems — Guidelines for incorporating ecodesign. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/72644.html>

¹¹United States Environmental Protection Agency. (2021). Source Reduction and Reuse.

¹²Hines, J. M., Hungerford, H. R., & Tomera, A. N. (1987). Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: A meta-analysis. *The Journal of environmental education*, 18(2), 1-8

pratiques visant à donner une nouvelle vie aux déchets, en les transformant en ressources utiles ou en les utilisant comme sources d'énergie renouvelable. D'après ces méthodes voici :

IV.2.3.1 *Recyclage :*

Le recyclage est l'un des processus de valorisation les plus couramment utilisés. Il implique la collecte, le tri et la transformation des matériaux recyclables, tels que le papier, le plastique, le verre et les métaux, en nouveaux produits ou matériaux réutilisables. Le recyclage permet de préserver les ressources naturelles, de réduire la demande en matières premières vierges et de limiter la quantité de déchets envoyée vers les décharges.

IV.2.3.2 *Compostage :*

Le compostage est une méthode de valorisation des déchets organiques, tels que les déchets alimentaires et de jardin. En compostant ces déchets, on produit du compost, un amendement naturel riche en nutriments qui peut être utilisé pour améliorer la fertilité des sols en agriculture et en jardinage. Le compostage contribue ainsi à réduire la quantité de déchets organiques envoyés vers les décharges et à promouvoir des pratiques agricoles durables.¹³

IV.2.3.3 *Méthanisation :*

La méthanisation est un processus biologique qui transforme les déchets organiques en biogaz, principalement du méthane et du dioxyde de carbone. Ce biogaz peut être utilisé comme source d'énergie renouvelable pour produire de l'électricité, de la chaleur ou du biocarburant. La méthanisation contribue ainsi à valoriser les déchets organiques tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.¹⁴

IV.2.3.4 *Récupération d'énergie :*

La récupération d'énergie à partir des déchets consiste à utiliser les déchets comme combustible pour produire de l'électricité ou de la chaleur. Des technologies telles que l'incinération des déchets avec récupération de chaleur permettent de valoriser les déchets non recyclables tout en réduisant la dépendance aux combustibles fossiles et en limitant les émissions de polluants atmosphériques.

En combinant ces différentes méthodes de valorisation des déchets, il est possible de maximiser l'utilisation des ressources disponibles tout en minimisant l'impact

¹³ Diaz, L. F., De Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., & Stentiford, E. (2007). *Compost science and technology*. Elsevier.

¹⁴ Deublein, D., & Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. John Wiley & Sons.

environnemental des activités humaines. Ces pratiques contribuent à promouvoir une économie circulaire et durable, où les déchets sont considérés comme des ressources précieuses à exploiter de manière responsable et innovante.¹⁵

IV.2.4 L'élimination :

L'élimination des déchets est une étape essentielle dans la gestion globale des déchets, bien que ce soit le dernier recours après avoir mis en œuvre des mesures de prévention et de valorisation. Cette phase implique la gestion des déchets qui ne peuvent pas être réutilisés, recyclés ou valorisés de manière appropriée. Voici une explication détaillée des différentes méthodes d'élimination des déchets :

IV.2.4.1 *Enfouissement* :

L'enfouissement des déchets est l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour l'élimination des déchets solides. Les déchets sont déposés dans des sites d'enfouissement spécialement conçus, où ils sont compactés et recouverts de matériaux isolants pour réduire les risques de pollution et de propagation de maladies. Les sites d'enfouissement modernes sont équipés de systèmes de collecte des lixiviats (liquides produits par la décomposition des déchets) et de captage des gaz pour réduire leur impact environnemental.¹⁶

IV.2.4.2 *Incinération* :

L'incinération des déchets consiste à brûler les déchets dans des installations spécifiques appelées incinérateurs. Cette méthode permet de réduire le volume des déchets et de produire de l'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité. Les incinérateurs modernes sont équipés de systèmes de filtration et de contrôle des émissions pour limiter les rejets atmosphériques nocifs, tels que les gaz à effet de serre et les polluants.¹⁷

IV.2.4.3 *Traitement chimique* :

Le traitement chimique des déchets implique l'utilisation de procédés chimiques pour neutraliser les substances dangereuses présentes dans certains types de déchets, tels que les

¹⁵ Tableau, B. P., Astrup, T., & Götze, R. (2020). Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 38(9), 947-957.

¹⁶ El-Fadel, M., Findikakis, A. N., & Leckie, J. O. (1997). Environmental impacts of solid waste landfilling. *Journal of environmental management*, 50(1), 1-25.

¹⁷ Astrup, T., Møller, J., & Fruergaard, T. (2009). Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8), 789-799.

déchets industriels toxiques ou les produits chimiques dangereux. Ce processus vise à rendre les déchets moins nocifs avant leur élimination finale.¹⁸

IV.3 Les méthodes utilisées dans la Gestion déchets :

IV.3.1 Réduction de la production de déchets :

- Sensibilisation et éducation
- Éco-conception : Amélioration du tri et du recyclage des déchets :
- Tri sélectif.¹⁹
- Technologies de tri avancées .
- Recyclage innovant : Certaines entreprises développent des technologies de recyclage innovantes, comme le recyclage chimique qui permet de décomposer les plastiques en matières premières utilisables pour de nouveaux produits.²⁰

IV.3.2 Gestion des déchets dans les zones urbaines :

- Collecte sélective : Les systèmes de collecte sélective permettent de séparer les déchets recyclables des déchets non recyclables dès leur source, facilitant ainsi leur traitement ultérieur.
- Valorisation énergétique : Les déchets peuvent être utilisés comme source d'énergie en les incinérant de manière contrôlée pour produire de la chaleur ou de

1

compost, un amendement naturel pour les sols, réduisant ainsi la quantité de déchets envoyés vers les décharges.

IV.3.3 Transformation des déchets en ressources :

- Méthanisation : Les déchets organiques peuvent être transformés en biogaz par méthanisation, une source d'énergie renouvelable utilisée pour produire de l'électricité ou du biocarburant.

¹⁸ LaGrega, M. D., Buckingham, P. L., & Evans, J. C. (2010). Hazardous waste management. Waveland Press.

- Recyclage des eaux usées : Les eaux usées peuvent être traitées pour récupérer des ressources comme l'eau recyclée pour l'irrigation ou les nutriments pour la fertilisation.
- Économie circulaire : Les entreprises adoptent des modèles d'économie circulaire où les déchets d'un processus de production sont réutilisés comme matières premières pour d'autres produits, réduisant ainsi la production de déchets et la demande en matières premières vierges.

V Cadre Législatif et Réglementaire :

Le cadre législatif et réglementaire en matière de gestion des déchets englobe l'ensemble des textes juridiques, nationaux et internationaux, qui définissent les obligations, les responsabilités et les normes à respecter pour la collecte, le traitement, la valorisation et l'élimination des déchets. Il inclut également les mécanismes de contrôle, de suivi et de sanction en cas de non-respect des règles établies. Ce cadre vise à garantir une gestion des déchets qui soit conforme aux principes de protection de l'environnement, de santé publique, de responsabilité sociale et de durabilité.

V.1 Lois et Directives :

A. **Au niveau national** : en Algérie, la loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets définit le cadre juridique pour la gestion des déchets. Cette loi fixe les règles applicables à l'ensemble du cycle de gestion des déchets, de leur production à leur élimination finale en passant par leur collecte, leur transport et leur traitement.²¹

B. **Au niveau international** : l'Algérie a ratifié la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination en 1998. Cette convention internationale établit des obligations pour les pays en matière de réglementation des déchets dangereux, de leur mouvement transfrontalier et de leur élimination écologiquement rationnelle.²²

La législation et les conventions internationales en matière de gestion des déchets définissent la responsabilité des producteurs, les obligations des autorités locales, la promotion de modes

²¹Loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, Journal Officiel de la République Algérienne n°77 du 15 décembre 2001.

²²Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, 1989.

de traitement respectueux de l'environnement et la réglementation propre à certaines catégories de déchets dangereux. Elles visent à protéger l'environnement, encourager l'efficacité économique et responsabiliser tous les acteurs impliqués dans la gestion des déchets en Algérie.

V.2 Responsabilité du Producteur :

La responsabilité du producteur est un principe fondamental dans le cadre de la gestion des déchets. Il repose sur le concept selon lequel les producteurs, qu'ils soient des entreprises ou des individus, doivent assumer la responsabilité de leurs produits tout au long de leur cycle de vie, y compris leur élimination ou leur valorisation finale.

V.2.1 Principe Pollueur-Payeur :

Ce principe constitue le fondement de la responsabilité du producteur. Il stipule que celui qui produit des déchets, ou qui génère des impacts environnementaux, doit assumer les coûts de gestion et de traitement de ces déchets ou de ces impacts. En d'autres termes, le producteur est tenu de supporter financièrement les conséquences de ses activités sur l'environnement.

V.2.2 Obligations des Producteurs :

Les producteurs de déchets ont des obligations légales et réglementaires en matière de gestion des déchets, qui incluent :

V.2.2.1 *Collecte et tri :*

Les producteurs doivent collecter et trier leurs déchets selon les exigences régionales ou nationales. Par exemple, les entreprises peuvent être tenues de trier leurs déchets industriels selon leur nature (déchets dangereux, non dangereux, recyclables, etc.).

V.2.2.2 *Traitement et valorisation :*

Les producteurs sont responsables de s'assurer que leurs déchets sont traités et valorisés de manière adéquate, conformément aux normes environnementales en vigueur. Cela peut inclure le recours à des prestataires de services de gestion des déchets ou la mise en place de dispositifs de gestion interne.

V.2.2.3 *Rapports et suivi :*

Certains producteurs sont tenus de tenir des registres et de soumettre des rapports réguliers sur la quantité et la nature de leurs déchets produits, ainsi que sur les mesures prises pour leur gestion.²³

V.2.3 Responsabilité Étendue :

La responsabilité du producteur peut être étendue à différentes étapes du cycle de vie du produit, notamment :

V.2.3.1 *Conception écologique :*

Les producteurs sont encouragés à concevoir des produits éco-responsables, durables et faciles à recycler ou à valoriser en fin de vie.

V.2.3.2 *Recyclage et réutilisation :*

Certains producteurs mettent en place des programmes de recyclage ou de réutilisation de leurs produits pour réduire la quantité de déchets générés et favoriser une économie circulaire.

V.2.4 Sanctions et Contrôles :

En cas de non-respect des obligations de gestion des déchets, les producteurs peuvent faire face à des sanctions administratives, financières ou pénales, selon la législation en vigueur. Des contrôles réguliers sont souvent effectués pour vérifier la conformité des producteurs aux normes environnementales.²⁴

VI **Enjeux :**

VI.1 **Défis Actuels et Futurs :**

La gestion des déchets représente un défi de taille à l'heure actuelle et pour les années à venir. L'un des premiers défis consiste à réduire la quantité globale de déchets générés, ce qui implique un changement profond dans nos habitudes de consommation et dans la manière

²³Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. Journal officiel de l'Union européenne, L 312/3, 22 novembre 2008.

²⁴Code de l'environnement, Partie législative, Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances, Titre IV : Déchets, Chapitre III : Sanctions pénales, Article L541-46.

dont les produits sont fabriqués, en favorisant des approches plus durables et écoresponsables.²⁵

Un autre défi important est l'amélioration des méthodes de tri et de recyclage des déchets. Actuellement, une part significative des déchets est encore envoyée vers les décharges ou incinérée, alors qu'elle pourrait être recyclée ou réutilisée. Cela nécessite le développement de technologies plus efficaces de tri des déchets, ainsi que des infrastructures adaptées pour recycler efficacement les différents types de matériaux, comme le plastique, le verre, les métaux et les déchets organiques.²⁶

Dans les zones urbaines densément peuplées, la gestion des déchets est un défi supplémentaire en raison de la pression exercée sur les infrastructures existantes. Ces zones ont besoin de solutions innovantes pour collecter, traiter et éliminer les déchets de manière efficace, tout en limitant leur impact sur l'environnement et la santé publique.

Un autre défi majeur concerne la transformation des déchets en ressources. Il est crucial de développer des technologies et des méthodes innovantes pour valoriser les déchets, en les utilisant par exemple comme sources d'énergie renouvelable ou comme matières premières pour la fabrication de nouveaux produits. Cette approche contribuerait non seulement à réduire la quantité de déchets envoyés vers les sites d'enfouissement, mais aussi à promouvoir une économie circulaire et durable.

En résumé, les principaux défis actuels et futurs dans la gestion des déchets incluent la réduction de la production de déchets, l'amélioration du recyclage et du traitement des déchets, la gestion efficace des déchets dans les zones urbaines, et la transformation des déchets en ressources utiles pour l'économie et l'environnement. Ces défis exigent des efforts concertés à l'échelle mondiale pour trouver des solutions durables et innovantes.

VI.1.1 Augmentation de la Production de Déchets :

L'augmentation constante de la production de déchets industriels pose un défi majeur. Cette croissance est souvent liée à l'expansion économique et à l'augmentation des activités industrielles, ce qui entraîne une quantité accrue de déchets nécessitant une gestion adéquate.

²⁵Sauvé, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, 17, 48-56.

²⁶Gundupalli, S. P., Hait, S., & Thakur, A. (2017). A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste management*, 60, 56-74.

Les industries doivent trouver des solutions pour réduire cette croissance tout en maintenant leur efficacité opérationnelle.²⁷

VI.1.2 Diversité des Déchets :

Les déchets industriels se caractérisent par leur diversité. Ils peuvent inclure des déchets solides, liquides ou gazeux, ainsi que des substances dangereuses telles que les produits chimiques toxiques, inflammables ou corrosifs. Cette diversité nécessite des méthodes de traitement spécifiques et personnalisées pour chaque type de déchet, ce qui accroît la complexité de la gestion des déchets industriels.

VI.1.3 Impact Environnemental :

La gestion inadéquate des déchets industriels peut avoir des répercussions néfastes sur l'environnement. Les pollutions de l'air, de l'eau et des sols, ainsi que les risques pour la santé humaine et la biodiversité, constituent des préoccupations majeures. Il est essentiel de mettre en œuvre des solutions durables pour limiter ces impacts et assurer une gestion responsable des déchets industriels.

VI.1.4 Coûts de Gestion :

La gestion des déchets industriels engendre des coûts significatifs pour les entreprises. Ces coûts comprennent la collecte, le transport, le traitement, l'élimination et le suivi des déchets, ainsi que la conformité aux réglementations environnementales. Les entreprises doivent donc trouver un équilibre entre l'efficacité opérationnelle et la gestion financière de leurs déchets.

VI.1.5 Conformité Réglementaire :

Les entreprises doivent se conformer à des réglementations nationales et internationales strictes en matière de gestion des déchets industriels. Cela comprend des normes de qualité, des procédures de traitement et d'élimination, ainsi que des rapports réguliers sur la gestion

²⁷Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., & Kennedy, C. (2013). Environment: Waste production must peak this century. *Nature News*, 502(7473), 615. <https://doi.org/10.1038/502615a>

des déchets. La conformité réglementaire représente un défi supplémentaire en raison de sa complexité et de son évolution constante.²⁸

VI.2 L'impact des innovations technologiques :

L'impact des innovations technologiques sur la gestion des déchets industriels est un sujet d'une grande complexité et d'une importance croissante. Ces avancées technologiques offrent des opportunités significatives pour améliorer l'efficacité, la durabilité et la rentabilité de la gestion des déchets industriels. Voici une exploration détaillée de cet impact :

VI.2.1 Optimisation par l'IoT :

L'Internet des Objets (IoT) transforme la gestion des déchets industriels en offrant une optimisation sans précédent. Les "poubelles connectées", dotées de capteurs intelligents, surveillent en temps réel le remplissage des conteneurs à déchets.

Cette surveillance précise permet une collecte plus efficace et optimisée, réduisant ainsi les coûts et les émissions de carbone liées au transport.

VI.2.2 Robotique et IA :

L'intégration de la robotique et de l'intelligence artificielle (IA) transforme la manière dont les déchets sont triés et traités. Des robots équipés de technologies avancées peuvent identifier et séparer les différents types de matériaux recyclables avec une précision accrue. L'IA améliore également les processus de tri en apprenant des modèles de déchets et en optimisant les flux de traitement, ce qui réduit les erreurs et augmente les taux de récupération des matériaux recyclables.

VI.2.3 Blockchain pour la Traçabilité :

La technologie blockchain offre une solution innovante pour garantir la traçabilité et la transparence dans la gestion des déchets industriels. En enregistrant de manière sécurisée toutes les transactions et les mouvements de déchets, la blockchain permet de suivre chaque étape du processus de gestion des déchets, de la collecte à l'élimination ou à la valorisation. Cette transparence renforce la conformité réglementaire et facilite les audits et les rapports environnementaux.

²⁸ European Commission. (2008). Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Official Journal of the European Union, L 312, 22.11.2008, p. 3–30.

VI.2.4 Économie Circulaire :

Les avancées technologiques soutiennent l'émergence de l'économie circulaire en favorisant la réutilisation et le recyclage des déchets industriels. Les technologies de pointe, telles que les procédés de valorisation énergétique, la bioconversion des déchets organiques en biocarburants ou en compost, et l'impression 3D à partir de matériaux recyclés, contribuent à transformer les déchets en ressources précieuses. Cette approche circulaire réduit la dépendance aux matières premières vierges et limite l'empreinte écologique des activités industrielles.

En résumé, les innovations technologiques révolutionnent la gestion des déchets industriels en améliorant l'efficacité opérationnelle, réduisant les coûts et limitant les impacts environnementaux, favorisant ainsi une économie circulaire et durable. Cependant, leur adoption nécessite des investissements importants, une expertise spécialisée et une collaboration étroite entre les acteurs industriels, les développeurs technologiques et les autorités réglementaires pour maximiser leurs avantages tout en minimisant les risques potentiels. Cela souligne l'importance d'innover, de trouver des solutions durables et de coopérer pour une gestion efficace des défis actuels dans la gestion des déchets industriels, afin de promouvoir une industrie plus responsable sur le plan environnemental et de réduire son empreinte écologique.

Conclusion :

Dans ce premier chapitre, nous avons exploré en profondeur les multiples dimensions de la gestion des déchets industriels, un domaine crucial pour notre environnement et notre économie. Nous avons examiné les fondements de cette gestion en insistant sur l'importance d'une approche proactive pour réduire la production de déchets et atténuer leur impact environnemental.

Nous avons souligné les principes clés de la prévention, de la valorisation et de l'élimination, qui constituent le socle d'une gestion responsable des déchets. La prévention, en diminuant la quantité et la nocivité des déchets à la source, représente le moyen le plus efficace pour en limiter l'impact. La valorisation, qui transforme les déchets en ressources utiles, et l'élimination, nécessairement sécurisée et régulée, complètent cette hiérarchie de solutions.

Nous avons également abordé le cadre législatif et réglementaire complexe qui régit ce domaine, mettant en lumière la responsabilité du producteur selon le principe du pollueur-payeur. Cela garantit que les coûts environnementaux soient intégrés dans les processus de production.

Chapitre 01

Face aux défis actuels tels que l'accroissement et la diversité croissante des déchets, nous avons identifié le potentiel des innovations technologiques comme l'Internet des Objets (IoT) et l'intelligence artificielle (IA). Ces avancées offrent de nouvelles opportunités pour améliorer la collecte, le tri et la traçabilité des déchets, soutenant ainsi l'économie circulaire.

En conclusion, la gestion des déchets industriels est un domaine en constante évolution, confronté à des enjeux environnementaux et réglementaires majeurs. Cependant, en adoptant des pratiques innovantes et responsables, il est possible de transformer ces défis en opportunités pour un avenir plus durable. Les perspectives futures sont prometteuses à condition que les industries, les gouvernements et la société coopèrent pour développer et mettre en œuvre des stratégies efficaces de gestion des déchets. Ce premier chapitre pose les bases nécessaires pour une exploration approfondie des solutions potentielles dans les chapitres suivants.

Chapitre 2
La technologie et l'industrie

1.LA TECHNOLOGIE ET L'INDUSTRIE

Les progrès technologiques dans les procédés industriels ont radicalement remodelé le paysage de la production moderne, apportant des améliorations significatives à plusieurs niveaux. Ces avancées ont donné lieu à une utilisation plus efficace de l'énergie, réduisant ainsi les coûts opérationnels et l'empreinte environnementale des installations industrielles. Grâce à des méthodes de production plus intelligentes et à l'automatisation, les entreprises ont pu améliorer la qualité de leurs produits tout en réduisant les déchets et les erreurs de production. De plus, ces innovations ont ouvert la voie à une plus grande flexibilité et adaptabilité, permettant aux entreprises de répondre plus rapidement aux demandes changeantes du marché et d'introduire de nouveaux produits plus rapidement que jamais. Enfin, ces progrès technologiques ont également contribué à renforcer la sécurité sur le lieu de travail, en réduisant les risques d'accidents et en améliorant les conditions de travail pour les employés. Dans l'ensemble, les innovations technologiques dans les procédés industriels représentent une avancée majeure vers une production plus efficace, durable et compétitive.

L'histoire des progrès technologiques dans les procédés industriels est riche en révolutions et en transformations qui ont redéfini la façon dont les biens sont produits. Depuis les premières révolutions industrielles jusqu'à l'ère actuelle de l'industrie 4.0, les avancées technologiques ont joué un rôle central dans l'évolution des méthodes de fabrication.

I.1 La première révolution industrielle :

qui a émergé au 18ème siècle, a marqué un tournant majeur dans l'histoire de l'humanité. Elle a été caractérisée par l'introduction de la mécanisation à grande échelle, avec des inventions révolutionnaires telles que la machine à vapeur et le métier à tisser mécanique. Ces avancées technologiques ont permis d'accroître considérablement la productivité et de réduire les coûts de production dans divers secteurs industriels. La machine à vapeur, par exemple, a révolutionné les moyens de transport et de production d'énergie, tandis que le métier à tisser mécanique a automatisé la production de textiles, ouvrant ainsi la voie à la production de masse.

I.2 La deuxième révolution industrielle :

survenue au 19ème siècle, a été marquée par l'introduction de l'électricité et de la production en série. Cette période a été caractérisée par un boom de l'innovation technologique, avec des

inventions telles que les chaînes de montage et les premiers systèmes de gestion de la production. Ces avancées ont permis de produire des biens en masse de manière plus efficace que jamais auparavant, réduisant ainsi les coûts de production et rendant les produits plus accessibles au grand public. L'électricité a également joué un rôle crucial dans l'expansion de l'industrie, en fournissant une source d'énergie fiable et polyvalente pour alimenter les machines et les équipements industriels.

I.3 La troisième révolution industrielle :

qui a débuté au milieu du 20^{ème} siècle, a été marquée par l'avènement de l'automatisation et de l'informatique dans les procédés de fabrication. L'introduction de l'automatisation programmable et des premiers ordinateurs a permis de contrôler et de superviser les opérations de production avec une précision et une efficacité accrues. Cette période a également été caractérisée par l'émergence de nouvelles technologies telles que la robotique et l'informatique, qui ont radicalement transformé les processus de fabrication et ont ouvert la voie à de nouveaux domaines d'application industrielle.

