



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Abou bekr Belkaid – Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et Electronique

Filière : Génie industriel

Projet de Fin d'Etudes

Master : Génie industriel

Intitulé

Conception, modélisation et évaluation environnemental d'un
porcisé de valorisation des déchets par séchage partiel

Réalisé par :

- Debbah Abdelhak
- Djeraoui Ahmed

Présenté le 24 mai 2016 devant la commission d'examination composée de MM.

Président : Mlle Ghomri Latifa	MCA
Encadreur : Mr Balarbi boumadiane	MCA
Examineur : Mme Meghili Nihad	MCB
Examineur : Mr Hadri Abdelkadr	MCB
Examineur : Mr Sari Mohamed	magister

Année Universitaire : 2015/2016

Conception, modélisation et évaluation environnemental d'un procédé de valorisation des déchets par séchage partiel.

Table des matières

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Liste d'abréviation.

Recherche bibliographiques.

Introduction Général.....07

Chapitre I

Introduction.....08

I-1. Historique gestion de déchet	08
I -1-1. AU MOYEN ÂGE	08
I -1-2 À LA RENAISSANCE	08
I -1-3 AU XVIIÈME SIÈCLE	09
I -1-4 AU XVIIIÈME SIÈCLE	09
I -1-5 AU XIXÈME SIÈCLE.....	09
I -1-6 DÉBUT DU XXÈME SIÈCLE	10
I-2-Généralité des déchets	10
I -2.1.Définition de déchet	10
I -2.2.Définition de gestion de déchet	11
I -2.3.Cadre Légal / Aspects Légaux	11
I -2.4.Dangers Des Déchets	13
I -2.5.Autres dangers	14
I -2.6.consignes générales	14
I -2.7.Genre De Décets Communs.....	15
I -2.8. Catégories De Déchets Avec Détails Et Leur Provenance	15
I -3. la chaîne logistique	17
I -3.1.Définition de la chaîne logistique inverse.....	18
I -3.2.Les types de la logistique inverse.....	20
I -3.3.La logistique des retours.....	20
I -3.3.1.Définition de la logistique verte.....	20
I -3.4.Le recyclage.....	20
I -3.4.1.les symboles de recyclage.....	21
I -3.4.2.Les avantages.....	23
I-5- l'usine ALZINC	23
I-5.1.hstorique.....	23

I -5.2-Ateliers de production	24
I -5.2.1.Grillage- acide	24
I -5.2.2.Purification	25
I -5.2.3.Lixiviation	25
I -5.2.4.Electrolyse Zinc	27
I -5.2.5.Electrolyse Cuivre:.....	27
I -5.2.6.Refonte	27
I -5.3-Atelier de pastille de zinc	28
I-5.3.1.Ateliers de soutien technique	28
I -5.3.1-A. Atelier utilités	28
I -5.3.1-B. Laboratoire central	30
I -