I.4 La quatrième révolution industrielle :

Nous sommes actuellement à l'aube de la quatrième révolution industrielle, souvent désignée sous le nom d'industrie 4.0. Cette révolution est caractérisée par l'intégration de technologies de pointe telles que l'intelligence artificielle, l'Internet des objets (IoT), la robotique avancée et l'impression 3D dans les procédés industriels. Ces technologies permettent la création de "smart factories" où les machines sont interconnectées et capables de communiquer entre elles pour optimiser la production en temps réel. Cette convergence de technologies numériques et physiques ouvre de nouvelles possibilités pour l'industrie, en permettant une personnalisation de masse, une production agile et une efficacité opérationnelle accrue. En résumé, la quatrième révolution industrielle représente une étape majeure dans l'évolution de l'industrie, avec le potentiel de transformer radicalement les processus de production et de façonner l'avenir de la fabrication.

En résumé, les progrès technologiques dans les procédés industriels ont été une force motrice majeure de l'évolution de l'industrie, permettant des gains d'efficacité, de productivité et de qualité qui ont façonné notre monde moderne.

II INDUSTRIE 4.0 :

représente une évolution majeure dans le domaine de la production industrielle, caractérisée par l'intégration de technologies numériques avancées dans les processus de fabrication. Selon Klaus Schwab du World Economic Forum, l'usine 4.0 marque le début de la quatrième révolution industrielle, où les systèmes cyber-physiques interagissent de manière transparente pour créer des environnements de production intelligents et connectés. Cette vision est étayée par Erik Brynjolfsson et d'autres chercheurs du Centre de recherche économique et politique, qui soulignent les défis et les opportunités de la transformation numérique du modèle industriel. Dans cette nouvelle ère, l'Internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA) et l'automatisation avancée jouent un rôle central, permettant une surveillance en temps réel, une analyse prédictive et une optimisation des processus de fabrication. De même, les technologies de fabrication additive et les systèmes autonomes contribuent à la flexibilité et à l'agilité de la production. Ainsi, l'usine 4.0 représente un changement radical dans la façon dont les biens sont produits, offrant des avantages significatifs en termes d'efficacité, de qualité et de réactivité aux besoins du marché.

II.1 caractéristiques de l'industrie 4.0

L'industrie 4.0, également connue sous le nom de la quatrième révolution industrielle, se caractérise par l'intégration de technologies avancées et intelligentes dans les processus de fabrication et industriels. Voici les principales caractéristiques de l'industrie 4.0



Figure II-1 : caractéristiques de l'industrie 4.0

II.2 Big data, intelligence artificielle (IA) et machine learning

Big data, intelligence artificielle (IA) et machine learning C'est un ensemble massif d'informations numériques issues de l'intérieur de l'usine. Ces données ensuite stockées, triées et analysées par l'intelligence artificielle afin de déclencher des opérations de maintenance. L'intelligence artificielle permet d'exécuter instantanément des calculs complexes. L'analyse des données s'effectue alors en temps réel, ce qui facilite la prise de décision pour les humains. La source : M. Rüßmann et al., "Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing," Bost. Consult., no. April, pp. 1–5, 2015 Ces trois disciplines sont étroitement liées à la collecte et à la gestion d'un énorme volume de données de sources différentes (big data). Grâce au machine learning, l'IA permet aux ordinateurs d'apprendre et d'améliorer les processus par eux-même, en se basant sur un historique de données et sur la répétition des opérations.²⁹

II.3 Robots collaboratifs 'Cobots'

Cobotique ou robotique collaborative? « La Cobotique est le domaine de la collaboration homme-robot, c'est à dire de l'interaction, directe ou téléopérée, entre homme(s) et robot(s) pour atteindre un objectif commun.³⁰

La robotique collaborative est une branche de la robotique qui regroupe les systèmes conçus pour interagir et collaborer avec l'être humain aux robots, les tâches pénibles et répétitives; à l'opérateur celles impliquant un savoir-faire spécifique ou comportant une complexité particulière.

Le terme provient du mot anglais « cobot », néologisme issu de « coopération » et « robotique ». Il a été proposé en 1996 par J. E. Colgate, W. Wannasuphprasit et M. A. Peshkin, professeurs à la Northwestern University . Il a été introduit et initialement utilisé pour désigner des dispositifs d'assistance physique passifs qui guident les opérateurs.³¹

²⁹ Q. Qi and F. Tao, "Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison," IEEE Access, vol. 6, pp. 3585–3593, 2018

³⁰ Bernard Claverie, Benoit Le Blanc et Pascal Fouillat, « La Cobotique », Presses université de Bordeaux "Communication & Organisation", 2013, p. 203-214.

³¹ Rajkumar Buyya, James Broberg, Andrzej M. Goscinski, "Cloud Computing: Principles and Paradigms", John Wiley & Sons, 2010.

Cependant, la Cobotique ne se limite pas à l'étude des cobots, qui sont des dispositifs techniques. Elle s'intéresse plutôt à l'interaction réelle, directe ou téléopérée, entre un opérateur humain et un système robotique.

SaaS (Software as a Service) : une application proposée dans le cloud. Le logiciel est hébergé sur des serveurs distants plutôt que sur la machine de l'utilisateur : les clients ne paient pas de licence d'utilisation pour une version, mais utilisent librement le service en ligne ou, plus généralement, payent un abonnement.

Ses champs d'application sont variés, puisqu'elle est très présente dans l'industrie, mais est aussi une perspective importante pour le domaine du nucléaire (collaboration à distance), de la santé (chirurgie, rééducation, aide et suppléance), de la domotique, le domaine militaire, ou encore pour l'éducation.

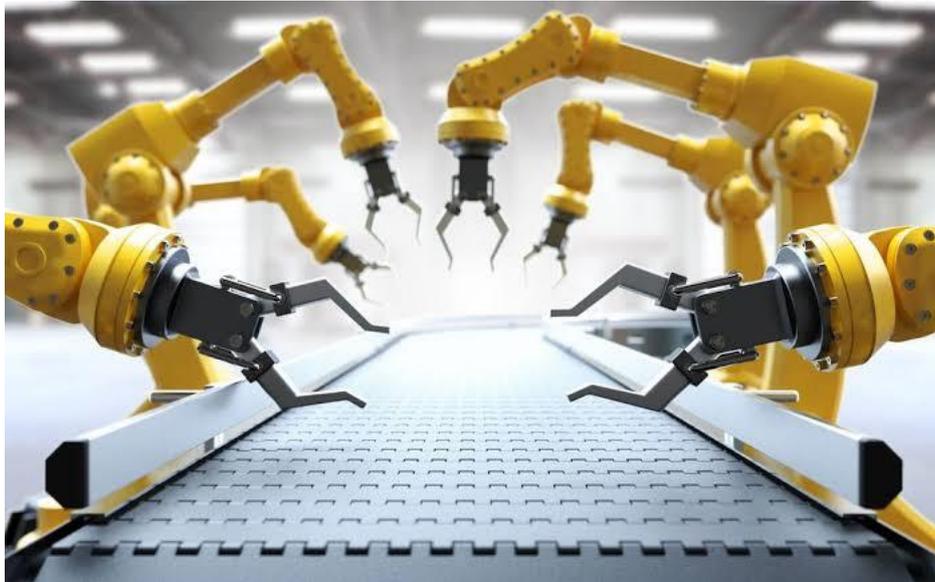


Figure II-2 : caractéristiques de l'industrie Robots collaboratifs

II.4 Simulation

Les simulations dans l'industrie 4.0 représentent un axe important de telle sorte qu'elles s'appuieront sur des données en temps réel pour refléter le monde physique sous forme de modèle virtuel (Digital Twin, Systèmes cyber-physique), cela va permettre d'analyser le fonctionnement d'un système, de prévoir des événements tels que des pannes ou

disfonctionnements et ce pour améliorer les performances et par conséquent augmenter la productivité.³²

II.5 transformation verticale et horizontale

Dans la définition de l'industrie 4.0, l'objectif est de mettre en œuvre des interdépendances au sein de chaque processus métier. L'intégration des systèmes informatiques horizontalement et verticalement est donc essentielle. Du fournisseur au client, l'intégration horizontale englobe le cycle de vie du produit. Ce processus comprend la conception du produit, sa fabrication, le contrôle de qualité, la logistique, la distribution et la vente. Dans l'industrie 4.0, l'intégration horizontale se concentre sur la communication de l'état de la chaîne d'approvisionnement entre les usines et les partenaires commerciaux. D'autre part, l'intégration verticale concerne les niveaux hiérarchiques de l'entreprise, ce qui couvre la planification et la gestion de l'entreprise, la gestion des processus et l'exploitation. Une entreprise intégrée verticalement apporte de nouvelles capacités afin de réduire les coûts de fabrication, de garantir l'accès à des approvisionnements importants et de répondre plus rapidement aux nouvelles opportunités du marché.

Pour parvenir à l'intégration horizontale et verticale, les systèmes Information and Communication Technology ICT en anglais ou Technologies de l'Information et de la Communication en français doivent être intégrés également et doivent diriger cette intégration. Il est presque impossible d'imaginer une intégration verticale et horizontale sans un flux de données fluide entre les différents composants de l'entreprise, à l'intérieur et à l'extérieur de l'usine. Essentiellement, l'intégration horizontale garantit que les machines, les dispositifs IoT (qui sont principalement basés sur les données) et les processus d'ingénierie fonctionnent ensemble de manière transparente.

Concrètement, l'intégration horizontale au niveau de l'atelier nécessite des moyens orientés services pour alerter le reste du système d'information sur les informations disponibles.

L'intégration verticale permet d'utiliser les données de production pour prendre des décisions opérationnelles, de recrutement et autres, en autorisant la communication entre le réseau d'atelier intégré horizontalement et d'autres systèmes, tels que l'ERP

³² M.Rüßmann et al., "Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing," Bost. Consult., no. April, pp. 1–5, 2015

En outre, l'intégration verticale doit prendre en compte la stratification et le filtrage/échantillonnage des données pour les différentes couches. Les Systèmes cyber-physiques peuvent produire des quantités importantes de données qui peuvent être stockées localement pendant un certain temps et être envoyées vers des structures de big data.³³

II.6 Internet des objets industriels

L'Internet des Objets Industriel (IIoT) est une extension de l'IoT qui se concentre spécifiquement sur les applications industrielles. Il s'agit de l'utilisation de dispositifs connectés et intelligents dans des environnements industriels pour automatiser les processus, surveiller les équipements à distance, optimiser les opérations et permettre une maintenance prédictive.

I.7 Internet des services

L'Internet des Services (IoS) est une évolution de l'Internet des Objets (IoT) qui se concentre sur la fourniture de services intelligents et connectés plutôt que sur les dispositifs physiques eux-mêmes. Contrairement à l'IoT, où l'accent est mis sur la connectivité des appareils et des capteurs, l'IoS met l'accent sur la création de valeur à partir des données générées par ces appareils.

Dans l'IoS, les dispositifs connectés collectent des données qui sont ensuite utilisées pour offrir des services innovants et personnalisés aux utilisateurs. Par exemple, dans le domaine de la santé, des dispositifs portables peuvent collecter des données sur l'activité physique, la fréquence cardiaque et d'autres indicateurs de santé, qui sont ensuite utilisées pour fournir des recommandations personnalisées en matière de régime alimentaire et d'exercice.

L'IoS peut également être utilisé dans d'autres domaines tels que les villes intelligentes, les transports, l'industrie et l'agriculture pour améliorer l'efficacité, la durabilité et la qualité de vie. En intégrant des services intelligents basés sur les données dans les infrastructures existantes, l'IoS permet de créer des écosystèmes connectés et interopérables qui offrent de nouveaux niveaux de commodité, d'efficacité et de valeur ajoutée pour les utilisateurs et les entreprises.

II.8 Cyber-sécurité

La connectivité croissante tout au long de la chaîne de valeur a entraîné un besoin accru de sécurité dans le domaine industriel. Les protocoles de communication conventionnels sont

³³ <https://www.copadata.com/en/industries/horizontal-vertical-integration/>

vulnérables aux cyberattaques et aux failles de sécurité. Les cybercriminels ne ciblent pas seulement les données et la propriété intellectuelle, ils menacent les entreprises et perturbent les opérations pour diverses raisons. Dans l'industrie 4.0, les machines, les robots, les capteurs et les actionneurs sont tous connectés à l'internet ou entre eux, c'est donc propice aux cybermenaces.³⁴

Les mesures de cybersécurité visent à protéger les applications et les systèmes en réseau contre les menaces, que celles-ci proviennent de l'intérieur ou de l'extérieur d'une organisation. Une stratégie globale de cybersécurité, régie par les meilleures pratiques et automatisée par des analyses avancées et l'intelligence artificielle (IA), peut réduire l'impact et le cycle de vie des cyberattaques sur les organisations³⁵

L'une des technologies les plus puissantes en matière de cybersécurité est la blockchain. Les avantages des solutions de fabrication intelligente seront accrus par l'utilisation de cette nouvelle technologie. Elle intègre les innovations et stratégies émergentes promues et soutenues par l'entreprise en tant que ressources pour aider à atteindre les objectifs plus larges de l'entreprise. Elle aide les entreprises à défendre leurs inventions puisque la Blockchain rend l'environnement des brevets plus simple, plus transparent et moins d'intermédiaires. Cela favoriserait la concurrence entre les entreprises qui ont plus de difficultés à accéder au monde des brevets et assurerait l'amplification des solutions de fabrication intelligente.³⁶

II.9 Cloud

Le cloud computing » en français « l'informatique en nuage » ou « nuagique » ou encore « l'infonuagique » (au Québec)', est la fourniture de services informatiques (serveurs, stockage, bases de données, gestion réseau, logiciels, outils d'analyse, intelligence artificielle, etc.) via Internet (le cloud) dans le but d'offrir une innovation plus rapide, des ressources flexibles et des économies d'échelle.

C'est le modèle désormais établi d'industrialisation et de commercialisation de l'informatique. Dans le cloud, le fournisseur met à disposition de l'entreprise des ressources informatiques (des applications, par exemple) comme un service.

³⁴ M. Ghobakhloo, "The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0," *Jnl of Manu Tech Mnagmnt*, vol. 29, no. 6, pp. 910-936, Oct. 2018, doi: 10.1108/JMTM-02-2018-0057.

³⁵ "What is Cybersecurity? | IBM." <https://www.ibm.com/topics/cybersecurity> (accessed Feb.18.2022)

³⁶ M. Javaid, A. Haleem, R. Pratap Singh, S. Khan, and R. Suman, "Blockchain technology applications for Industry 4.0: A literature-based review," *Blockchain: Research and Applications*, vol. 2, no. 4, p. 100027, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.bcr.2021.100027.

collecter des informations, de les traiter et de les transmettre à d'autres appareils ou systèmes pour une analyse plus poussée.

Grâce à l'IoT, les entreprises et les consommateurs peuvent bénéficier d'une multitude d'applications et de services innovants. Dans le secteur industriel, par exemple, les usines peuvent utiliser des capteurs IoT pour surveiller en temps réel l'état des équipements, optimiser les processus de production et prévenir les pannes ³⁹. Dans le domaine de la santé, les dispositifs médicaux connectés peuvent surveiller les signes vitaux des patients à distance et fournir des données précieuses aux professionnels de la santé pour un suivi plus efficace des traitements ⁴⁰.

En dehors de ces domaines, l'IoT offre également des possibilités dans la gestion intelligente des villes (smart cities), l'agriculture de précision, la domotique, le suivi environnemental et bien d'autres secteurs. Cependant, le déploiement de l'IoT soulève également des questions importantes en matière de sécurité et de confidentialité des données, qui doivent être abordées de manière appropriée pour garantir la confiance des utilisateurs et la protection de leurs informations personnelles⁴¹. En somme, l'Internet des objets promet de révolutionner notre façon de vivre, de travailler et d'interagir avec le monde qui nous entoure, ouvrant la voie à un avenir de plus en plus connecté et intelligent.

III.2 Internet Of Thing (IOT)

III.2.1 Définition

L'IOT est l'acronyme de Internet Of Thing (Internet des Objets en français). Le terme IoT est apparu la première fois en 1999 dans un discours de l'ingénieur britannique Kevin ASHTON. Il servait à désigner un système où les objets physiques sont connectés à internet. Il s'agit également de systèmes capables de créer et transmettre des données afin de créer de la valeur pour ses utilisateurs à travers divers services (agrégation, analytique, etc).

Selon l'UIT (Union Internationale des Télécommunications), l'Internet des Objets est défini comme (une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de

³⁹"Internet of Things: Concepts and Technologies" par Arpan Kumar Kar, "Sensors and Actuators A: Physical" Volume 140, Issue 2, September 2007.

⁴⁰ "The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey" par Nagesh C. Basavanhally, "IEEE Communications Surveys & Tutorials", Volume 17, Issue 4, 2015.

⁴¹ "Security and Privacy Challenges in the Internet of Things (IoT)" par Mahmud Hossain, "IEEE Internet of Things Journal", Volume 1, Issue 4, August 2014.

disposer de services évolués en interconnectant des objets (physique ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution). Au fil du temps, le terme a évolué et il englobe maintenant tout l'écosystème des objets connectés. Cet écosystème englobe, des fabricants de capteurs, des éditeurs de logiciels, des opérateurs historiques ou nouveaux sur le marché, des intégrateurs, etc. Cet éclectisme en fait sa richesse.

III.2.2 Composants de l'iot :

L'Internet des objets (IoT, Internet of Things) est un réseau de dispositifs physiques, de véhicules, de bâtiments et d'autres objets intégrés avec de l'électronique, des logiciels, des capteurs et des connecteurs qui leur permettent de collecter et d'échanger des données. Voici les principaux composants de l'IoT :

III.2.3 Les capteurs :

Les capteurs collectent des données de l'environnement ou de l'objet auquel ils sont attachés. Ils peuvent mesurer divers paramètres comme la température, l'humidité, la lumière, le mouvement, la pression, etc. Les dispositifs sont les objets physiques connectés à Internet, comme des appareils électroménagers, des véhicules, des équipements industriels

III.2.3.1 Communication :

Normes et technologies permettant la transmission de données entre dispositifs et systèmes (Wi-Fi, Bluetooth, etc.).

III.2.3.2 Passerelles (Gateways) :

Il peut se définir comme une passerelle capable de faire le lien entre le cloud et les appareils IoT. C'est donc une sorte de pont ou de tunnel, qui permet aux données de transiter entre ces pôles. Dans les faits, il peut s'agir d'un logiciel ou d'un appareil dédié à cette fonction. En anglais, on parle aussi de "smart gateway". En français, on évoque davantage les "passerelles domotiques" ou "passerelles intelligentes". Les passerelles IoT fonctionnent comme des routeurs de réseaux. Elles envoient les données vers le cloud. C'est ce qu'on appelle le "trafic sortant". Les gateways modernes gèrent aussi le trafic "entrant", c'est-à-dire les données qui viennent du cloud et vont vers les objets connectés. Ces données servent en général à programmer des tâches liées à la gestion des appareils, comme par exemple leurs mises à jour. La passerelle évite donc au gestionnaire d'exécuter des commandes manuellement. Ces gateways peuvent également occuper d'autres fonctions :

- Prétraiter les données avant de les envoyer dans le cloud. Cette fonctionnalité évite par exemple les duplicatas. Elle sert aussi à agréger les données, afin d'en réduire le volume avant transmission. Les passerelles IoT jouent ainsi un rôle important dans le désencombrement des bandes passantes.
- Sécuriser les données avant leur transfert. Les passerelles ajoutent une couche de cybersécurité à des objets connectés souvent redoutés dans ce domaine. Certaines passerelles peuvent même chiffrer les données et détecter les brèches de sécurité.

Notez que ces passerelles ne sont pas toujours nécessaires. Certains “devices” communiquent entre eux sans intermédiaire. On parle dans ce cas de communication “device-to-device”. Ces objets connectés se servent généralement de réseaux LPWAN, ou Low Power Wide Area Networks.⁴²

III.2.3.3 Stockage et gestion des données (plateforme cloud) :

Une plateforme cloud est un type de plateforme informatique qui fournit un environnement basé sur le cloud aux utilisateurs pour stocker, gérer et traiter des données.

Elle est basée sur le concept du cloud, qui consiste à fournir aux utilisateurs un accès aux ressources informatiques, telles que le matériel, les logiciels et le stockage, sur Internet.

Les plateformes cloud peuvent être utilisées pour héberger un large éventail d'applications et de services, notamment des applications Web, des bases de données, des applications mobiles, des analyses et de l'apprentissage automatique.

Les plateformes cloud peuvent aussi être utilisées pour stocker et gérer de grandes quantités de données, notamment des données structurées et non structurées.

Les plateformes cloud sont généralement hébergées sur des machines virtuelles dans un cloud public, comme Amazon Web Services, Google Cloud Platform ou Microsoft Azure, mais elles peuvent aussi être hébergées sur des clouds privés.

Les plateformes de cloud offrent aux utilisateurs divers avantages, de l'évolutivité et de la flexibilité à l'amélioration de la sécurité et aux économies de coûts.⁴³

⁴²<https://www.requea.com/iotgateway.html#:~:text=Qu'est%2Dce%20que%20l,appareil%20d%C3%A9di%C3%A9%20%C3%A0%20cette%20fonction.>

⁴³sacha comti /www.wenvision.com/quest-ce-quune-plateforme-de-cloud-computing/ 16/01/2022

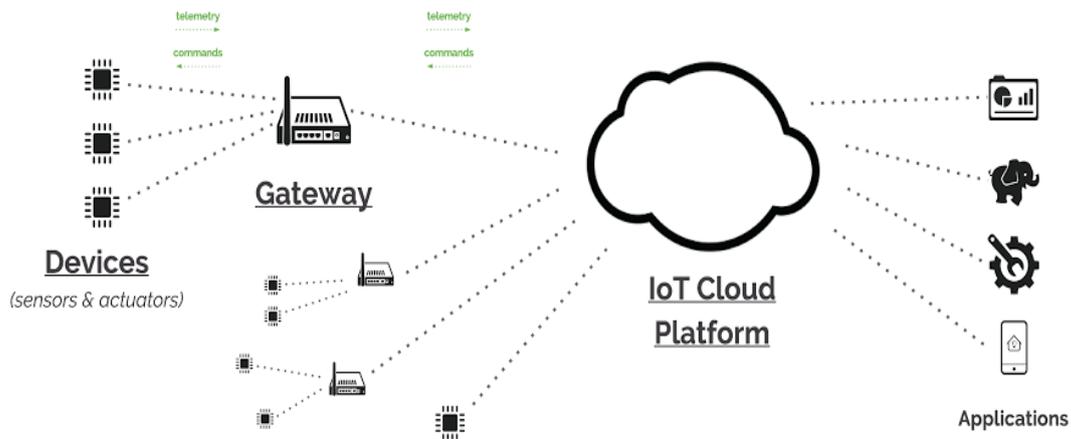


Figure II-4 : Cloud platform

III. 2.3.4 Analytique et traitement des données :

Les algorithmes d'analyse sont essentiels pour exploiter les données collectées par les dispositifs IoT et en extraire des informations utiles. Ces algorithmes peuvent inclure des techniques de traitement de données en temps réel, comme le filtrage Kalman, qui estime l'état d'un système dynamique malgré le bruit des mesures. Les algorithmes de machine learning, tels que les réseaux de neurones et le clustering, permettent de classer, prédire et identifier des patterns dans les données. L'analyse prédictive, utilisant des modèles de séries temporelles comme ARIMA ou LSTM, aide à anticiper les tendances futures et à prévoir des événements comme les pannes d'équipement. De plus, le traitement du signal, avec des outils comme la transformée de Fourier, analyse les fréquences et détecte les anomalies dans les données. Enfin, les techniques de fusion de données et de visualisation permettent de combiner et de représenter visuellement les informations, facilitant ainsi l'interprétation et la prise de décision. Ensemble, ces algorithmes transforment les données IoT en insights précieux pour une gestion optimisée des systèmes et des processus

III.2.3.5 Interfaces utilisateurs :

Les interfaces utilisateur (UI) sont essentielles dans l'écosystème IoT, permettant aux utilisateurs de surveiller, contrôler et interagir avec les dispositifs IoT de manière intuitive et efficace. Elles incluent des applications mobiles, offrant accessibilité et notifications en temps réel, ainsi que des tableaux de bord web, qui permettent une visualisation des données et un contrôle centralisé des dispositifs. Les interfaces vocales, intégrées avec des assistants comme

Amazon Alexa, facilitent l'accessibilité, tandis que les applications de bureau offrent des fonctionnalités avancées pour les environnements professionnels. De plus, certaines interfaces sont embarquées directement dans les dispositifs, comme les écrans tactiles des thermostats intelligents. Enfin, les technologies de réalité augmentée (AR) et de réalité virtuelle (VR) offrent des visualisations immersives et sont particulièrement utiles pour la maintenance industrielle et la formation. Ces interfaces sont conçues pour maximiser l'utilisabilité et l'accessibilité, permettant aux utilisateurs de tirer pleinement parti des systèmes IoT en rendant les données exploitables et en facilitant le contrôle des dispositifs.

III.2.3.6 Domaine d'application de l'internet des objets :

L'Internet des Objets (IoT) a une multitude de domaines d'application grâce à sa capacité à connecter divers dispositifs pour collecter, échanger et analyser des données. Voici quelques-uns des principaux domaines d'application de l'IoT :

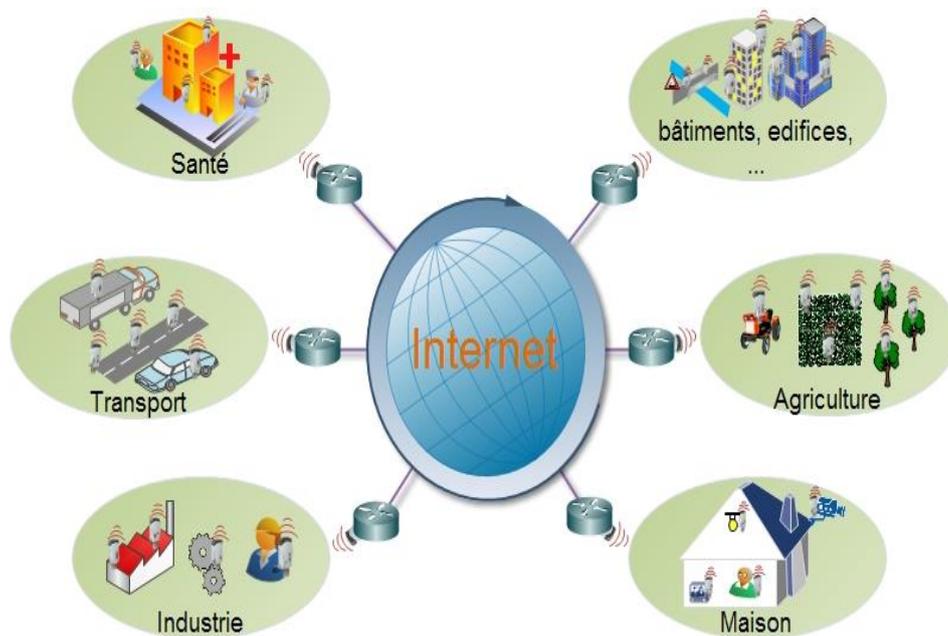


Figure II-5 : Domaine D'application De l'iot

III.2.3.7 Maison intelligente :

C'est un système qui permet de connecter des objets, des appareils et des systèmes entre eux, permettant de les gérer directement depuis une application installée sur un smartphone, une tablette ou une montre intelligente.⁴⁴

III.2.3.8 La santé :

Le secteur de la santé a connu un très grand nombre d'applications permettant à un patient et à son docteur de recevoir des informations, parfois même en temps réels, qu'il aurait été impossible de connaître avant l'apparition d'IoT.

Par exemple, (Porteuse Digital Health) qui est le premier médicament connecté sur le marché grâce à un capteur directement intégré dans l'être humain qui permet après ça le suivi des patients à distance.

Il existe Plusieurs autres dispositifs sont disponibles, fixé autour du poignet et permettent également de suivre l'activité physique quotidienne du patient, mesurer le taux de sucre, compter le nombre de pas, les kms parcourus, le nombre de calories brûlées...

Le dispositif lui envoie une alerte dans les cas anormaux.

Récemment, Goldman Sachs a publié une étude qui prouve que l'Internet des Objets pourrait faire économiser des milliards de dollars au service de santé américain.⁴⁵

III.2.3.9 Ville intelligente :

Les villes intelligentes ou smart city sont en croissance dans les pays qui connaissent une avancée technologique. Il existe dans ce cas, des systèmes qui permettent de contrôler le fonctionnement de ville, les activités des populations, la gestion des bâtiments, la sécurité.

Pour la sécurité, l'internet des objets permet d'effectuer la gestion du trafic dans les lieux de grande affluence, le suivi des caméras de télésurveillance publiques, l'éclairage connecté. Les enjeux d'une ville connectés sont entre autres, l'optimisation des ressources économiques, la gestion de la population et l'assainissement de la ville.⁴⁶

⁴⁴ <https://www.1control.eu/blog/fr/smart-home-ou-domotique-un-voyage-entre-differences-et-avantages/#:~:text=La%20smart%20home%20%20litt%C3%A9ralement%20«%20maison,tablette%20ou%20une%20montre%20intelligente.>

⁴⁵ <https://wikimemoires.net/2019/09/l-elevage-de-volailles-intelligents/>

⁴⁶ <http://taneleo.fr/internet-des-objets-application/>

III.2.3.10 Agriculture :

L'Internet des Objets (IoT) transforme l'agriculture moderne en utilisant des capteurs connectés à Internet pour collecter des données environnementales et mécaniques. Ces technologies permettent aux agriculteurs de prendre des décisions informées et d'améliorer divers aspects de leur travail, de l'élevage à la culture. L'agriculture intelligente réduit les déchets et augmente la productivité en optimisant l'utilisation des ressources comme les engrais, l'eau et l'électricité. Grâce aux outils IoT, les agriculteurs peuvent surveiller leurs champs à distance et automatiser certaines tâches en fonction des données collectées. Ce secteur, de plus en plus technologique, a vu sa part de marché mondiale passer de 5,6 milliards de dollars en 2020 à une prévision de 23,44 milliards de dollars en 2025, notamment grâce à la 5G.⁴⁷

III.2.3.11 Transport

L'Internet des Objets (IoT) dans le secteur des transports connaît une croissance rapide, apportant des gains en efficacité opérationnelle, réduction des coûts, sécurité et mobilité. Les applications de l'IoT dans la gestion du trafic, la réponse aux situations d'urgence et la sécurité des piétons et cyclistes transforment les villes. Les transports publics et l'industrie automobile bénéficient également de l'IoT, avec des innovations telles que les bornes de recharge des véhicules électriques et les technologies de véhicules connectés.

L'IoT permet de gérer le trafic urbain en connectant des capteurs, des caméras et des feux de signalisation pour améliorer la fluidité et la sécurité du trafic. Dans les transports publics, l'IoT améliore l'efficacité opérationnelle et l'expérience des passagers grâce à des systèmes de billetterie, de surveillance des véhicules et de Wi-Fi à bord.

Exemples concrets :

- **Gestion du trafic urbain** : Des systèmes comme celui de New York utilisent des routeurs cellulaires pour coordonner les feux de signalisation et réduire la congestion.
- **Transports publics**: La Chicago Transit Authority utilise l'IoT pour gérer la capacité des bus en temps réel, tandis que TransData en Slovaquie développe des solutions de billetterie et de signalisation numérique.
- **Véhicules électriques (VE)**: L'infrastructure de recharge des VE se développe, avec des stations connectées pour faciliter la maintenance et le paiement.

⁴⁷<https://www.mutualia.fr/agriculteur/infos/economie-et-societe/news/internet-des-objets-iot-pour-une-agriculture-plus-intelligente>

En intégrant l'IoT, le secteur des transports devient plus intelligent et réactif, améliorant la gestion des infrastructures et la qualité des services.

III.2.3.12 L'industrie

Il existe des cas d'utilisation de l'IIoT dans des industries légères, tels que des compteurs, et des cas d'utilisation dans des industries lourdes, tels que des convoyeurs utilisés dans l'industrie minière, où les dispositifs peuvent être soumis à une large gamme de facteurs environnementaux, allant de la chaleur et du froid extrêmes à l'humidité et aux vibrations. Et dans l'Industrie 4.0, des processus tels que l'automatisation de la fabrication et la maintenance prédictive nécessitent des communications rapides entre machines pour la précision et le contrôle des robots, des équipements et des processus.

L'Internet Industriel des Objets consiste à déployer des capteurs et des machines intelligentes pour capturer et déplacer des données, détecter des changements de température, de débit ou de volume, automatiser des procédures pour une efficacité, une précision et une sécurité accrues, fournir des données aux bonnes personnes pour l'analyse et la prise de décision, et garantir que tous ces processus se déroulent en temps voulu, de manière fiable et sécurisée.

Le Pouvoir du Traitement en Périphérie et de l'Automatisation dans l'Internet Industriel des Objets

L'utilisation de dispositifs intelligents s'est rapidement étendue, et aujourd'hui, avec la croissance énorme de l'IoT et de l'IIoT, il est difficile de trouver une industrie qui ne soit pas touchée par ce phénomène. Aujourd'hui, les organisations industrielles cherchent à travailler de manière plus intelligente, pas plus dure. Les réseaux rapides, l'informatique en périphérie et l'automatisation peuvent créer des améliorations et des efficacités sans précédent qui ne sont tout simplement pas possibles avec une main-d'œuvre humaine. Cela ne signifie pas pour autant que les humains ne sont pas nécessaires. Au contraire, des ingénieurs, des développeurs d'applications, des scientifiques des données et des travailleurs de tous horizons sont nécessaires pour mettre en place ces solutions et les utiliser.

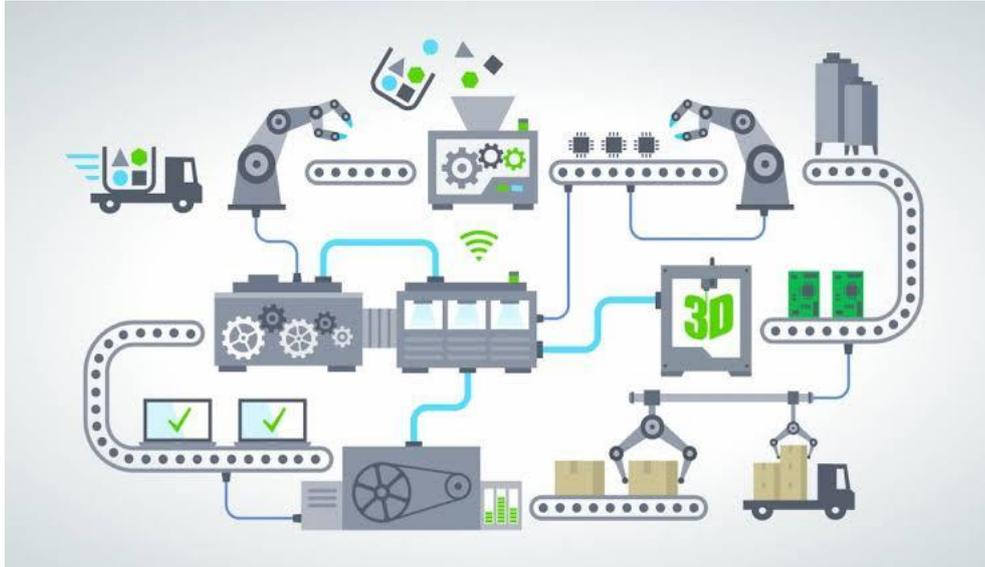


Figure II-6 : Iot dans l'industrie

IV Exemples de gestion intelligente de déchets industriels dans le monde :

La gestion intelligente des déchets industriels est devenue une priorité mondiale pour les entreprises et les gouvernements cherchant à réduire l'impact environnemental de leurs activités tout en optimisant les coûts et les ressources. Grâce à l'innovation technologique, des solutions avancées permettent aujourd'hui de transformer les déchets en ressources précieuses, d'améliorer les processus de tri et de recyclage, et de minimiser les déchets envoyés en décharge. Voici quelques exemples concrets de gestion intelligente des déchets industriels à travers le monde :

IV.1 Système de Tri Robotisé - ZenRobotics Recycler

ZenRobotics, une entreprise finlandaise pionnière dans le domaine de la gestion intelligente des déchets, a conçu un système révolutionnaire de tri robotisé basé sur l'intelligence artificielle et des capteurs avancés. Ce système novateur vise à optimiser le tri des déchets de construction et de démolition, un processus souvent complexe et laborieux. Grâce à l'intégration de technologies de pointe, les robots de ZenRobotics peuvent identifier et séparer une variété de matériaux, tels que le bois, le métal et le béton, avec une précision impressionnante. Ces robots sont capables de trier les déchets à une vitesse bien supérieure à celle des méthodes traditionnelles, ce qui permet de réduire les coûts de main-d'œuvre et d'accroître l'efficacité des opérations de recyclage. De plus, la précision du tri effectué par les robots contribue à minimiser la contamination des matériaux recyclés, ce qui garantit un recyclage de meilleure qualité. Cette approche révolutionnaire de la gestion des déchets de

construction et de démolition témoigne de l'impact significatif que la technologie peut avoir sur la promotion d'une économie circulaire et durable. En transformant les déchets en ressources précieuses, ZenRobotics ouvre la voie à une gestion plus efficace et plus respectueuse de l'environnement des déchets industriels à l'échelle mondiale.

IV.2 Capteurs IoT pour la Gestion des Déchets – Enevo

Enevo, une entreprise innovante dans le domaine de la gestion des déchets, déploie une approche révolutionnaire grâce à l'intégration de capteurs IoT (Internet des objets) dans les bacs à déchets. Ces capteurs sophistiqués permettent de surveiller en temps réel les niveaux de remplissage des conteneurs, offrant ainsi une visibilité précise sur la quantité de déchets générée dans diverses zones. Cette surveillance continue permet à Enevo de recueillir des données précieuses sur les habitudes de production de déchets, les variations saisonnières et les tendances de consommation. Grâce à l'analyse de ces données, l'entreprise peut optimiser intelligemment les itinéraires de collecte, en planifiant des trajets plus efficaces et en évitant les déplacements inutiles. En réduisant le nombre de kilomètres parcourus et en minimisant les temps d'attente, cette approche contribue à une utilisation plus efficiente des ressources, tout en réduisant les coûts de transport et les émissions de gaz à effet de serre. De plus, en optimisant la collecte des déchets, Enevo aide les municipalités et les entreprises à maintenir des environnements plus propres et plus agréables pour les citoyens et les employés. Cette approche novatrice de la gestion des déchets illustre parfaitement comment la technologie peut être exploitée pour résoudre les défis environnementaux de manière efficace et durable, tout en améliorant simultanément l'efficacité opérationnelle et la rentabilité.

IV.3 Transformation des Déchets en Énergie - Covanta Energy

Covanta, une entreprise leader dans le domaine de la valorisation énergétique des déchets, est à l'avant-garde de la transformation des déchets non recyclables en sources d'énergie renouvelable. À travers ses installations de valorisation énergétique des déchets, également connues sous le nom de "Waste-to-Energy", Covanta incinère les déchets non recyclables pour produire de l'électricité et de la chaleur. Cette approche innovante permet de donner une seconde vie aux déchets tout en répondant aux besoins croissants en énergie. Un exemple remarquable de cette technologie est l'usine de Covanta située à Fairfax, en Virginie, qui traite environ 3 000 tonnes de déchets par jour. Ces déchets, qui autrement finiraient en décharge, sont transformés en énergie propre et renouvelable, contribuant ainsi à réduire la dépendance

aux combustibles fossiles et à diminuer les émissions de gaz à effet de serre. En plus de produire de l'électricité, la chaleur générée par ce processus peut également être utilisée pour le chauffage urbain ou d'autres besoins industriels, offrant ainsi une solution énergétique intégrée et durable. Grâce à ces installations de valorisation énergétique des déchets, Covanta démontre l'importance de l'innovation technologique dans la transition vers une économie circulaire et durable, où les déchets sont considérés comme une ressource précieuse plutôt que comme un problème environnemental. En transformant les déchets en énergie, Covanta contribue à créer un avenir plus propre et plus durable pour les générations futures.⁴⁸

IV.4 Recyclage des Déchets Électroniques – TES

TES, en tant que leader mondial dans le domaine de la gestion des déchets électroniques, joue un rôle crucial dans la promotion de pratiques durables et responsables en matière de recyclage des déchets électroniques, également connus sous le nom d'e-waste. L'entreprise s'appuie sur des technologies de pointe pour mettre en œuvre un processus de recyclage efficace et innovant, visant à récupérer les métaux précieux et autres matériaux réutilisables contenus dans les déchets électroniques. Le processus de recyclage de TES commence par le démontage minutieux des appareils électroniques en fin de vie, une étape essentielle pour séparer les composants réutilisables des déchets. Ensuite, les composants électroniques sont soumis à un processus de broyage qui réduit les matériaux en fragments plus petits, facilitant ainsi le tri et la récupération des matériaux précieux. Les métaux précieux tels que l'or, l'argent et le cuivre sont extraits à l'aide de méthodes de raffinage sophistiquées, tandis que d'autres matériaux réutilisables sont également récupérés et réintroduits dans le processus de production. En adoptant une approche holistique du recyclage des déchets électroniques, TES contribue à réduire la quantité de déchets envoyés en décharge et à préserver les ressources naturelles en réutilisant les matériaux récupérés. De plus, en récupérant les métaux précieux contenus dans les déchets électroniques, TES contribue à réduire la dépendance aux ressources minérales limitées et à minimiser l'impact environnemental associé à leur extraction. Par ces efforts, TES démontre l'importance de l'innovation technologique dans la gestion responsable des déchets électroniques et son engagement envers la création d'un avenir plus durable et plus respectueux de l'environnement.

⁴⁸<https://fastercapital.com/fr/sujet/transformer-les-d%C3%A9chets-en-%C3%A9nergie-durable.html>.

IV.5 Utilisation de la Blockchain pour la Traçabilité – Circulor :

Circulor se distingue par son utilisation novatrice de la technologie blockchain pour révolutionner la gestion des déchets industriels. En exploitant les capacités de la blockchain, Circulor est en mesure de suivre de manière transparente et sécurisée les flux de déchets tout au long de leur cycle de vie, de leur collecte à leur traitement final. Cette approche révolutionnaire garantit la traçabilité et la conformité réglementaire des déchets, tout en offrant une transparence totale aux parties prenantes tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Un exemple concret de l'impact de cette technologie est la capacité de Circulor à suivre les déchets plastiques, une ressource précieuse mais souvent mal gérée. Grâce à la blockchain, Circulor peut garantir que les déchets plastiques sont correctement recyclés et réutilisés dans la production de nouveaux produits, contribuant ainsi à réduire la dépendance aux matières premières vierges et à promouvoir une économie circulaire. En offrant une visibilité et une traçabilité accrues, la technologie blockchain permet à Circulor de jouer un rôle clé dans la lutte contre la pollution plastique et la promotion de pratiques durables dans l'industrie. En unissant la technologie blockchain à la gestion des déchets industriels, Circulor ouvre la voie à une gestion plus transparente, responsable et efficace des déchets, contribuant ainsi à façonner un avenir plus propre et plus durable pour les générations futures.

IV.6 Valorisation des Déchets Organiques -Anaerobic Digestion

Facilities :

Les installations de digestion anaérobie transforment les déchets organiques industriels (comme les restes alimentaires et les boues de traitement des eaux usées) en biogaz et en fertilisants. Par exemple, Bioenergy DevCo aux États-Unis convertit les déchets organiques en biogaz utilisé pour produire de l'énergie.

Ces exemples démontrent comment différentes technologies et approches innovantes peuvent être utilisées pour améliorer la gestion des déchets industriels, réduire l'impact environnemental et créer de nouvelles ressources à partir des déchets. Par l'intégration de systèmes de tri robotisés, de capteurs IoT, de valorisation énergétique des déchets et de la blockchain pour la traçabilité, les entreprises du monde entier montrent que la gestion intelligente des déchets industriels est non seulement possible mais également bénéfique sur le plan économique et écologique. Grâce à ces innovations, il est possible de

Chapitre 02

transformer des défis environnementaux complexes en opportunités pour un développement durable et une croissance économique responsable.

CHAPITRE 03

Presentation De Lafрге

I Introduction :

L'industrie cimentière joue un rôle crucial dans le secteur de la construction, en fournissant une vaste gamme de ciments adaptés à des usages spécifiques. Chaque type de ciment possède des compositions, des niveaux de résistance et des propriétés de durcissement répondant aux besoins divers des chantiers et des usines.

Le ciment, sous forme de poudre fine, se mélange à l'eau ou à une solution saline pour former une pâte plastique et liante, capable d'agglomérer différentes substances en durcissant. En un sens plus large, le ciment désigne tout matériau utilisé pour lier deux corps durs. Il est un liant hydraulique qui durcit rapidement et atteint sa résistance maximale en quelques jours. Une fois durcie, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau, et est couramment utilisée pour fabriquer du mortier et du béton en mélange avec du sable et des graviers.

Depuis la première révolution industrielle, les activités humaines, y compris la production de ciment, ont entraîné une augmentation des déchets, posant des défis environnementaux considérables. La gestion de ces déchets est devenue une priorité essentielle de notre époque. Dans l'industrie cimentière, des efforts significatifs sont déployés pour réduire les déchets produits, réutiliser les sous-produits industriels et recycler les matériaux de construction. Ces initiatives visent à minimiser l'impact environnemental et à promouvoir un développement durable.

Ainsi, l'industrie cimentière ne se contente pas de fournir des matériaux de construction essentiels, mais elle s'engage également activement dans la gestion responsable des déchets, contribuant à la protection de l'environnement et à l'amélioration des pratiques industrielles.

II Historique de Lafarge :

Le groupe Lafarge, aujourd'hui leader mondial incontesté des matériaux de construction, tire ses racines d'une humble cimenterie créée en 1833 à Viviers, dans le sud de la France, par Joseph-Auguste Pavin de Lafarge. Cet établissement modeste marqua les prémices de l'entreprise dans le secteur et constitua le terreau de plus d'un siècle et demi d'innovations et de percées technologiques qui allaient la hisser au rang de géant industriel.

Dès 1864, Lafarge amorça son rayonnement international en établissant la Buffalo Cement Company, sa première usine outre-Atlantique aux États-Unis. Portée par une stratégie de

Chapitre 03

croissance ambitieuse, la firme poursuit son expansion en s'implantant au Canada dès 1908 pour répondre à la demande galopante du marché nord-américain alors en plein essor économique. C'est ainsi que de ces fondations pionnières en France et de ce tremplin nord-américain allait se déployer la stature de groupe multinational qui caractérise aujourd'hui Lafarge, à la pointe dans les secteurs du ciment et des matériaux de construction.

Animée par une vision de leadership mondial dans ces domaines stratégiques, l'entreprise poursuit résolument son déploiement à l'échelle planétaire. Dès 1919, l'ouverture d'une cimenterie à Oued Kebir en Algérie marqua les prémices de son empreinte en Afrique du Nord, répondant aux besoins croissants de développement et d'urbanisation de cette région en pleine mutation. Quarante ans plus tard, en 1959, le groupe effectua une percée stratégique décisive en Amérique du Sud par l'acquisition de la Companhia de Cimento Nacional au Brésil, lui ouvrant de nouvelles perspectives de croissance sur ce marché émergent au potentiel prometteur.

Puis, en 1965, l'implantation d'une usine à Thessalonique en Grèce vint consolider l'ancrage méditerranéen européen de Lafarge, où la demande en plein essor appelait un renforcement des capacités de production. Cette marche résolue vers une présence manufacturière planétaire, de l'Afrique à l'Amérique latine en passant par l'Europe, matérialisait l'ambition de Lafarge de s'affirmer comme un acteur incontournable du secteur à l'échelle globale

L'appétence de Lafarge pour la conquête de nouveaux marchés ne s'est jamais démentie au fil des décennies. En 1973, le groupe prit pied en Afrique de l'Ouest en implantant une usine à Ewekoro au Nigeria, fer de lance d'un déploiement visant à répondre aux besoins croissants en matériaux de construction dans cette région alors en plein essor économique. Poursuivant sur cette lancée expansionniste, Lafarge franchit une étape décisive en 1985 avec l'inauguration de sa première cimenterie à Tongzhou en Chine, marquant son entrée sur l'un des plus vastes marchés mondiaux, au cœur des formidables opportunités offertes par l'émergence économique fulgurante du géant asiatique. Déjà bien établi comme un acteur majeur à l'échelle mondiale, le cimentier accentua encore cette stature en 1994 par la fusion stratégique avec son homologue britannique Redland, un rapprochement de poids qui consolida significativement ses positions sur l'échiquier planétaire. Trois ans plus tard, Lafarge prenait par ailleurs une participation majoritaire au sein de la malaisienne LafargeHolcim Malaysia, scellant sa détermination à s'implanter durablement en Asie du Sud-Est, une région au potentiel de croissance alors en pleine effervescence économique.

Lafarge a maintenu une ambition résolument conquérante, poursuivant méthodiquement son expansion sur les marchés les plus prometteurs. Ainsi, en 2008, l'acquisition stratégique du cimentier égyptien Orascom Cement a permis de consolider la présence du groupe en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, des régions stratégiques présentant un fort potentiel de développement. Deux ans plus tard, Lafarge a intensifié ses efforts d'implantation en prenant des participations majoritaires dans des acteurs brésiliens et indiens, positionnant le groupe au cœur de deux géants émergents abritant parmi les marchés de la construction les plus dynamiques de la planète. Cette avancée significative en Amérique latine et en Asie a ainsi renforcé l'exposition de Lafarge sur les principaux pôles mondiaux de croissance économique. Un tournant historique a été atteint en 2015 avec la fusion de Lafarge et de son homologue suisse Holcim, donnant naissance au nouveau leader planétaire LafargeHolcim. Résultant de l'union stratégique de deux géants industriels complémentaires, ce nouveau mastodonte bénéficie désormais d'une présence manufacturière inégalée et de capacités de production massives à l'échelle mondiale. Toutefois, dans une optique de rationalisation de son portefeuille d'actifs, LafargeHolcim a entrepris en 2019 quelques cessions ciblées en Malaisie, Singapour, Bangladesh et Corée du Sud, se retirant de ces marchés afin de mieux se concentrer sur ses implantations clés et les opportunités de croissance les plus prometteuses.⁴⁹

II.1 En Algérie

Dès 1919, Lafarge posa un jalon majeur de son expansion internationale en ouvrant une cimenterie pionnière à Oued Kebir, en Algérie. Cette implantation marqua les prémices de l'empreinte du groupe cimentier en Afrique du Nord, une région alors en plein essor économique et démographique. L'Algérie, tout juste sortie des affres de la Première Guerre mondiale, connaissait une croissance fulgurante de sa population urbaine et des besoins criants en infrastructures et en logements. La cimenterie d'Oued Kebir permit ainsi à Lafarge de répondre à cette demande locale exponentielle. Mais au-delà, cette usine stratégiquement située constitua un tremplin pour servir l'ensemble du marché nord-africain en plein développement industriel.

Près d'un siècle plus tard, le groupe issu de la fusion en 2015 entre Lafarge et son homologue suisse Holcim, renommé LafargeHolcim, a considérablement renforcé sa présence manufacturière en Algérie. Implanté dès 2002 au travers d'un partenariat dans le secteur du plâtre, Lafarge racheta en 2007 les opérations algériennes du cimentier égyptien Orascom

⁴⁹"Lafarge, une multinationale à la française" (Caillaud et al., Éditions Belin, 2003)

Cement. C'est dans ce cadre qu'en 2003, après des études de reconnaissance du gisement calcaire d'Aoud-Sma, le projet de la cimenterie CIBA (Ciment Blanc Algérie) à Oggaz fut autorisé. L'usine entra en production en 2007 pour le ciment blanc, suivie par le lancement du ciment gris en 2008.

En 2009, Lafarge devint l'unique propriétaire de CIBA, rebaptisée LCO (Lafarge Ciment Oggaz) en 2013. Après la fusion avec Holcim en 2015, LCO prit le nom de LafargeHolcim Ciment Oggaz.

Aujourd'hui, LafargeHolcim Algérie est le 2^{ème} producteur national de ciment avec deux cimenteries à M'sila et Oggaz, une participation dans CILAS à Biskra et la gestion de SCMI Meftah. Avec une capacité de production annuelle de 5,7 millions de tonnes, elle contribue fortement à répondre à la demande intérieure algérienne. Le groupe s'est engagé dans une stratégie de développement durable articulée autour des volets socio-économique et environnemental.⁵⁰

II.2 Contribution à la construction durable :

Face au défi de répondre à la demande mondiale croissante en logements et infrastructures d'ici 2050, tout en concevant des constructions plus durables, Lafarge concentre les deux tiers de son budget de R&D sur l'innovation dans la construction durable. Développer de nouveaux matériaux et imaginer des solutions constructives respectueuses de l'environnement constituent des axes prioritaires. L'enjeu primordial est de permettre un accès au logement décent pour tous, alors que 4 milliards de personnes en sont encore privées. Les chercheurs travaillent ainsi sur des solutions abordables et adaptées aux différents marchés.

Dans un contexte de pénurie de main-d'œuvre qualifiée, Lafarge a également mis au point des produits et solutions innovants permettant d'accélérer la cadence des chantiers, tout en visant une mise en œuvre simple, rapide et sûre. Un autre axe clé est l'amélioration de l'efficacité énergétique, par la réduction des consommations dans la fabrication mais aussi le développement de produits optimisant l'efficacité énergétique des bâtiments sur leur cycle de vie. Enfin, les efforts se concentrent sur l'accroissement des bénéfices environnementaux : réduction de l'empreinte carbone, optimisation de l'utilisation des ressources naturelles, préservation de l'eau, dans une optique de construction durable et de bien-être des utilisateurs.⁵¹

⁵⁰Article de presse (El Watan, 2019) : "LafargeHolcim Algérie, un leader engagé"

⁵¹Feuille de route développement durable Groupe LafargeHolcim (2030-2050)

II.3 Contribution à l'économie circulaire :

LafargeHolcim s'engage actuellement à réduire de 33 % les émissions de CO₂ par tonne de ciment comparativement à 1990. Cette démarche inclut la réduction de l'utilisation de combustibles fossiles et l'incorporation de coproduits industriels neutres en CO₂, tels que l'Ether, dans les ciments.

Le groupe vise désormais à utiliser 50 % de combustibles non fossiles, dont 30 % de biomasse, dans ses cimenteries. Cette transition vers des sources d'énergie alternatives a pour objectif de remplacer le gaz et le charbon par des combustibles alternatifs issus de pneumatiques usagés, de solvants, d'huiles, de cosses de riz ou de café, réduisant ainsi la consommation d'énergie.

LafargeHolcim projette également de produire 20 % de bétons intégrant des matériaux réutilisés ou recyclés. Cette initiative implique le remplacement des matières premières par des matériaux provenant de la démolition et de la déconstruction des bâtiments, contribuant à la préservation des ressources.

De plus, le Groupe LafargeHolcim Algérie ambitionne de développer ses activités en exportant 10 millions de tonnes de ciment gris (sous forme de clinker) en 2021, notamment vers l'Afrique de l'Ouest. Par ailleurs, il prévoit d'étendre son opération d'incinération des déchets à d'autres types de déchets tels que les déchets pétroliers, les huiles et les pneus, en accord avec la stratégie ministérielle visant à promouvoir une nouvelle filière de valorisation des déchets.⁵²

III Introduction à LAFARGE HOLCIM CIMENT OGGAZ (LCO) :

L'usine de ciment Oggaz, filiale du groupe LafargeHolcim Algérie, dispose de deux lignes de production, l'une dédiée au ciment gris et l'autre au ciment blanc. Une partie de sa production de ciment blanc, est exportée vers le pourtour méditerranéen, ainsi qu'au Brésil, en Angleterre et aux États-Unis. Ce ciment est utilisé dans des projets d'envergure, notamment pour la construction de la « Freedom Tower », édifice remplaçant les tours jumelles du World Trade Center à New York. Par ailleurs, l'usine exporte du ciment gris et du clinker vers l'Afrique de l'Ouest et le Cameroun, avec des volumes de 15 000 tonnes de ciment gris destinés à l'Afrique de l'Ouest et 25 000 tonnes de clinker gris vers le Cameroun.

⁵²Article sur l'économie circulaire chez LafargeHolcim (Environnement & Technique, 2022)

En tant que pionnière au niveau national, LCO se distingue comme la première cimenterie à incinérer des déchets, contribuant ainsi de manière significative à la préservation des ressources naturelles et au traitement des déchets.

III.1 Production

L'usine LCO est organisée en deux lignes de production distinctes, chacune dédiée à la fabrication d'un type spécifique de ciment :

III.1.1 Ligne de production de ciment gris :

Cette ligne comprend quatre départements essentiels :

III.1.1.1 Concasseur :

Étape initiale du processus de fabrication, où les matières premières telles que le calcaire et l'argile sont concassées en particules de taille appropriée.

III.1.1.2 Broyeur de farine crue :

Les matières premières concassées sont ensuite broyées en une fine poudre appelée farine crue, qui servira de matière première pour la fabrication du ciment.

III.1.1.3 Four :

La farine crue est introduite dans un four rotatif à haute température, où elle est chauffée à des températures extrêmement élevées, transformant ainsi les matières premières en clinker, le composant principal du ciment.



Figure III-1 : Four

III.1.1.4 Broyeurs de ciment gris :

Après refroidissement du clinker, il est broyé avec des additifs tels que le gypse pour produire du ciment gris fini.



Figure III-2 : Broyeurs de ciment gris

La capacité de production de cette ligne est impressionnante, atteignant environ 33 millions de tonnes de ciment gris par an. Le ciment gris est ensuite conditionné et disponible à la vente en sacs de 50 kg ainsi qu'en vrac, répondant ainsi aux besoins divers des clients et des projets de construction.

III.1.2 Ligne de production de ciment blanc :

Cette ligne englobe tous les départements nécessaires à la fabrication du ciment blanc :

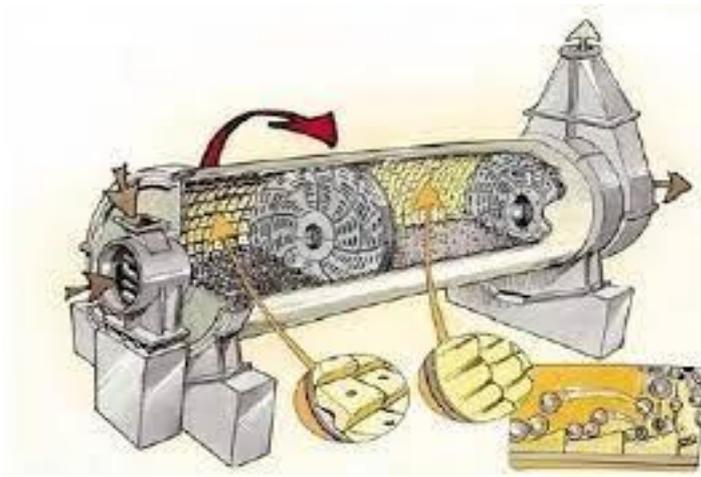


Figure III-3 : Ligne de production de ciment blanc

III.1.2.1 Concasseur :

De même que pour la ligne de ciment gris, le processus commence par le concassage des matières premières.

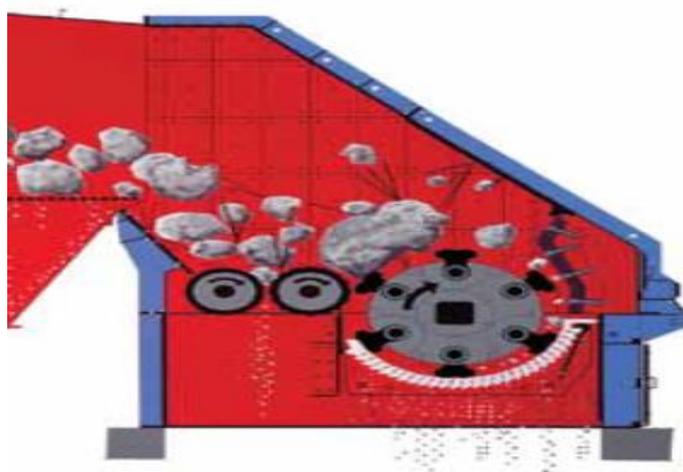


Figure III-4 : Concasseur

III.1.2.2 Broyeur de sable :

Les matières concassées sont ensuite broyées pour obtenir une finesse de particules appropriée.

III.1.2.3 Broyeur de farine crue :

Comme dans la ligne de ciment gris, les matières premières broyées sont transformées en farine crue.

III.1.2.4 Four :

Le processus de chauffage des matières premières pour obtenir du clinker est similaire à celui de la ligne de ciment gris.

III.1.2.5 Broyeur de ciment blanc :

Le clinker refroidi est broyé avec des additifs pour produire du ciment blanc fini.

Bien que la capacité de production de cette ligne soit inférieure, elle reste significative, atteignant environ 600000 tonnes de ciment blanc par an. Le ciment blanc est disponible à la vente en sacs de différentes tailles, ainsi qu'en vrac, offrant une flexibilité de choix aux clients en fonction de leurs besoins spécifiques.

III.2 La carte géographique de LCO :

La cimenterie Lafarge d'Oggaz occupe une position stratégique, située à environ 400 km à l'ouest d'Alger. Elle se trouve à proximité de plusieurs points d'intérêt majeurs : à environ 50 km d'Oran et à 37 km du port d'Arzew. De plus, elle est desservie par deux lignes d'énergie,

celle du gaz et celle de l'électricité, ce qui garantit un approvisionnement fiable en énergie pour ses opérations.

Géographiquement, la cimenterie d'Oggaz est implantée dans la daïra d'Oggaz, dans la partie nord de la wilaya de Mascara, à seulement 5 km à l'ouest de Sig. Elle est également située à proximité de la route nationale RN4 et de la ligne de chemin de fer reliant Alger à Oran, facilitant ainsi le transport des matériaux et des produits finis.

Cette localisation stratégique, à environ 50 km au sud-est d'Oran et à environ 420 km à l'ouest d'Alger, confère à la cimenterie d'Oggaz un accès privilégié aux principaux centres urbains et aux infrastructures de transport, favorisant ainsi ses activités commerciales et logistiques.

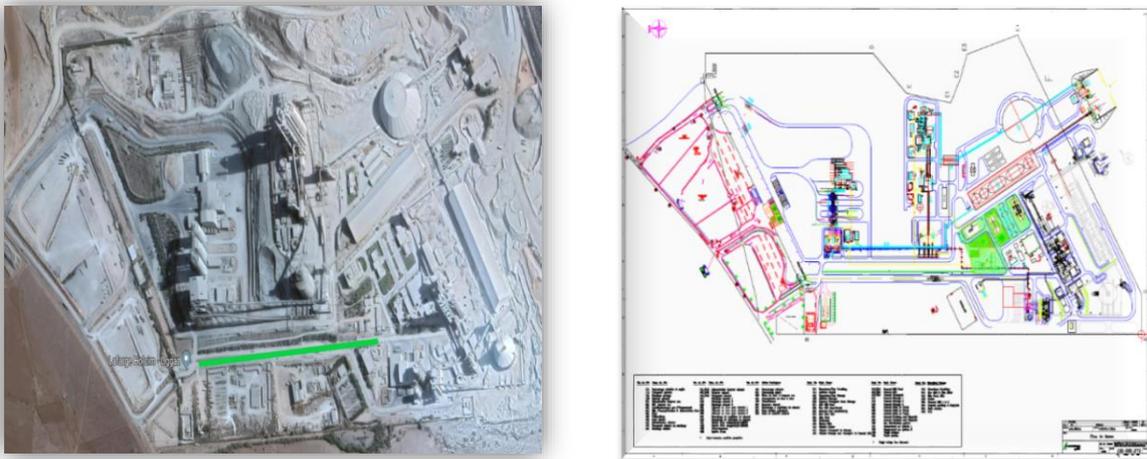


Figure III-5 : carte géographique

IV Projets Innovants de LafargeHolcim

IV.1 Dans le monde :

SEQENS, filiale du groupe Action Logement, et Holcim, leader mondial des matériaux de construction, collaborent pour réaliser une première mondiale : la construction d'un immeuble résidentiel à Gennevilliers (92) entièrement en béton recyclé. Ce projet innovant, nommé RECYGÉNIE, vise à repousser les limites de la valorisation des déchets dans la construction, combinant performances techniques, économie circulaire et respect de l'environnement. L'innovation réside dans l'utilisation exclusive de matériaux recyclés pour la composition du béton : clinker 100 % recyclé produit à Altkirch (68), granulats issus de déchets de démolition, y compris ceux de l'ancienne résidence Brenu, et eau recyclée en circuit fermé.

Bien que conforme aux normes, un Avis Technique Expérimental spécifique est soumis au CSTB pour approfondir les connaissances sur le comportement de ces nouveaux bétons.

Ce chantier s'inscrit dans la rénovation urbaine du quartier Brenu par la ville de Gennevilliers, impliquant la démolition de 166 logements sociaux et privés, et la construction d'environ 220 nouveaux logements, dont 70 sociaux. Les premiers coulages de béton 100 % recyclé commencent en avril 2023, avec une livraison prévue pour fin 2024. Cette réalisation pionnière, résultat d'un partenariat innovant mobilisant les expertises des deux groupes, marque une étape décisive vers une construction circulaire et durable, ouvrant la voie à une utilisation accrue de matériaux recyclés dans le secteur du bâtiment.⁵³

IV.2 en Algérie

IV.2.1 Introduction d'une Nouvelle Technique de Revêtement des Routes en Béton Compacté Routier (BCR)

À partir de 2018, LafargeHolcim Algérie a mis en place un programme de formation destiné au personnel des différentes directions des travaux publics de toutes les wilayas du pays. Dans le cadre de ce programme, le 23 avril 2018, LafargeHolcim Algérie a lancé une nouvelle technique innovante de revêtement des routes en béton compacté routier (BCR), en partenariat avec l'entreprise Razel. Cette solution novatrice vise à accélérer la construction des routes, à réduire les coûts et à minimiser l'impact environnemental.⁵⁴

IV.2.2 Innovation dans le Traitement des Déchets de Sonatrach Arzew

À partir de février 2018, LafargeHolcim Algérie a initié un nouveau contrat avec Sonatrach d'Arzew pour le traitement des déchets des hydrocarbures, tels que les boues et les huiles. L'objectif est de récupérer un maximum de gaz pour son utilisation dans l'injection dans le four de la cimenterie, contribuant ainsi à réduire les émissions et à améliorer l'efficacité énergétique. Ce projet revêt une dimension environnementale, commerciale et économique significative.⁵⁵

⁵³Communiqué de presse Holcim (03/2023) : "Un immeuble résidentiel 100% en béton recyclé, une première mondiale"

⁵⁴Communiqué LafargeHolcim Algérie (04/2018) annonçant le lancement de la technique BCR

⁵⁵Communiqué LafargeHolcim Algérie (02/2018) sur le nouveau contrat avec Sonatrach Arzew

IV.2.3 Quatrième Opération d'Exportation de Ciment

Le 17 avril 2018, LafargeHolcim Algérie a réalisé sa quatrième opération d'exportation de ciment depuis le port d'Arzew à destination de l'Afrique de l'Ouest. Cette initiative témoigne de l'engagement de l'entreprise à explorer de nouveaux marchés et à renforcer sa présence régionale, tout en contribuant au développement économique de la région.

"LafargeHolcim Algérie réaffirme son engagement inébranlable en faveur de la diversification des sources de revenus hors hydrocarbures à travers ces initiatives d'exportation continues. Ces opérations témoignent également de la reconnaissance croissante de la qualité du ciment algérien sur un marché international hautement concurrentiel. Cette déclaration a été communiquée par LafargeHolcim Algérie pour fournir ces informations."⁵⁶

V C'est quoi le ciment ?

Le ciment est un matériau essentiel dans l'industrie de la construction, caractérisé par sa composition soigneusement élaborée. Il est constitué principalement de clinker Portland, un produit obtenu par la cuisson à haute température d'un mélange de calcaire et d'argile, généralement à des températures comprises entre 1450 et 1500 degrés Celsius. Ce processus de cuisson donne naissance au clinker, qui est ensuite finement broyé pour former le ciment. Le clinker représente environ 75% de la masse totale du ciment, tandis que le reste est composé d'additifs, principalement du gypse, en faibles pourcentages, qui sont ajoutés pour ajuster la composition chimique de base et améliorer les propriétés du ciment.

Selon la norme NFP 15301, le ciment est défini comme une fine poudre inorganique qui, lorsqu'elle est mélangée avec de l'eau, forme une pâte qui durcit et prend. Le ciment Portland, le type le plus couramment utilisé, est spécifiquement constitué d'un mélange précis de clinker et de gypse. Cette combinaison confère au ciment Portland des propriétés de prise et de durcissement nécessaires pour la construction de divers ouvrages, des fondations aux structures complexes.⁵⁷

V.1 la composition chimique et minéralogique du ciment:

Le ciment est principalement constitué de silicates de calcium (C3S à 50-70% et C2S à 15-30%), d'aluminates de calcium (C3A à 5-10% et C4AF à 5-15%), avec du gypse (3-5%), de la

⁵⁶Dossier de presse LafargeHolcim Algérie (2018) sur les opérations d'export

⁵⁷ Norme NF EN 197-1 (AFNOR, 2012) - Ciment : Composition, spécifications et critères de conformité
Manuel du ciment (Edité par Lafarge, 2008) - Chapitre sur la composition du clinker et du ciment

chaux libre (<2%) et des oxydes alcalins (<1%) en proportions mineures. Sa composition chimique typique comprend 60-67% de chaux (CaO), 17-25% de silice (SiO₂), 3-8% d'alumine (Al₂O₃), 0,5-6% d'oxyde de fer (Fe₂O₃), jusqu'à 4% d'oxyde de magnésium (MgO), 1-3% de sulfate de calcium (CaSO₄) et 0,3-1,2% d'alcalins (Na₂O+0,658K₂O). Ce sont les proportions relatives de ces différentes phases minérales issues de la cuisson à très haute température d'un mélange de calcaire et d'argile qui confèrent au ciment ses propriétés fondamentales de résistance, de durabilité et de prise lors de l'hydratation.⁵⁸

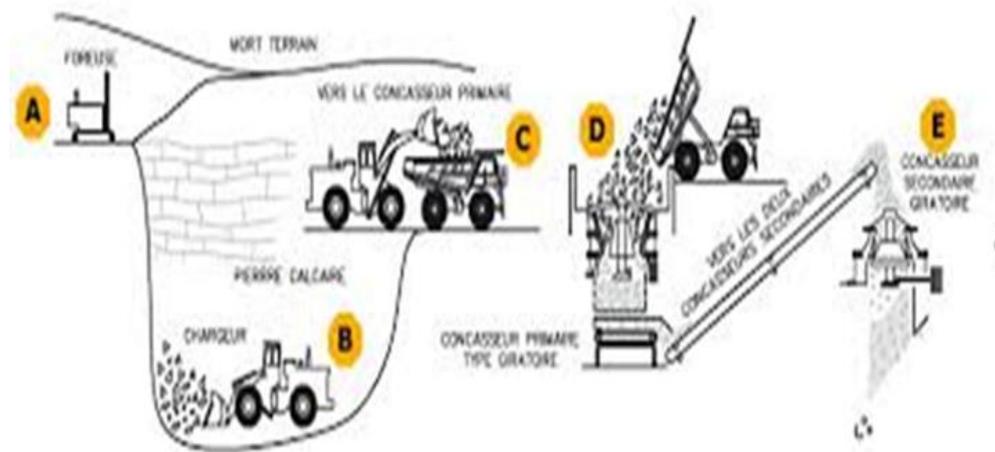


Figure III-6 : la composition chimique et minéralogique du ciment

V.2 Les étapes de la fabrication du ciment :

Chaque étape du processus de fabrication du ciment est essentielle pour garantir la qualité et la cohérence du produit final. Voici une explication détaillée de chaque point :

V.2.1 Extraction des Matières Premières :

Cette étape consiste à extraire le calcaire et l'argile des carrières à ciel ouvert à l'aide de méthodes d'abattage ou de ripage. Ces matières premières constituent la base du ciment.

V.2.2 Concassage :

⁵⁸Structure cristalline et réactivité des silicates de calcium (Scrivener et al., Progress in Cement Chemistry, 2018)

Une fois extraites, les matières premières sont concassées pour réduire leur taille à moins de 80 mm, facilitant ainsi le traitement ultérieur.

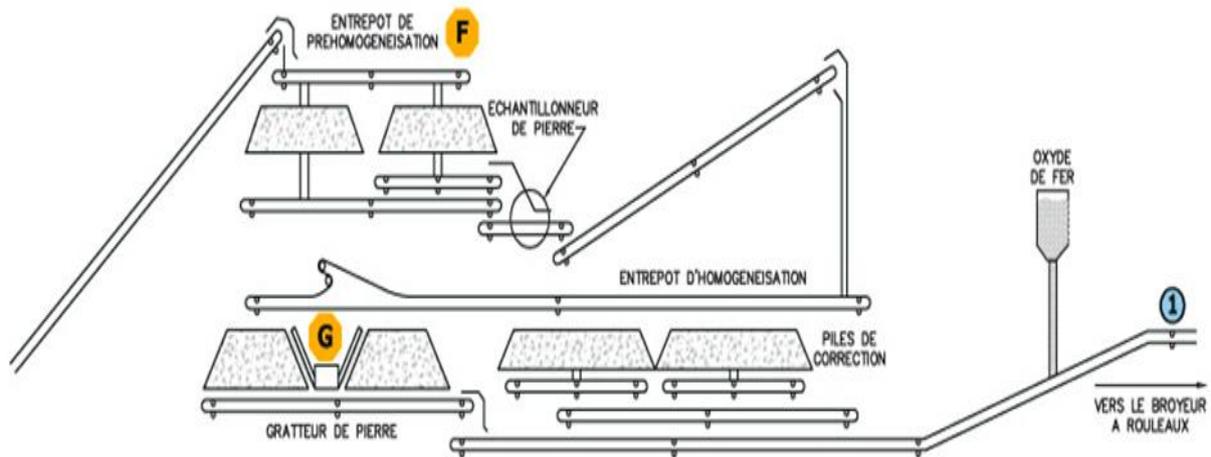


Figure III-7 : Concassage

V.2.3 Pré-homogénéisation :

Le calcaire et l'argile concassés sont soigneusement mélangés en couches horizontales superposées pour garantir un mélange homogène. Cela permet d'assurer une composition chimique uniforme dans le mélange.

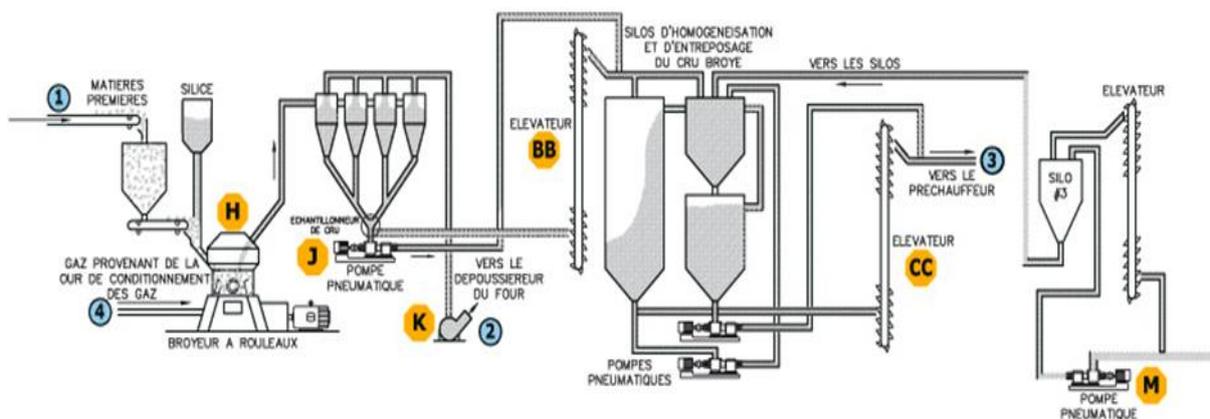


Figure III-8 : Pré-homogénéisation

V.2.4 Séchage et Broyage :

Les matières premières mélangées sont ensuite séchées et finement broyées dans des broyeurs à boulets ou à meules verticaux. Ce processus de broyage permet d'obtenir une poudre fine appelée "farine".

V.2.5 Cuisson dans un Four Rotatif :

La farine est introduite dans un four rotatif et soumise à une cuisson à haute température d'environ 1450°C. Cette étape permet de transformer les composants en clinker, une matière solide et cristalline.

V.2.6 Refroidissement du Clinker :

Une fois formé, le clinker est rapidement refroidi pour stabiliser sa structure et éviter la formation de phases indésirables.

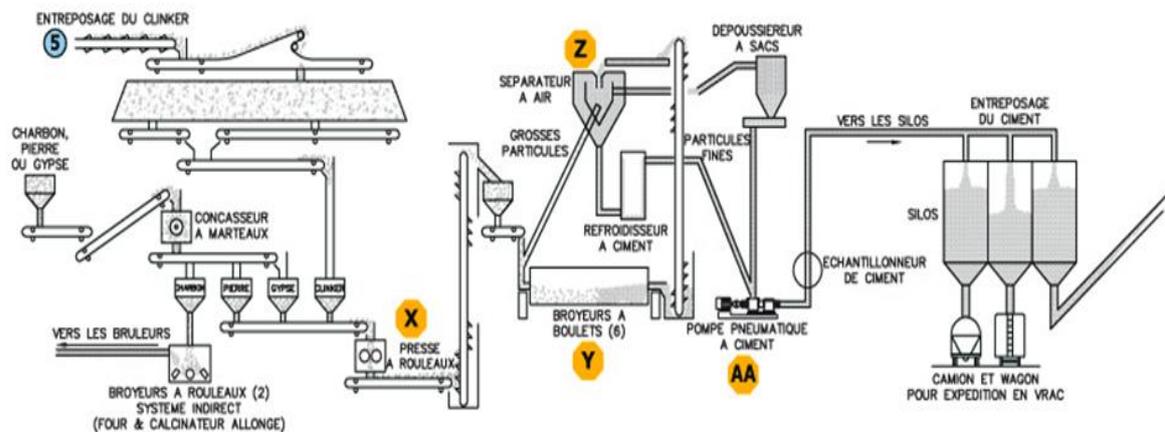


Figure III-9 : Refroidissement du Clinker

V.2.7 Broyage du Clinker :

Le clinker refroidi est ensuite finement broyé avec du gypse pour obtenir le ciment Portland. Le gypse est ajouté pour réguler le temps de prise du ciment.

V.2.8 Stockage et Conditionnement :

Enfin, le ciment produit est stocké dans des silos avant d'être conditionné en divers formats tels que vrac, sacs ou big bags, en fonction des besoins des clients. Ce processus de

conditionnement permet de préparer le ciment pour l'expédition et son utilisation ultérieure sur les chantiers de construction.

V.2.9 Expédition et livraison :

Après leur fabrication, les différents produits de ciment sont stockés dans des silos en attendant d'être expédiés. Environ 70% de la production est expédiée en vrac, tandis que les 30% restants sont conditionnés en sacs. Le ciment quitte l'usine soit en sacs, contenant généralement 25 ou 50 kg de ciment, soit en vrac. Le processus d'ensachage peut atteindre une capacité de 100 tonnes par heure. Les sacs sont ensuite dirigés vers des palettiseurs qui les disposent sur des palettes de 1500 kg, prêtes à être transportées par camion vers les différents points de vente ou les chantiers de construction.



Chamil ciment gris pour bétons courant e tous travaux de maçonnerie, destiné à la construction votre maison



Matine Ciment gris pour betons de haute performance destine a la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour batiments



Malaki Ciment blanc pour bétons de haute performance, destiné à la construction des ouvrages d'Art esthétiques et éléments décoratifs.

L'Ultra Haute Performance pour vos grands projets



Mokaouem est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé

Le liant pour tous travaux de maçonnerie et finition - CM 12.5 NA 5029

Figure III-10 : les diffirent produit de ciment

V.2.10 Contrôle qualité :

est le cœur névralgique de l'usine, où les opérateurs supervisent et dirigent les opérations à partir de leurs écrans affichant toutes les informations pertinentes. À chaque étape du processus de transformation des matières premières, des échantillons sont automatiquement prélevés et soumis à des analyses rigoureuses.

VI Les aspects environnementaux :

Les aspects environnementaux se réfèrent aux éléments des activités, produits ou services d'une organisation qui ont le potentiel de perturber l'équilibre écologique. Parmi ces aspects, ceux susceptibles de causer des altérations significatives dans l'environnement sont qualifiés d'Aspects Environnementaux Significatifs (AES).

Pour identifier les AES, l'entreprise doit suivre une série d'étapes :

Recenser tous les éléments de ses activités, produits ou services pouvant influencer sur l'environnement.

Évaluer la sensibilité du milieu environnemental concerné, en considérant sa capacité à se régénérer après une perturbation. Par exemple, un écosystème marin est généralement plus sensible qu'un sol imperméable.

Estimer la fréquence probable des incidents environnementaux, allant des émissions continues de poussières à des événements de pollution ponctuels.

Analyser la capacité de l'entreprise à prévenir et à gérer ces risques environnementaux par le biais de mesures de prévention, de protection et de formation.

Calculer une criticité pour chaque aspect environnemental identifié, en prenant en compte ces différentes variables. Cette évaluation de la criticité peut varier de 1 à 256, en fonction de l'importance du risque de pollution.

VI.1 Défis écologiques :

Les défis écologiques associés à l'industrie cimentière sont significatifs, notamment en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre (GES), tel que le dioxyde de carbone (CO₂). Ces émissions sont principalement liées aux besoins en énergie calorifique et au processus de fabrication du ciment. La quantité de CO₂ émise par les installations dépend de leur consommation énergétique, avec des émissions variant entre 300 et 500 kg de CO₂ par tonne

de clinker pour tous types de combustibles utilisés. Ces chiffres peuvent varier entre 130 kg et 500 kg de CO₂ par tonne de clinker si l'on exclut les émissions provenant de l'incinération des déchets et de l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie.

VII Les différents déchets générés par Lafarge Holcim et Son impact sur l'environnement:

VII.1 Poussières des filtres à air des fours de cimenterie :

Ces poussières contiennent principalement des oxydes métalliques comme la silice, l'alumine, l'oxyde de fer ainsi que de la chaux. Elles peuvent être partiellement recyclées dans le procédé de fabrication du ciment mais les excédents doivent être éliminés dans des décharges spécifiques ou valorisés dans d'autres processus industriels.

VII.2 Boues des stations d'épuration :

Ces boues résiduaires concentrent les polluants présents dans les eaux usées industrielles comme les métaux lourds (plomb, chrome, mercure etc.), les hydrocarbures et autres composés organiques. Elles sont généralement enfouies dans des sites contrôlés après stabilisation ou inertage si nécessaire. Une valorisation énergétique peut aussi être envisagée après séchage.

VII.3 Déchets de démolition/déconstruction :

Il s'agit de gravats, béton concassé, briques, plastiques, bois... issus des chantiers de démolition et des plateformes de recyclage. Les fractions inertes sont souvent réemployées en remblais ou sous-couches routières tandis que les déchets non inertes suivent une filière de traitement spécifique.

VII.4 Huiles usagées :

Les huiles moteurs, de transmission, hydrauliques etc. sont collectées séparément pour être régénérées par des entreprises spécialisées ou utilisées comme combustibles de substitution.

Déchets métalliques :

Les ferrailles, tôles, câbles... sont généralement valorisés en les fondant pour produire de nouvelles pièces métalliques.

VII.5 Déchets d'emballages :

Les sacs en papier/plastique et les palettes bois/plastique sont dans l'idéal recyclés. Les films plastiques peuvent aussi être valorisés énergétiquement dans les fours de cimenterie.

VII.6 Combustibles de substitution résiduels :

L'utilisation de pneus usagés, plastiques, biomasse... comme combustibles dans les fours cimentiers génère des cendres et mâchefers qui doivent être éliminés de façon appropriée compte tenu de leur composition.

VII.7 Déchets ménagers assimilés :

- Papiers et cartons issus des bureaux et zones de travail : Il s'agit des déchets banals similaires à ceux des ménages, générés par l'activité administrative et les espaces communs (salle de pause, etc.). Bien que d'origine industrielle, ils peuvent être collectés et traités avec les ordures ménagères classiques.

VII.8 Déchets industriels spéciaux (DIS) :

- Déchets caoutchouteux et pneumatiques : Issus de la maintenance des engins et véhicules, ces déchets de caoutchouc comme les pneus usagés nécessitent une filière de traitement spécifique en raison de leur composition.

- Filtres à manches usagés : Il s'agit des filtres en tissu utilisés pour dépoussiérer les émissions des fours et autres équipements. Leur composition les classe parmi les DIS.

- Ferrailles et autres déchets métalliques ferreux : Pièces métalliques, tôles, câbles... issus de l'usure et du remplacement d'équipements. Peuvent être recyclés dans la filière des déchets métalliques ferreux.

- Déchets de métaux non ferreux : Certaines pièces d'équipement peuvent contenir des métaux non ferreux (aluminium, cuivre, etc.) qui doivent suivre une filière de recyclage dédiée.

VII.9 Déchets industriels spéciaux dangereux :

- Déchets présentant des risques particuliers : Tous les déchets industriels contenant des substances dangereuses (corrosives, explosives, toxiques, inflammables, cancérogènes, etc.) sont considérés comme dangereux.

- Exemples : huiles usagées, solvants, peintures, batteries, déchets d'amiante, etc.

- Nécessitent des filières spécifiques de collecte, transport, traitement et élimination en installations agréées, afin d'éviter tout risque de contamination de l'environnement ou d'atteinte à la santé

Le tri, le conditionnement et l'acheminement vers les filières adaptées sont primordiaux pour cette catégorie de déchets industriels spéciaux dangereux, très réglementée.

Voici un paragraphe expliquant la gestion des rejets de matières dans l'industrie du ciment comme Lafarge:

VII.10 Rejets de matières

La fabrication du ciment génère inévitablement divers rejets de matières à différentes étapes du processus. Il peut s'agir de résidus de broyage de la matière première crue, de clinker non conforme, de farine polluée, de sacs de ciment déchirés ou encore de poussières collectées par les systèmes de dépoussiérage. Si ces rejets ne sont pas gérés correctement, ils risquent d'engendrer une contamination environnementale sur le site de production et ses abords. C'est pourquoi Lafarge met en œuvre des procédures rigoureuses pour assurer leur traitement dans le respect des normes. Certains rejets inertes peuvent être recyclés en boucle et réintégrés au processus de fabrication. Pour les rejets plus problématiques, le groupe fait appel à des prestataires agréés spécialisés dans leur collecte, leur transport et leur élimination dans des installations appropriées. Dans certains cas, un retour vers les fournisseurs initiaux peut aussi être organisé afin qu'ils procèdent eux-mêmes au retraitement de ces matières avant réutilisation. Une gestion minutieuse et traçable des flux de rejets est essentielle pour prévenir tout risque de contamination accidentelle des sols, des eaux et de l'air sur et autour des sites de production.

VII.11 Rejets Liquides :

Les eaux de processus sont maintenues en circuit fermé, à l'exception des eaux purgées du système, qui sont dirigées vers le réseau de traitement des eaux résiduaires domestiques de l'usine. Ces eaux purgées subissent un processus de traitement incluant l'addition d'additifs et l'élimination des boues dans une unité de traitement des eaux usées sur le site. Une fois traitée conformément aux normes algériennes, l'eau est soit réutilisée pour l'irrigation soit réintroduite dans le processus.

VII.11.1 Consommation d'eau :

Selon les données fournies par LCO, la quantité d'eau disponible pendant la phase de production est jugée adéquate pour les besoins du processus, tels que le refroidissement du système et la préparation du cru, ainsi que pour les besoins quotidiens tels que le lavage et le nettoyage. La consommation d'eau estimée est d'environ 3500 m³ par jour, la majorité étant utilisée pour le refroidissement.

VII.11.2 Produits chimiques :

Les produits chimiques ne sont pas seulement impliqués dans le processus de fabrication du ciment lui-même, mais jouent également un rôle important dans les opérations associées de contrôle de la qualité et de traitement de l'eau. En laboratoire, de petites quantités de divers produits chimiques tels que des acides (fluorhydrate, acide chlorhydrique, acide sulfurique, acide nitrique, acide acétique, acide perchlorique), des bases (hydroxyde de sodium, potassium), des sels (nitrate d'ammonium, chlorure d'ammonium, acide carbonique), l'oxalate d'ammonium) et même l'éthanol absolu sont régulièrement traités au cours de procédures d'analyse et de test standardisées. De plus, le traitement des eaux industrielles sur site nécessite l'utilisation de réactifs chimiques spécifiques pour garantir leur purification avant rejet. Même si la quantité est limitée.⁵⁹

VIII. Gestion des déchets (geocycle) :

Depuis plus de 30 ans, Geocycle propose aux acteurs industriels et du BTP des solutions opérationnelles et flexibles pour la gestion des déchets., une entité entièrement dédiée à l'économie circulaire, marque une nouvelle étape dans cette démarche. Réparties sur tout le territoire, les équipes de Geocycle offrent aux acteurs du secteur une solution globale pour le traitement et la valorisation des déchets inertes et non inertes (dangereux et non dangereux), contribuant à créer des circuits locaux durables d'évacuation et de traitement des déchets.⁶⁰

L'offre de Geocycle se divise en deux axes principaux :

- Le co-processing (co-traitement)
- La gestion et le traitement des déchets minéraux du BTP

⁵⁹Rapport de développement durable de LafargeHolcim Algérie (2022)

⁶⁰Article de presse (Le Moniteur, 2023) : "Geocycle, la filiale déchets de LafargeHolcim, accélère sur l'économie circulaire"

VIII.1 Le co-processing :

Le co-traitement des déchets dans l'industrie du ciment permet de remplacer au maximum les matières non renouvelables. Les déchets acceptés comme combustibles alternatifs ou matières premières doivent apporter une valeur ajoutée au four à ciment, en termes de valeur calorifique pour la partie organique et de valeur matérielle pour la partie minérale. De nombreux matériaux alternatifs satisfont souvent ces deux critères, rendant difficile l'établissement de critères généraux pour les déchets co-traités dans l'industrie du ciment.

En raison des caractéristiques de son processus de production, l'industrie du ciment peut co-traiter :

- En tant qu'énergies alternatives, les déchets ayant une valeur calorifique (par exemple, les huiles usagées) ;
- En tant que matières premières alternatives, les déchets dont les composants minéraux sont appropriés pour la production de clinker ou de ciment (par exemple, les sols contaminés) ;
- Les déchets ayant à la fois une valeur calorifique et des composants minéraux (par exemple, les boues de papier, les pneus usagés).

Cependant, la destruction sans récupération peut aussi être réalisée dans les fours à ciment.

Plusieurs facteurs doivent être pris en considération: la composition chimique du produit final (ciment) ainsi que l'impact environnemental du processus de production de ciment. Les déchets qui ne conviennent pas au co-traitement dans l'industrie du ciment sont : les déchets nucléaires, les déchets médicaux infectieux, les batteries entières et les déchets municipaux non séparés,

Un système de contrôle qualité adéquat est strictement respecté pour tous les entrants utilisés. Ceci permet la garantie d'un co-traitement écologique, sûr et rationnel, en préservant :

- La santé et la sécurité des travailleurs de l'usine et les voisinages ;
- L'impact environnemental du processus de production ;
- La bonne qualité du produit final ;
- Le fonctionnement correct et non perturbé du processus de production

VIII.1 Principes directeurs relatif au co-processing

VIII.1.1 Principe général :

Respecter la hiérarchie des déchets et l'économie circulaire:

- Le co-processing doit respecter la hiérarchie des déchets et ne doit donc pas entraver la réduction, la réutilisation et le recyclage des déchets.
- Le co-processing est considéré comme une partie intégrante de la gestion moderne des déchets, car il constitue une solution écologiquement rationnelle pour le recyclage des minéraux et la valorisation énergétique.
- Le co-processing peut être considéré comme une contribution à l'économie circulaire en réduisant l'utilisation de combustibles fossiles et de matières premières primaires, tout en assurant des cycles de matériaux propres par l'élimination des substances nocives.

VIII.1.2 Principes de mise en œuvre

❖ *Cadre juridique et institutionnel:*

- Le respect de toutes les lois et réglementations en vigueur doit être assuré.
- Le co-processing doit être conforme aux accords internationaux pertinents (par exemple, les conventions de Bâle et de Stockholm).
- Une surveillance efficace exercée par un organisme qualifié de réglementation de l'environnement doté d'une capacité institutionnelle suffisante doit être assurée.
- Les exigences et les besoins propres à chaque pays doivent être pris en compte dans les règlements et les procédures.
- Si un cadre juridique local pour le co-processing n'existe pas et/ou n'est pas cohérent, les bonnes pratiques internationales sont appliquées et le renforcement des capacités requises ainsi que la mise en place d'arrangements institutionnels sont assurés.

❖ *Environnement:*

- Les émissions supplémentaires et les autres effets négatifs sur l'environnement sont évités ou maintenus au minimum.
- Les émissions dans l'air et dans l'eau provenant du co-processing ne doivent pas être plus élevées que celles provenant de la production de ciment sans co-processing.

- Les produits à base de ciment (béton, mortier) ne doivent pas servir de puits pour les éléments potentiellement toxiques (par exemple les métaux lourds).

❖ *Exploitation et contrôle de la qualité :*

- Seuls les flux de déchets appropriés doivent être sélectionnés. Ces produits doivent subir un traitement préalable afin d'assurer le contrôle de la qualité, une manutention appropriée et un fonctionnement stable du four pendant le co-processing.
- Les entreprises actives dans le traitement préalable et le co-processing doivent être qualifiées. Elles assurent le contrôle et la surveillance continus des intrants et des paramètres pertinents de leurs procédés de production.
- La qualité des produits à base de ciment (béton, mortier) reste inchangée.

❖ *Santé et sécurité :*

- Les entreprises actives dans le co-processing doivent mettre en place des contrôles de risques appropriés afin d'assurer des conditions de travail saines et sûres aux employés et aux entrepreneurs.
- Les entreprises doivent disposer d'un bon historique en matière de conformité en termes de sécurité ainsi que d'un personnel, de processus et de systèmes engagés à protéger la santé et la sécurité.

❖ *Inclusion et engagement :*

- Les entreprises actives dans le co-processing s'engagent régulièrement et communiquent de manière transparente avec le public, les autorités compétentes et les autres parties prenantes.
- Les besoins nationaux et locaux ainsi que les différents contextes culturels doivent être pris en compte lors de la mise en œuvre du co-processing.
- Les entreprises actives dans le co-processing doivent consulter et collaborer avec les acteurs de la chaîne de valeur locale existante de la gestion des déchets, y compris les travailleurs informels du secteur des déchets.

❖ *Économique et financier :*

- Les projets de co-processing doivent être basés sur un modèle d'entreprise financièrement viable, apportant une valeur ajoutée à toutes les parties prenantes et aux communautés locales concernées.

- Des mécanismes de financement sont en place pour garantir que le financement des interventions soit couvert à moyen et long terme.

Mise en œuvre

- Des systèmes de surveillance et de vérification doivent être en place pour permettre une mise en œuvre réussie.
- Le renforcement des capacités et la formation à tous les niveaux sont essentiels.

VIII.1.3 Les avantages du co-processing:

- Décomposition complète des déchets dans le procédé à très haute température et long temps de résidence
- Valorisation énergétique et recyclages de la fraction minérale des déchets
- Aucun résidu n'est généré
- Participe à la conservation des ressources naturelles
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Solution locale de gestion des déchets
- Économiquement compétitive
- Partie intégrante d'économie circulaire

VIII.1.4 Relation dynamique entre recyclage et co-processing

La recyclabilité ne se limite pas à un aspect technique, elle revêt également une dimension industrielle et économique. Dans de nombreuses situations, le recyclage en circuit fermé n'est pas viable, et parfois, les chaînes de valeur locales ne sont pas assez robustes pour absorber toutes les matières recyclables. Cela peut être dû à divers facteurs tels que l'absence de niveaux inférieurs dans la chaîne de valeur, le manque de connaissances en marketing des entités publiques, ou encore les fluctuations du marché. Les obstacles techniques au recyclage des déchets solides municipaux comprennent les petits formats d'emballage, la contamination par des matières organiques, les emballages multimatériaux, entre autres. Dans de telles situations, l'intégration des matières dans les combustibles et les matières premières de substitution pourrait être préférable à l'élimination ou au stockage à long terme. Il est donc essentiel que les autorités responsables des déchets, les exploitants d'installations de prétraitement et les cimenteries engagées dans le co-processing collaborent pour prendre des

décisions et diriger les matières vers les processus appropriés. Cette approche dynamique en temps réel renforce la valeur du prétraitement et du co-processing dans la gestion des déchets, tout en favorisant le développement d'avantages partagés pour toutes les parties prenantes de la chaîne de valeur locale. Ainsi, il est crucial de concevoir ou d'adapter les lignes et les installations de prétraitement pour pouvoir traiter différemment les matières recyclables selon les besoins, afin de maintenir une synergie entre le recyclage et le co-processing.

VIII.1.5 Prétraitement du Déchet à la Ressource

La majorité des flux de déchets présentent une composition chimique et des propriétés physiques trop variées pour pouvoir être traités directement dans la cimenterie. Il est nécessaire de les transformer en un CMS homogène lors d'un premier traitement, connu sous le nom de prétraitement, afin de satisfaire aux exigences environnementales et opérationnelles de la cimenterie. Différentes opérations de transformation sont réalisées dans les installations de prétraitement, comme la séparation/tri, le mélange/homogénéisation, la réduction granulométrique (déchiquetage ou broyage) et le séchage.

En général, les déchets solides sont traités de manière mécanique ou mécano-biologique afin de générer des produits solides (comme le combustible solide de récupération (CSR)). L'installation de prétraitement ne permet d'améliorer l'alimentation que par un traitement mécanique, principalement par la réduction granulométrique et l'élimination des matières inertes incombustibles (pierres, verre, métaux, etc.). Le schéma 7 ci-dessous présente une méthode de traitement mécanique qui comprend un broyeur principal, un séparateur gravimétrique (windshifter) et un broyeur secondaire.

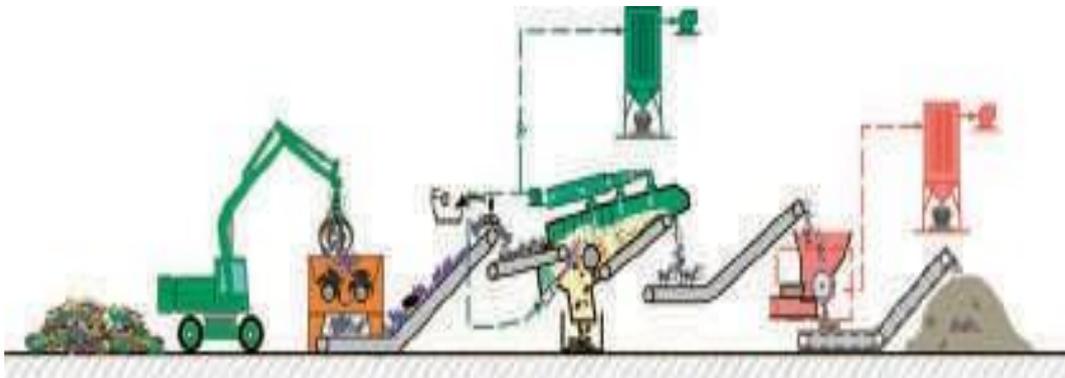


Figure III-11 : Traitement mécanique (broyage en deux étapes) pour la production de combustibles solides de substitution (Geocycle)

Si des quantités importantes de matières biodégradables sont également présentes dans les déchets solides, il est possible d'utiliser un traitement mécano-biologique combiné (TMB). Le traitement biologique implique une dégradation partielle aérobie exothermique de la fraction des déchets organiques par l'action de l'air. En général, les méthodes biologiques employées pour produire du CS solide reposent sur une aération forcée, ce qui entraîne une diminution de l'humidité (bio-séchage) et une réduction des odeurs grâce à une stabilisation biologique (Velis et al., 2009). Dans certaines situations, on procède également à un séchage thermique du CMS solide afin d'accroître encore son pouvoir calorifique. L'utilisation de la chaleur résiduelle du four à ciment ou de l'énergie solaire est préférée pour les procédés de séchage thermique.⁶¹

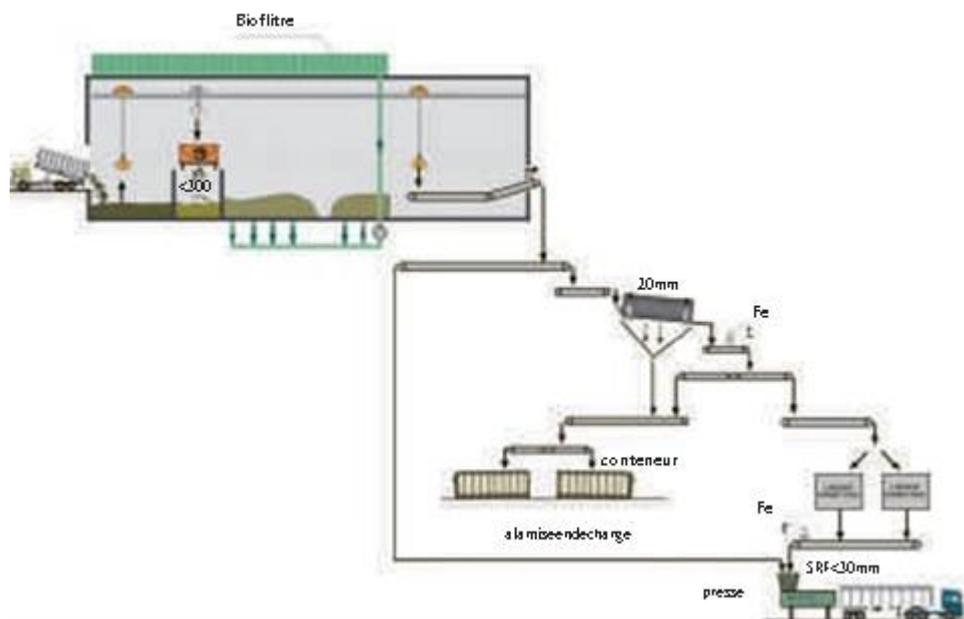


Figure III-12 : Traitement mécano-biologique pour la production de CS solide

VIII.1.6 Hiérarchie des déchets

Les décideurs politiques ont largement adopté la hiérarchie des déchets comme cadre mondial pour la conception de systèmes de gestion des déchets, en prenant en considération la gestion des ressources et les aspects environnementaux et financiers. La hiérarchie des déchets est utilisée dans le cadre des présentes Directives pour mettre en évidence l'importance du

⁶¹Bonnes pratiques de prétraitement pour le co-processing en cimenterie (WBCSD/Geocycle, 2020)

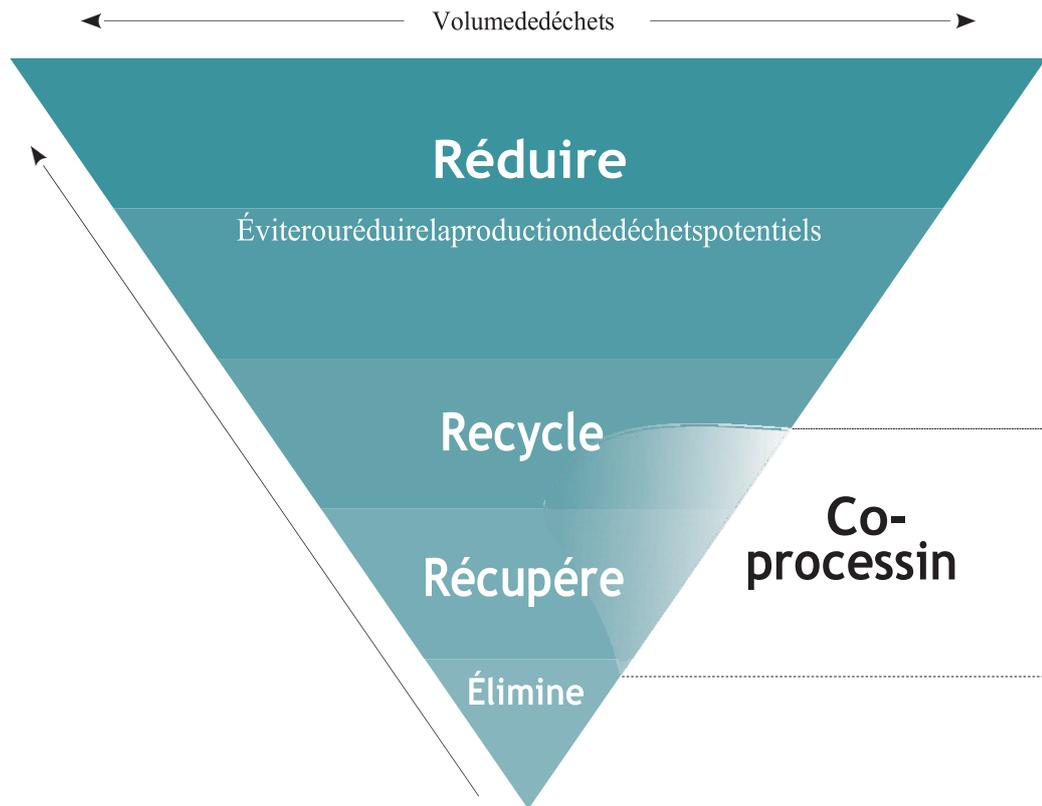
État de l'art du prétraitement des CSR (ADEME, 2015)

Technologies de prétraitement des déchets pour une économie circulaire (Velis et al., Waste Management, 2013)

prétraitement et du co-traitement par rapport aux autres options de gestion des déchets. En grande partie, la hiérarchie des déchets est définie selon la Directive-cadre européenne sur les déchets (CE, 2008) :

- En ce qui concerne la réutilisation, on entend toute opération qui consiste à réutiliser des produits ou des composants aux mêmes fins que celles pour lesquelles ils ont été fabriqués initialement.
- Par recyclage, l'on entend toute opération par laquelle des déchets sont retraités en produits, matériaux ou substances, que ce soit à des fins originales (boucle fermée) ou autres (boucle ouverte). Le prétraitement peut améliorer la collecte et le tri des matériaux à recycler, tandis que le co-processing, recycle la teneur en minéraux (Ca, Al, Fe, Si) des déchets en vue de la production de ciment.
- La valorisation englobe toute activité dont l'objectif principal est d'utiliser les déchets comme une ressource utile en remplaçant d'autres matières, y compris les combustibles. Le co-brevessive offre la possibilité ou de récupérer l'énergie thermique des déchets dans le four à ciment en remplacement des combustibles traditionnels.
- La solution la moins désirée est l'élimination. Il est recommandé d'utiliser l'élimination contrôlée (décharge sanitaire, incinération sans récupération d'énergie ou avec récupération d'énergie limitée) uniquement pour les déchets qui ne peuvent pas être gérés par aucune des options de gestion des déchets mentionnées précédemment. Il est essentiel d'éviter l'élimination incontrôlée (déversement, brûlage à ciel ouvert) car elle représente une menace importante pour l'environnement et la santé humaine. Le co-processus est également une solution écologiquement et financièrement viable pour éliminer certains déchets dangereux (pesticides, PCB, etc.), pour lesquels le recyclage et la valorisation ne sont pas envisageables.⁶²

⁶²Directive 2008/98/CE de l'Union Européenne relative aux déchets (Directive-cadre déchets)



FigureIII-13 : Hiérarchie de la gestion des déchets

VIII.1.7 Expérience algérienne dans le co-processing des déchets en cimenterie

Une nouvelle filière de valorisation et de traitement des déchets en Algérie se construit sur une vision de développement durable et d'économie circulaire.

La première opération de co-traitement en Algérie, a vu le jour à dans la cimenterie en 2014 au niveau de la cimenterie Lafarge Ciment Oggaz, dans la wilaya de Mascara.

À travers un projet sous l'égide du ministère de l'Environnement Algérien, un projet qui a permis la naissance d'un nouveau concept environnemental en Algérie.

Une démarche s'inscrit dans le cadre de la stratégie impulsée par le ministère visant le développement d'une nouvelle filière de valorisation des déchets.

IX. Renforcer l'Efficacité de la Gestion des Déchets

L'amélioration de la gestion des déchets est un enjeu crucial pour la farge . Avec l'augmentation continue de la production de déchets, il est impératif d'accélérer notre capacité à les gérer de manière efficace et durable. Cela nécessite non seulement des systèmes robustes de collecte et de traitement des déchets, mais également des investissements significatifs dans les technologies de gestion des déchets est les convention . Pour objectif de traiter +6000 tonnes en 2022

IX.1 Les investissements :

IX.1.1 Investissement atelier stockage et pre-traitement a la carrière (+30 mdzd) :

- Sols contaminés
- Engrais
- Produits isolants (Polyuréthane, Laine de roche, Laine de verre)



Figure III-14 : CARRIÈRE

IX.1.2 Investissement dans une installation des déchets liquides et pâteux (+300 mdzd) :

- Boues hydrocarbures,
- Solvants, Peintures,
- Boues de STEP, etc

IX.1.3 Investissement installation "geochute" pour les déchets solides emballés (+40 mdzd):

- Médicaments périmés
- Déchets de laboratoires
- Produits cosmétiques

IX.1.4 Dupliquer les investissements réalisés à Oggaz sur les autres sites de m'sila et biskra avant fin 2023 (+80 mdzd) :

- 2 nouvelles Géo chutes installés pour se rapprocher des générateurs de déchets⁶³

IX.2 Les Convention :

IX.2.1 Avec Tosyali :

Un partenariat pionnier en matière d'économie circulaire a été officialisé le 18 mai 2024 entre LafargeHolcim Algérie et le groupe sidérurgique Tosyali, lors d'une cérémonie sur le site cimentier de Oggaz . Cet accord vise à mettre en place une boucle vertueuse de valorisation des déchets métalliques industriels.

Dans le cadre de ce partenariat, le complexe sidérurgique de Tosyali implanté à Bethioua (wilaya d'Oran) fournira à l'usine LafargeHolcim de Oggaz les résidus ferreux extraits de ses carrières de minerai de fer. Ces déchets métalliques seront alors réintroduits dans le processus de fabrication du ciment en tant que charges ferreuses, en substitution partielle aux matières premières ferrugineuses traditionnellement issues de l'extraction minière.

Cette initiative pionnière s'inscrit pleinement dans le paradigme d'une économie circulaire vertueuse et d'un développement industriel durable. Elle permettra non seulement de valoriser un déchet industriel local, mais aussi de réduire substantiellement la consommation de ressources naturelles non renouvelables. Une opportunité majeure au regard de la raréfaction progressive des gisements métallifères à l'échelle nationale. D'un point de vue environnemental, le réemploi de ces déchets ferreux en substitution des minerais extraits

⁶³ Communiqué de presse de LafargeHolcim Algérie (2023) sur les nouveaux investissements dans le traitement des déchets industriels

Article technique dans la Revue des Ciments Algériens (n°3, 2023) : "Co-valorisation des boues industrielles comme combustibles alternatifs"

engendrera des gains notables en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'atténuation des impacts sur les écosystèmes naturels.⁶⁴

IX.2.2 Avec Société Générale Algérie :

Une convention de financement en Algérie été signée entre Société Générale Algérie et le groupe LafargeHolcim Algérie. Ce crédit d'une valeur de 1,4 milliard de dinars algériens constitue une avancée pionnière en matière de financement durable dans le pays.

La particularité de cet accord réside en effet dans son mécanisme de bonus-malus lié aux objectifs climatiques de LafargeHolcim Algérie. Il s'agit d'une structure de crédit adossée à un objectif environnemental de réduction des émissions de gaz à effet de serre, plus particulièrement en termes d'intensité carbone. La réalisation de cet objectif sera mesurée au moyen d'un indicateur clé de performance prédéfini, relatif aux activités productives de la filiale LCM (Lafarge Ciment de M'sila).

Pour Holcim, groupe auquel appartient LafargeHolcim Algérie, ce financement s'inscrit pleinement dans le plan de développement de sa stratégie de croissance durable. Le groupe s'est en effet fixé pour cible d'atteindre, d'ici 2025, plus de 40% d'accords de financement liés à des objectifs de durabilité environnementale et sociale. Cette nouvelle convention financière avec Société Générale Algérie constitue ainsi une étape supplémentaire vers la concrétisation de ces engagements.⁶⁵

⁶⁴Article de presse algérien sur l'accord (El Watan, 19/05/2024) : "LafargeHolcim et Tosyali scellent un partenariat pour l'économie circulaire"

⁶⁵Communiqué de presse de LafargeHolcim Algérie (mai 2024) : "Prêt vert de 1,4 milliard DA accordé par Société Générale Algérie"

CHAPITRE 04

Recommandations et résultat

I. Introduction

La gestion des déchets industriels en Algérie représente aujourd'hui défi majeur, exacerbé par le développement rapide des industries polluantes dans le pays. Pour répondre problématique, l'intégration des technologies d'Internet des Objets (IoT) dans la gestion des déchets est désormais perçue comme une nécessité. Ces technologies intelligentes offrent des solutions innovantes pour optimiser la collecte, le tri et le recyclage des déchets industriels, contribuant ainsi à une gestion plus efficace et durable dans un contexte de croissance industrielle accélérée.

Les déchets industriels jetés de manière inappropriée posent r des risques environnementaux et économiques significatifs, soulignant l'importance du recyclage. Pour encourager cette pratique, le gouvernement algérien a mis en place la Loi sur l'investissement n° 16-09 du 3 août 2016, qui offre des avantages et des facilités aux investisseurs dans les secteurs de la protection de l'environnement et des énergies renouvelables. Cette législation reflète l'engagement de l'Algérie à promouvoir des solutions durables, comme le recyclage, pour atténuer les impacts négatifs des déchets industriels tout en stimulant l'économie verte.

Pendant notre stage, nous avons observé que Lafarge avait établi des partenariats stratégiques avec plusieurs entreprises pour le transfert de leurs déchets industriels vers L'innovation réside dans l'intégration de ces déchets dans le processus au sein du processus de co-traitement de Lafarge, où ils sont transformés en matières premières pour sa production.les transformant en matières premières pour sa production. Cette approche illustre parfaitement incarne l'adage : "*Le Déchet De Quelqu'un Est Le Trésor De L'autre*". Elle démontre comment une gestion créative des déchets peut à la fois simultanément réduire l'impact environnemental et optimiser les ressources industrielles.

Une communication efficace entre les industries peut considérablement faciliter le transfert des déchets recyclables d'une usine à une autre. Cette interconnexion permet une identification rapide des déchets d'une entreprise pouvant devenir des matières premières pour une autre.

Notre proposition vise à établir une entreprise spécialisée dans la gestion intelligente des déchets, centrée sur une application informatique appelée "Waste Market". Cette plateforme novatrice simplifie le marché d'achat et de vente des déchets industriels, en connectant les producteurs de déchets avec les entreprises de recyclage. L'application se concentre

principalement sur le co-traitement comme méthode de recyclage, transformant les déchets en ressources valorisables. Pour valider ce concept, nous avons choisi Lafarge comme projet pilote

théorique en raison de son expertise dans l'intégration des déchets d'autres entreprises dans ses processus de production.

II. Définition de l'entreprise :

Une entreprise est une entité ou une entité dont l'objectif est de fabriquer et de proposer des produits ou des services à un groupe de clients ou d'utilisateurs. Afin d'atteindre cet objectif, une entreprise sollicite, mobilise et utilise des ressources telles que des ressources matérielles, humaines, financières, immatérielles et informationnelles, ce qui la contraint à diriger des fonctions telles que l'administration, la commercialisation et l'informatique. Elle travaille dans un environnement spécifique auquel elle doit s'ajuster. L'entreprise vise à répondre aux besoins de ses clients afin de générer de la richesse. Cela favorise la création d'emplois et le paiement de salaires. L'entreprise contribue également à la société en payant des impôts et des taxes.

II.1 Définition de l'entreprise verte :

Une entreprise respectueuse de l'environnement, également appelée éco-entreprise, est une entreprise qui propose une solution (produits, services...) qui vise spécifiquement à prévenir, diminuer ou évaluer les impacts des activités humaines sur l'environnement. Elle cherche à réduire son empreinte écologique en adoptant des pratiques durables et en intégrant la protection de l'environnement dans sa stratégie globale.

III. Présentation de l'entreprise :

Waste Market est une entreprise innovante spécialisée dans la médiation entre les producteurs et les acheteurs de déchets, visant à promouvoir le recyclage et une gestion durable des ressources. Cette plateforme en ligne, accessible via un site web et une application mobile, simplifie le processus de gestion des déchets pour les entreprises et les particuliers. Elle permet aux entreprises générant des déchets de se connecter facilement avec des acheteurs intéressés, facilitant ainsi la valorisation et la réutilisation des déchets industriels.



Figure IV-1 : logo de l'entreprise

IV.1 Stratégie opérationnelle de Waste Market :

Waste Market facilite la gestion des déchets en connectant les producteurs de déchets industriels avec les entreprises intéressées par leur recyclage. Les producteurs peuvent publier les détails de leurs déchets sur la plateforme, spécifiant le type, la quantité et la localisation. De l'autre côté, les acheteurs recherchent activement des déchets spécifiques pour leur propre processus de production ou pour le co-traitement. La plateforme permet des transactions transparentes et sécurisées, tout en fournissant des outils pour la gestion des documents et des paiements en ligne. Grâce à Waste Market, les entreprises peuvent optimiser l'utilisation des ressources en transformant leurs déchets en matières premières valorisables, contribuant ainsi à une économie circulaire plus durable.

Vision : Notre objectif est de devenir le leader du marché de la gestion des déchets en Algérie, en offrant des solutions durables et innovantes pour transformer les déchets en ressources précieuses.

Mission : Notre mission consiste à faciliter la collecte, l'achat et la vente de déchets recyclables à travers une plateforme numérique. Nous visons à promouvoir une économie

circulaire et à contribuer activement à la protection de l'environnement, tout en encourageant une gestion responsable des ressources.

Slogan : *Le Déchet De Quelqu'un Est Le Trésor De L'autre*

V Les étapes de création de l'entreprise Waste Market :

Quelles formes juridique choisir ?

V.1 Les formes juridiques de création d'entreprise en Algérie :

V.1.1 Forme physique :

Cette forme est destinée en général pour les entreprises de taille modeste, elle ne demande pas de statuts, sa création est simple. L'accomplissement des formalités et constitution du dossier d'inscription au registre du commerce est rapide. L'acquittement des dettes de l'entreprise peut s'étendre aux biens personnels. L'immatriculation au registre du commerce confère la qualité de commerçant

La source: Centre National De Registre De Commerce (CNRC)

V.1.2 Forme morale :

- Entreprise unipersonnelle à responsabilité limitée(EURL)
- Société à responsabilité limitée (SARL)
- Société en nom collectif(SNC)
- Société par action (SPA)
- Société en commandite simple (SCS);
- Société en commandite par actions (SCPA);
- Groupement.

V.2 Choix de la forme juridique :

En Algérie, il existe différentes formes juridiques pour une entreprise, telles que la SARL, la SPA, l'entreprise individuelle et la SNC. La SARL (Société à Responsabilité Limitée) est également une forme d'entreprise fréquente en Algérie. La loi algérienne n° 85-05 du 16 février 1985 concerne les entreprises commerciales.

Le statut de SARL (Société à Responsabilité Limitée) présente de multiples bénéfices, tels que :

- Les associés ont une responsabilité limitée :
- Flexibilité de gestion
- Une fiscalité favorable
- Il est envisageable de former une SARL unipersonnelle.
- État de confiance

V.3 La réglementation de création d'une SARL en Algérie :

1. **Capital social :** Le montant minimum du capital social pour une SARL en Algérie est de 100 000 dinars.
2. **Nombre d'associés :** La création d'une SARL en Algérie nécessite un minimum de deux associés et un maximum de 50.
3. **Nom :** Le nom de la SARL doit être original et ne doit pas être déjà utilisé par une autre entreprise inscrite au Registre de Commerce.
4. **Adresse :** La SARL doit avoir son siège social en Algérie et doit être mentionnée lors de l'enregistrement de l'entreprise.
5. **Statuts :** Il est nécessaire de rédiger les statuts de la SARL de manière écrite et de les signer tous les associés. Il est également nécessaire de les inscrire au Registre de Commerce.
6. **Gérant :** Il est essentiel que la SARL dispose d'au moins un gérant qui doit être désigné dans les statuts de la société. Le responsable peut être un individu ou une entité juridique.
7. **Enregistrement :** Il est nécessaire de faire l'enregistrement de la SARL auprès du Registre de Commerce en fournissant divers documents tels que les statuts de l'entreprise, une preuve de domicile, etc.
8. **Impôts:** En Algérie, la SARL est tributaire de l'impôt sur les sociétés (IS), qui est calculé sur les profits de l'entreprise.

V.4 Les étapes de création d'une (SARL) en Algérie :

Créer une Société à Responsabilité Limitée (SARL) en Algérie implique plusieurs étapes essentielles. Voici un guide détaillé :

V.4.1 Choix et réservation de la dénomination sociale :

Pour cette étape il faut Vérifiez la disponibilité de la dénomination choisie auprès du Centre National du Registre du Commerce (CNRC),est puis Réservez le nom de l'entreprise auprès du CNRC.

V.4.2 Rédaction des statuts :

Cette étape consiste de rédiger les statuts de la SARL, qui doivent être approuvés par tous les associés lors de cette étape. La dénomination sociale, l'objet social, le siège social, le montant du capital social, la répartition des parts sociales, la durée de la société, etc.

V.4.3 Déblocage des fonds :

Il faut Ouvrir un compte bancaire au nom de la société en formation , et Déposez le capital social sur ce compte.

V.4.4 Établissement de l'acte notarié :

Cette procédure implique de Faire authentifier les statuts par un notaire si nécessaire. Certaines formalités, comme l'apport en nature, peuvent exiger un acte notarié.

V.4.5 Publication de l'avis de constitution :

Ce processus inclut une publication d'avis de constitution dans un journal d'annonces légales et au Bulletin Officiel des Annonces Légales (BOAL).

V.4.6 Immatriculation au Registre du Commerce :

Cette démarche nécessite de Déposez le dossier de demande d'immatriculation au CNRC. Le dossier doit contenir les documents suivants :

- Les statuts de la société.
- L'attestation de dépôt des fonds.
- La pièce d'identité et le casier judiciaire des associés.
- Le certificat de domiciliation.
- La preuve de publication dans un journal d'annonces légales et au BOAL.

- L'acte notarié, le cas échéant.
- Obtenez le certificat d'immatriculation (registre du commerce) après validation.

V.4.7 Déclaration fiscale :

Il est nécessaire d'obtenir le numéro d'identification fiscale (NIF) pour effectuer la déclaration fiscale auprès des services fiscaux.

V.4.8 Affiliation à la sécurité sociale :

Cette action nécessite Organisez l'inscription de l'entreprise auprès de la Caisse Nationale de Sécurité Sociale (CNAS).

V.4.9 Obtention du numéro statistique :

Pour obtenir un numéro statistiques il est nécessaire de Demandez le numéro de référence à l'Office national des statistiques (ONS).

V.4.10 Ouverture de comptes courants :

Pour les opérations courantes de la société. Il est nécessaire d'ouvrez un compte bancaire.

En suivant ces étapes, vous serez en mesure de créer une SARL en Algérie dans le respect des réglementations locales.

V.5 L'obtention de la nomination :

Pour obtenir et valider le nom de L'entreprise SARL en Algérie

V.5.1 Étape 1 : Le choix de la nomination

Il est essentiel que le nom soit unique, ne soit pas utilisé par une autre entreprise, et qu'il respecte la législation en vigueur en Algérie. Il est conseillé de consulter le Centre national du registre du commerce (CNRC) ou la Chambre de commerce et d'industrie (CCI) de la wilaya pour obtenir le nom désiré.

V.5.2 Étape 2 : Disponibilité des noms

Il est conseillé de vérifier la disponibilité du nom désiré auprès du CNRC ou de la CCI de la wilaya avant de commencer les démarches de création de l'entreprise. Cette vérification peut être réalisée en ligne ou directement sur place

V.5.3 Étape 3 : Réservation du nom

En cas de disponibilité du nom souhaité, il faut réserver le nom auprès du CNRC ou de la CCI. L'enregistrement du nom est valable pendant 45 jours.

V.5.4 Étape 4 : Paiement des frais de réservation

Cette action consiste de payé les frais requis pour la réservation du nom de l'entreprise.

V.5.5 Étape 5 : Obtention du certificat de réservation

Quelques jours après le paiement et la validation de notre demande, CNRC délivrera un certificat de réservation du nom. Ce document officiel attestait que le nom était réservé pour la SARL pour une période déterminée.

V.6 Conseils supplémentaires

- Durée de validité : Vérifiez la durée de validité de la réservation de nom et assurez-vous de compléter l'immatriculation de votre entreprise avant l'expiration de cette période.
- Consultation juridique : Il peut être utile de consulter un avocat ou un conseiller en création d'entreprise pour s'assurer que toutes les démarches sont correctement effectuées.

En suivant ces étapes, vous pouvez obtenir et valider le nom de votre entreprise SARL en Algérie de manière efficace et conforme aux réglementations en vigueur

V.7 Label startup

En Algérie, les start-up sont perçues comme des sociétés novatrices avec un fort potentiel de développement. En Algérie, il n'existe pas de législation spécifique pour les start-up, mais des mesures gouvernementales sont mises en place pour favoriser leur croissance, notamment à travers des programmes d'incubation et d'accélération.

V.7.1 Les conditions d'attribution du label Startup

L'attribution du label Startup en Algérie est régie par des critères spécifiques visant à encourager l'innovation et la croissance des jeunes entreprises. Voici les principales conditions et étapes à suivre pour obtenir ce label :

V.7.1.1 Critères d'Éligibilité :

Pour qu'une entreprise soit éligible au label Startup, elle doit répondre aux critères suivants :

a. Innovation :

L'entreprise doit proposer un produit ou un service innovant, que ce soit par sa technologie, son modèle économique, ou ses processus. Et Le projet doit apporter une rupture significative par rapport aux solutions existantes sur le marché.

b. Potentiel de Croissance

L'entreprise doit démontrer un potentiel de croissance rapide et durable, avec la capacité de s'étendre à de nouveaux marchés.

- **Modèle Économique Viable :** Un modèle économique clair et viable, avec des perspectives de rentabilité à moyen terme.

c. Jeune Entreprise

L'entreprise doit être récemment créée, généralement depuis moins de 5 ans..

V.7.1.2 Dossier de Candidature

Pour postuler au label Startup, l'entreprise doit préparer et soumettre un dossier de candidature comprenant :

a. Présentation de l'Entreprise :

- **Description du projet :** Une présentation détaillée du produit ou service innovant.

- Plan d'affaires: Un business plan incluant des prévisions financières, des études de marché, et une analyse des concurrents.

b. Documents Administratifs :

- Registre du Commerce : Une copie du registre du commerce de l'entreprise.

- Identification Fiscale: Le numéro d'identification fiscale (NIF).

- Attestation de non-dette fiscale et parafiscale.

c. Équipe Fondatrice :

- CV des Fondateurs : Curriculum vitae des membres fondateurs, mettant en évidence leurs compétences et expériences pertinentes.

- Organigramme : Un organigramme de l'entreprise.

V.7.1 .3 Processus de Sélection :

Le processus de sélection se déroule en plusieurs étapes :

a. Soumission de la Candidature :

- Plateforme en Ligne: Soumettre le dossier de candidature via une plateforme en ligne dédiée ou au sein du ministère ou de l'agence en charge des startups.

b. Évaluation du Dossier :

- Comité d'Évaluation: Un comité composé d'experts évalue les dossiers sur la base des critères d'innovation, de potentiel de croissance et de viabilité économique.

- Entretiens: Les candidats présélectionnés peuvent être invités à des entretiens pour défendre leur projet.

c. Décision :

- Attribution du Label: Le comité prend la décision d'attribuer le label Startup aux entreprises qui remplissent les critères.

- Notification: Les entreprises retenues sont officiellement informées et reçoivent le label Startup.

V.7.2 Avantages du Label Startup

Obtenir le label Startup en Algérie offre plusieurs avantages :

- Accès au Financement: Facilite l'accès aux financements publics et privés, y compris les subventions et les prêts à taux préférentiels.
- Support et Accompagnement: Accès à des programmes d'accompagnement, de mentorat et de formation.
- Visibilité: Augmente la visibilité de l'entreprise auprès des investisseurs et des partenaires commerciaux.
- Exonérations Fiscales: Bénéficiaire de certaines exonérations fiscales et parafiscales pour encourager la croissance

V.7.3 Qui délivre le label Startup :

Le label "startup" en Algérie est délivré par l'Agence Nationale de Promotion et de Développement des Parcs Technologiques (ANPT). Cette agence gouvernementale est chargée de promouvoir l'innovation, la recherche et le développement technologique en Algérie, ainsi que d'accompagner les entreprises innovantes dans leur croissance. Elle est rattachée au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

La source: labels "Startup", "Projet Innovant" et "Incubateur" en Algérie . startup.dz. [En ligne] [Citation : 25 mai 2023.] <https://lentrepreneurialgerien.com/startup/item/106-comment-obtenir-les-labels>.

V.8 Le financement de l'entreprise :

En Algérie, les entreprises peuvent accéder à divers types de financement pour soutenir leur croissance et leurs opérations. Parmi les principales sources figurent les prêts bancaires, souvent octroyés par des institutions financières locales comme la Banque d'Algérie et diverses banques commerciales. Les entreprises peuvent également bénéficier de subventions et d'incitations fiscales offertes par le gouvernement algérien dans le cadre de programmes de développement économique. En outre, le financement participatif et les investissements privés, y compris le capital-risque et les fonds d'investissement, gagnent en popularité. Les mécanismes de microfinance sont aussi disponibles, particulièrement pour les petites et moyennes entreprises (PME) cherchant des montants de financement plus modestes.

Remarque :

« La contribution personnelle pour les deux catégories, étudiants et de chômeurs est de 5% du coût total du projet. »

Catégorie chômeurs et étudiants				
Valeur d'investissement	La zone de réalisation de projet	contribution personnelle	Prêts sans contrepartie octroyés par ANADE	Prêt bancaire à taux réduit de 100%
jusqu'à 10000 000 DZD	Toutes les régions	50 %	25%	70%

Tableau IV-1 : Catégorie chômeurs et étudiants

La catégorie des travailleurs				
Valeur d'investissement	La zone de réalisation de projet	Contribution personnelle	Prêts sans contrepartie octroyés par ANADE	Prêt bancaire à taux réduit de 100%
jusqu'à 10000000 DZD	régions du sud	10%	20%	70%
jusqu'à 10000000 DZD	Hauts plateaux et zones spéciales	21%	18%	70%
jusqu'à 10000000 DZD	restes des régions	15%	15%	70%

Tableau IV-2 : La catégorie des travailleurs

Financement bilatéral		
Valeur d'investissement	Prêts sans contrepartie ANADE	Contribution personnelle
jusqu'à 10000000 DZD	50%	50%

Tableau IV-3 : Financement bilatéral

V.9 Communication et marketing :

Nous allons instaurer une approche de communication et de marketing afin de faire connaître notre entreprise et notre mission au grand public. Pour nous faire connaître, nous allons faire appel aux réseaux sociaux, aux relations presse et au bouche-à-oreille. Des événements locaux seront également organisés afin de sensibiliser les entreprises et les communautés à nos solutions de recyclage et de reconditionnement.

V.10 Partie structurelle :

V.10.1 Simulation sur le locale d'entreprise :

V.10.1.1 Plan Intérieur du Local

1. Zone d'Accueil :

- Espace accueillant pour les visiteurs comprenant un comptoir de réception ou une zone d'accueil avec des chaises confortables.

- Affichages promotionnels ou informatifs sur l'entreprise et son application.

2. Bureau Administratif :

- Bureau central pour les activités administratives, équipé de bureaux, de chaises, et de matériel informatique.
- Zone de réunion pour les discussions internes et les rencontres avec les clients.

3. Espace de Développement et de Technologie :

- Zone dédiée aux développeurs et aux ingénieurs travaillant sur l'application, équipée d'ordinateurs, de tables de travail et de matériel de développement.
- Espace pour les réunions d'équipe et les sessions de brainstorming.

4. Centre de Données et de Serveurs :

- Zone sécurisée abritant les serveurs et l'infrastructure informatique nécessaires au fonctionnement de l'application.
- Contrôle d'accès restreint et système de surveillance pour garantir la sécurité des données.

5. Salle de Réunion et de Présentation :

- Salle dédiée aux réunions avec les investisseurs, les partenaires et les présentations internes.
- Équipée d'un projecteur, d'un tableau blanc interactif et de sièges confortables.

6. Zone de Stockage :

- Espace pour le stockage de matériel promotionnel, de fournitures de bureau et de matériel informatique supplémentaire.
- Rayonnages et armoires pour organiser les articles de manière efficace.

7. Espace de Détente :

- Zone dédiée au repos et à la détente des employés, équipée de canapés, de tables basses et de distributeurs de boissons.
- Permet aux employés de se détendre et de recharger leurs batteries pendant les pauses.

8. Salle de Repos et de Cuisine :

- Zone pour les repas et les pauses déjeuner, équipée de tables et de chaises, d'un réfrigérateur, d'un micro-ondes et d'autres équipements de cuisine de base.
- Crée un environnement confortable où les employés peuvent prendre des pauses repas.

9. Zones de Travail Flexibles :

- Espaces de travail flexibles où les employés peuvent collaborer et travailler sur des projets en équipe.
- Dotés de tables modulables et de chaises mobiles pour s'adapter aux besoins changeants.

Ce plan intérieur offre une disposition fonctionnelle et efficace pour les activités d'une entreprise offrant une application d'achat et de vente. Il favorise la collaboration entre les équipes, crée un environnement de travail confortable et répond aux besoins opérationnels de l'entreprise.

V.10.1.2 Plan de mise en œuvre :

1. Développement de l'Application :

- Analyse des Besoins : Identifier les fonctionnalités essentielles de l'application en fonction des besoins des utilisateurs et des exigences du marché.
- Conception :Élaborer une architecture logicielle solide et une interface utilisateur intuitive pour l'application.
- Développement :Créer l'application en suivant les spécifications techniques établies lors de la conception.
- Test et Validation : Effectuer des tests rigoureux pour s'assurer que l'application fonctionne correctement sur différentes plateformes et appareils.
- Lancement :Déployer l'application sur les principaux magasins d'applications (App Store, Google Play) et promouvoir son lancement auprès des clients potentiels.

2. Acquisition de Clients :

- Stratégie de Marketing :Concevoir une stratégie de marketing multicanal pour promouvoir l'application auprès des utilisateurs cibles.
- Campagnes Publicitaires :Lancer des campagnes publicitaires en ligne et hors ligne pour attirer l'attention sur l'application.

- Partenariats :Établir des partenariats avec d'autres entreprises ou organisations pour étendre la portée de l'application.

- Programmes de Référencement :Mettre en place des programmes de référencement pour encourager les utilisateurs existants à recommander l'application à leurs amis et leur famille.

3. Opérations et Gestion :

- Infrastructure Technique : Assurer le bon fonctionnement des serveurs et des systèmes informatiques pour soutenir l'application.

- Service Client :Mettre en place un système de service client efficace pour répondre aux questions et aux préoccupations des utilisateurs.

- Gestion des Transactions :Établir des protocoles de sécurité robustes pour protéger les données des utilisateurs et faciliter les transactions en ligne.

- Suivi et Analyse : Surveiller les performances de l'application et recueillir des commentaires des utilisateurs pour identifier les domaines d'amélioration potentiels.

4. Expansion et Croissance :

- Élargissement de l'Offre : Explorer de nouvelles opportunités de marché et élargir la gamme de produits ou de services proposés par l'application.

- Expansion Géographique : Étendre la portée de l'application à de nouveaux marchés géographiques, si cela est pertinent.

- Innovation Continue : Investir dans la recherche et le développement pour introduire de nouvelles fonctionnalités et améliorations dans l'application.

- Partenariats Stratégiques : Collaborer avec d'autres entreprises ou organisations pour créer des synergies et stimuler la croissance.

V.11 Présentation de l'application mobile :

Bienvenue sur WasteMarket, votre passerelle vers une industrie algérienne plus durable et interconnectée. Notre application mobile révolutionne la gestion des déchets industriels en créant un marché virtuel intelligent, accessible à tous les acteurs de l'écosystème industriel.

Que vous soyez une grande entreprise comme Lafarge, une PME innovante, une start-up en économie circulaire, ou même un chercheur universitaire, WasteMarket est conçu pour vous.

Nous croyons que chaque déchet a une valeur, et que chaque entreprise peut contribuer à un avenir plus vert.

Notre plateforme utilise une classification innovante des déchets en catégories A, B, C, et D, rendant la gestion des risques compréhensible pour tous. Mais nous allons plus loin en catégorisant aussi selon le potentiel de valorisation :

Recyclage en matières premières : Déchets transformables directement en nouvelles ressources industrielles.

Valorisation énergétique : Déchets convertibles en énergie calorifique, réduisant ainsi la consommation de combustibles fossiles.

Incinération : Pour les déchets inertes non valorisables. Ici, le principe du pollueur-payeur s'applique : l'entreprise générant ces déchets paie pour leur incinération sécurisée.

Cette approche encourage la responsabilité et l'innovation. Les producteurs de déchets, qu'ils soient de la catégorie A (comme du papier recyclable) ou D (comme certains déchets électroniques valorisables énergétiquement), peuvent facilement lister leurs matériaux. Les acheteurs, qu'il s'agisse de géants du recyclage ou de petites entreprises innovantes, trouvent rapidement les ressources dont ils ont besoin.

Le prix de ces déchets est basé sur ce qu'ils produisent, qui est utilisé comme matière première et a un prix plus élevé que ce qui est utilisé comme source d'énergie.

Mais WasteMarket va au-delà du simple commerce. Nous facilitons le co-traitement, comme le fait Lafarge, transformant les déchets en matières premières. Nous encourageons aussi la collaboration, permettant aux entreprises et aux universités de travailler ensemble sur des solutions de recyclage innovantes

VI.3 V.12 Interface de l'application :

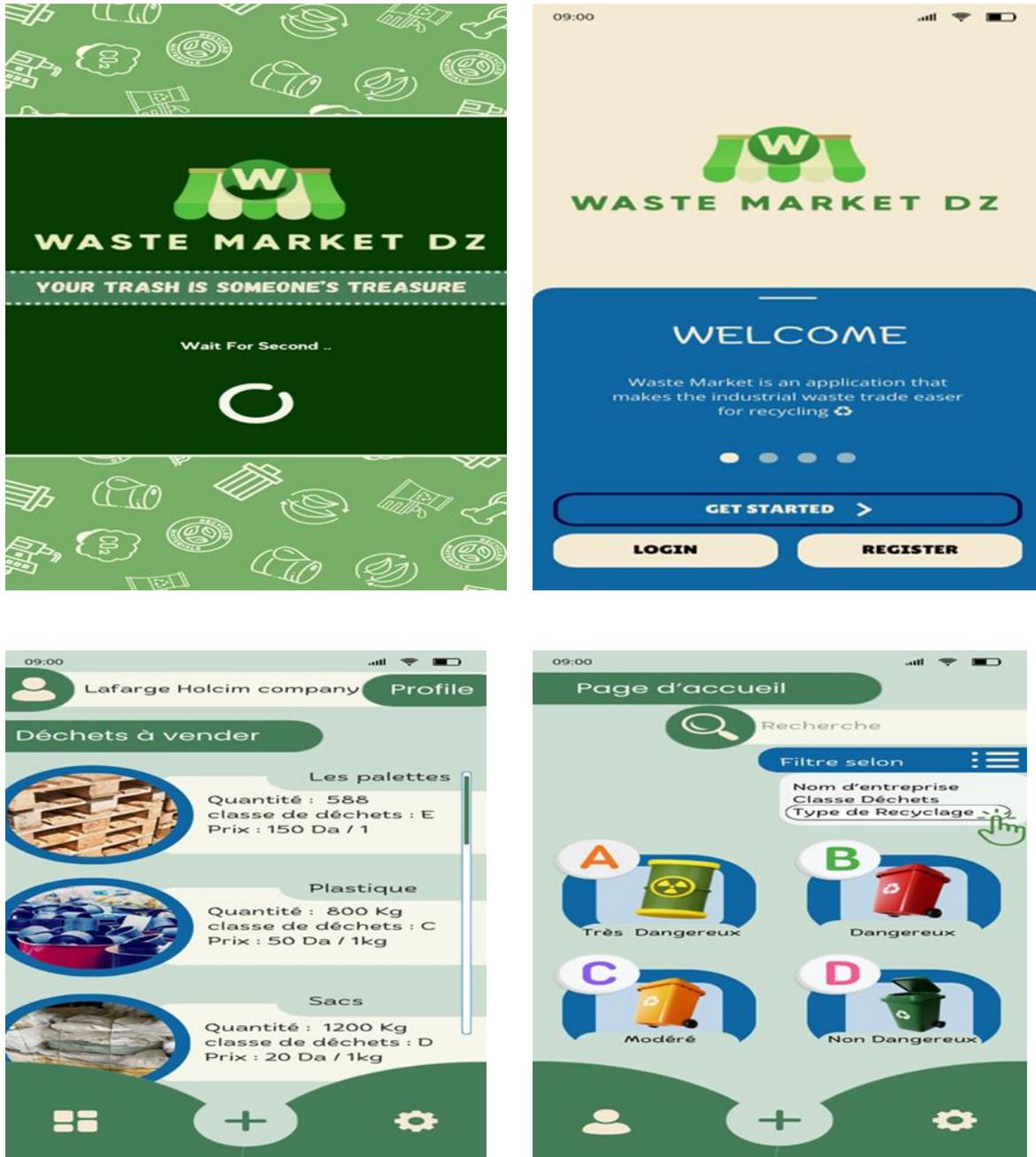


Figure IV-1 :Interface de l'application

VI Les avantages de ce projet :

Les avantages de notre projet WasteMarket sont nombreux et bénéficient à tous les acteurs de l'écosystème industriel algérien :

- 1- Optimisation des ressources : En transformant les déchets en matières premières ou en énergie, nous réduisons la dépendance aux ressources vierges, diminuant ainsi les coûts pour les industries.
- 2- Réduction de l'impact environnemental : Moins de déchets en décharge signifie moins de pollution des sols et des eaux. La valorisation énergétique réduit également l'utilisation de combustibles fossiles.
- 3- Stimulation de l'économie circulaire : WasteMarket crée un marché pour les déchets, encourageant les entreprises à voir leurs résidus comme des actifs plutôt que des passifs.
- 4- Création d'emplois verts : L'essor du recyclage et de la valorisation des déchets engendre de nouveaux métiers dans la collecte, le tri, et le traitement.
- 5- Facilitation de la conformité réglementaire : Notre classification aide les entreprises à gérer leurs déchets selon les normes, évitant amendes et sanctions.
- 6- Encouragement à l'innovation : En connectant industries et universités, WasteMarket devient un incubateur pour des solutions de recyclage novatrices.
- 7-Réduction des coûts de gestion des déchets : La valorisation des déchets et le principe du pollueur-payeur incitent à minimiser les déchets non valorisables.
- 8-Transparence et traçabilité : Chaque transaction est enregistrée, offrant une visibilité totale sur le parcours des déchets.
- 9- Rayonnement international : En devenant un modèle d'économie circulaire, l'Algérie peut attirer des investissements verts.
- 10- Sensibilisation et responsabilité : WasteMarket sensibilise le secteur industriel à l'impact de ses déchets, promouvant une culture de responsabilité environnementale

8.1 Les avantages pour la farge (lco)

VI.1 Les avantages du projet WasteMarket pour Lafarge sont considérables et stratégiques :

- 1- Approvisionnement optimisé en combustibles alternatifs : WasteMarket permet à Lafarge d'identifier et d'acquérir plus facilement des déchets valorisables énergétiquement, réduisant sa dépendance aux combustibles fossiles coûteux.

2– Réduction des coûts de production : En utilisant des déchets comme combustibles ou matières premières (ex: scories pour le ciment), Lafarge diminue ses coûts d'approvisionnement.

3– Renforcement de l'image de marque : En tant que pionnier du co-traitement via WasteMarket, Lafarge se positionne comme leader de l'économie circulaire en Algérie, attirant clients et investisseurs éco-responsables.

4– Diversification des fournisseurs : La plateforme élargit le réseau de Lafarge, lui offrant accès à une variété de déchets auprès de PME ou startups, au-delà de ses partenaires traditionnels.

5– Traçabilité et conformité réglementaire : WasteMarket assure une traçabilité totale des déchets utilisés, facilitant pour Lafarge le respect des normes environnementales et la certification de son engagement durable.

6– Innovation collaborative : En connectant Lafarge aux universités via WasteMarket, elle peut co-développer des technologies avancées de co-traitement, maintenant son avance technologique.

7– Réduction de l'empreinte carbone : L'utilisation accrue de déchets comme combustibles réduit les émissions de CO2 de Lafarge, un avantage crucial face aux réglementations carbone.

8– Anticipation des réglementations : En étant précurseur dans la gestion durable des déchets, Lafarge se prépare et influence même les futures réglementations en sa faveur.

9– Expansion du modèle Geocycle : WasteMarket complète et amplifie l'initiative Geocycle de Lafarge, renforçant son leadership dans la gestion des déchets industriels.

10– Données stratégiques : Les données de WasteMarket offrent à Lafarge une vision unique sur les flux de déchets en Algérie, guidant ses investissements et partenariats futurs.

VII Les revenus de l'entreprise :

L'entreprise pourra générer des profits à partir de diverses sources

VII.1 Commissions sur les Transactions :

- Commission de Vente : Prendre un pourcentage sur chaque transaction de vente effectuée via l'application.

- Frais de Transaction : Imposer des frais fixes par transaction, payés par le vendeur ou l'acheteur.

VII.2 Abonnements Premium

- Abonnements pour Vendeurs : Offrir des plans d'abonnement pour les vendeurs professionnels, qui incluent des fonctionnalités avancées telles que des outils de gestion des stocks, des analyses de marché, et des promotions mises en avant.

- Abonnements pour Acheteurs : Proposer des plans d'abonnement pour les acheteurs, offrant des avantages comme des réductions exclusives, un accès prioritaire aux nouveaux listings, et des alertes personnalisées.

VII.3 Publicité et Sponsoring :

- Publicité In-App : Générer des revenus en affichant des publicités ciblées au sein de l'application.

- Sponsoring : Offrir des emplacements de parrainage à des entreprises partenaires pour promouvoir leurs services ou produits auprès des utilisateurs de l'application.

VII.4 Services Additifs :

- Services de Logistique : Proposer des services de collecte et de livraison des déchets pour un coût supplémentaire.

- Services de Tri et de Recyclage : Fournir des services de tri et de traitement des déchets pour les clients, moyennant des frais.

VII.5 Données et Analyses :

- Vente de Données Agrégées : Vendre des données agrégées et anonymisées sur les tendances du marché et les comportements des utilisateurs à des entreprises ou des organisations intéressées.

- Services de Consultation : Offrir des services de conseil basés sur les données recueillies, aidant les entreprises à optimiser leurs pratiques de gestion des déchets.

VII.6 Partenariats et Affiliation :

- Partenariats Stratégiques : Établir des partenariats avec des entreprises de recyclage, des fabricants de produits recyclés, ou d'autres acteurs de l'industrie pour générer des revenus partagés.

- Programme d’Affiliation : Mettre en place des programmes d’affiliation où les utilisateurs peuvent gagner des commissions en recommandant l'application à d'autres utilisateurs.

Conclusion :

En conclusion, le projet Waste Market représente bien plus qu'une simple application de gestion des déchets industriels. Il incarne une vision transformative pour l'industrie algérienne, avec Lafarge comme pionnier et bénéficiaire clé.

Dans un monde où les ressources se raréfient et où l'urgence climatique s'intensifie, Waste Market apporte une réponse locale et globale. En numérisant et en optimisant la valorisation des déchets, de la matière première à l'énergie, notre plateforme tisse un réseau d'interdépendance positive entre les acteurs industriels.

Waste Market n'est pas seulement un projet ; c'est un mouvement. Il invite chaque entreprise, grande ou petite, chaque chercheur, chaque décideur, à repenser les déchets comme une opportunité. C'est un pari sur l'intelligence collective de l'Algérie pour transformer nos défis environnementaux en leviers de croissance.

Demain, grâce à Waste Market, l'Algérie pourra se targuer d'avoir des industries plus propres, plus efficaces, et plus résilientes. Nous aurons prouvé qu'avec de l'innovation et de la collaboration, la durabilité et la compétitivité vont de pair.

*CONCLUSION
GENERALE*

Conclusion Générale :

Ce mémoire a mis en lumière l'importance d'une gestion des déchets efficace et durable dans le contexte global actuel, en prenant pour exemple l'usine Lafarge. Nous avons constaté que la prévention, la valorisation et l'élimination sont les piliers de cette gestion, chaque étape jouant un rôle crucial pour minimiser l'impact environnemental des déchets. Les défis tels que l'augmentation de la production de déchets et la diversité des matériaux nécessitent des solutions innovantes et intégrées, soutenues par un cadre législatif robuste et une responsabilité accrue des producteurs. Parmi ces solutions, le développement d'une application pour gérer les déchets à l'usine Lafarge représente une avancée significative. Les avancées technologiques, en particulier l'IoT et l'IA, se révèlent être des catalyseurs essentiels pour améliorer l'efficacité des processus de gestion des déchets. Ces technologies permettent une surveillance en temps réel, une maintenance prédictive et une meilleure traçabilité, favorisant ainsi une économie circulaire. En conclusion, une approche concertée impliquant les gouvernements, les entreprises et les citoyens est indispensable pour relever les défis actuels et futurs, transformant ainsi la gestion des déchets en une opportunité pour un avenir plus durable.

Références Bibliographiques :

- [1] Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. Journal officiel de l'Union européenne, L 312/3, 22 novembre 2008.
- [2] La loi algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- [3] Tchobanoglous et al. (1993).
- [4] Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne.
- [5] Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME, 2020) --Guide des déchets en Auvergne, Ed. Délégation régionale, Clermont-Ferrand, 95p.
- [6] Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte de 2015.
- [7] Koller, E. (2004) Traitement des pollutions industrielles eaux-air-déchets-sol-boue, Dunod-Paris
- [8] Organisation des Nations Unies pour l'environnement. (2019). Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. Cambridge University Press.
<https://www.unep.org/resources/global-environment-outlook-6>
- [9] ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie). (2017). Déchets-page 06.
- [10] ISO 14006:2020. (2020). Environmental management systems — Guidelines for incorporating ecodesign. International Organization for Standardization.
<https://www.iso.org/standard/72644.html>
- [11] United States Environmental Protection Agency. (2021). Source Reduction and Reuse.
- [12] Hines, J. M., Hungerford, H. R., & Tomera, A. N. (1987). Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: A meta-analysis. *The Journal of environmental education*, 18(2), 1-8
- [13] Diaz, L. F., De Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., & Stentiford, E. (2007). *Compost science and technology*. Elsevier.
- [14] Deublein, D., & Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. John Wiley & Sons.
- [15] Tableau, B. P., Astrup, T., & Götze, R. (2020). Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 38(9), 947-957.
- [16] El-Fadel, M., Findikakis, A. N., & Leckie, J. O. (1997). Environmental impacts of solid waste landfilling. *Journal of environmental management*, 50(1), 1-25.
- [17] Astrup, T., Møller, J., & Fruergaard, T. (2009). Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8), 789-799.

Références Bibliographiques

- [18] LaGrega, M. D., Buckingham, P. L., & Evans, J. C. (2010). Hazardous waste management. Waveland Press.
- [21] 8. Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58.
- [22] Loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, *Journal Officiel de la République Algérienne n°77 du 15 décembre 2001*.
- [23] Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, 1989.
- [24] Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. *Journal officiel de l'Union européenne*, L 312/3, 22 novembre 2008.
- [25] Code de l'environnement, Partie législative, Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances, Titre IV : Déchets, Chapitre III : Sanctions pénales, Article L541-46.
- [26] Sauvé, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, 17, 48-56.
- [27] Gundupalli, S. P., Hait, S., & Thakur, A. (2017). A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste management*, 60, 56-74.
- [28] Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., & Kennedy, C. (2013). Environment: Waste production must peak this century. *Nature News*, 502(7473), 615. <https://doi.org/10.1038/502615a>
- [29] European Commission. (2008). Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. *Official Journal of the European Union*, L 312, 22.11.2008, p. 3–30.
- [30] Q. Qi and F. Tao, "Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 3585–3593, 2018
- [31] Bernard Claverie, Benoit Le Blanc et Pascal Fouillat, « La Cobotique », Presses université de Bordeaux "Communication & Organisation", 2013, p. 203-214.
- [32] Rajkumar Buyya, James Broberg, Andrzej M. Goscinski, "Cloud Computing: Principles and Paradigms", John Wiley & Sons, 2010.
- [33] M.Rüßmann et al., "Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing," *Bost. Consult.*, no. April, pp. 1–5, 2015
- [34] <https://www.copadata.com/en/industries/horizontal-vertical-integration/>
- [35] M. Ghobakhloo, "The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0," *Jnl of Manu Tech Mngmnt*, vol. 29, no. 6, pp. 910-936, Oct. 2018, doi: 10.1108/JMTM-02-2018-0057.
- [36] "What is Cybersecurity? | IBM." <https://www.ibm.com/topics/cybersecurity> (accessed Feb.18.2022)

Références Bibliographiques

- [37] M. Javaid, A. Haleem, R. Pratap Singh, S. Khan, and R. Suman, "Blockchain technology applications for Industry 4.0: A literature-based review," *Blockchain: Research and Applications*, vol. 2, no. 4, p. 100027, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.bcra.2021.100027.
- [38] Office québécois de la langue française, « infonuagique » [archive], sur *Le grand dictionnaire terminologique* (consulté le 18 avril 2018).
- [39] <https://www.oracle.com/fr/blockchain/what-is-blockchain/#:~:text=La%20blockchain%20est%20un%20registre,peuvent%20être%20collectées%20et%20partagées>.
- [40] "Internet of Things: Concepts and Technologies" par Arpan Kumar Kar, "Sensors and Actuators A: Physical" Volume 140, Issue 2, September 2007.
- [41] "The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey" par Nagesh C. Basavanahally, "IEEE Communications Surveys & Tutorials", Volume 17, Issue 4, 2015.
- [42] "Security and Privacy Challenges in the Internet of Things (IoT)" par Mahmud Hossain, "IEEE Internet of Things Journal", Volume 1, Issue 4, August 2014.
- [43] <https://www.requea.com/iotgateway.html#:~:text=Qu'est%2Dce%20que%20l,appareil%20d%C3%A9di%C3%A9%20%C3%A0%20cette%20fonction>.
- [44] [sacha comti /www.wenvision.com/quest-ce-quune-plateforme-de-cloud-computing/16/01/2022](https://www.wenvision.com/quest-ce-quune-plateforme-de-cloud-computing/16/01/2022)
- [45] <https://www.1control.eu/blog/fr/smart-home-ou-domotique-un-voyage-entre-differences-et-avantages/#:~:text=La%20smart%20home%20%20littéralement%20«%20maison,tablette%20ou%20une%20montre%20intelligente>.
- [46] <https://wikimemoires.net/2019/09/1-elevage-de-volailles-intelligents/>
- [47] <http://taneleo.fr/internet-des-objets-application/>
- [48] <https://www.mutualia.fr/agriculteur/infos/economie-et-societe/news/internet-des-objets-iot-pour-une-agriculture-plus-intelligente>
- [49] <https://fastercapital.com/fr/sujet/transformer-les-d%C3%A9chets-en-%C3%A9nergie-durable.html>.
- [50] Lafarge, une multinationale à la française" (Cailluet et al., Éditions Belin, 2003)
- [51] Article de presse (El Watan, 2019) : "LafargeHolcim Algérie, un leader engagé"
- [52] Feuille de route développement durable Groupe LafargeHolcim (2030-2050)
- [53] Article sur l'économie circulaire chez LafargeHolcim (Environnement & Technique, 2022)
- [54] Communiqué de presse Holcim (03/2023) : "Un immeuble résidentiel 100% en béton recyclé, une première mondiale"

Références Bibliographiques

[55] Communiqué LafargeHolcim Algérie (04/2018) annonçant le lancement de la technique BCR.

[56] Communiqué LafargeHolcim Algérie (02/2018) sur le nouveau contrat avec Sonatrach Arzew.

[57] Dossier de presse LafargeHolcim Algérie (2018) sur les opérations d'export

[58] Norme NF EN 197-1 (AFNOR, 2012) - Ciment : Composition, spécifications et critères de conformité

Manuel du ciment (Edité par Lafarge, 2008) - Chapitre sur la composition du clinker et du ciment

[59] Structure cristalline et réactivité des silicates de calcium (Scrivener et al., Progress in Cement Chemistry, 2018).

[60] Rapport de développement durable de LafargeHolcim Algérie (2022)

[61] Article de presse (Le Moniteur, 2023) : "Geocycle, la filiale déchets de LafargeHolcim, accélère sur l'économie circulaire"

[62] Bonnes pratiques de prétraitement pour le co-processing en cimenterie (WBCSD/Geocycle, 2020)

État de l'art du prétraitement des CSR (ADEME, 2015)

Technologies de prétraitement des déchets pour une économie circulaire (Velis et al., Waste Management, 2013)

[63] Directive 2008/98/CE de l'Union Européenne relative aux déchets (Directive-cadre déchets)

[64] Communiqué de presse de LafargeHolcim Algérie (2023) sur les nouveaux investissements dans le traitement des déchets industriels

Article technique dans la Revue des Ciments Algériens (n°3, 2023) : "Co-valorisation des boues industrielles comme combustibles alternatifs"

[65] Article de presse algérien sur l'accord (El Watan, 19/05/2024) : "LafargeHolcim et Tosyali scellent un partenariat pour l'économie circulaire"

[66] Communiqué de presse de LafargeHolcim Algérie (mai 2024) : "Prêt vert de 1,4 milliard DA accordé par Société Générale Algérie"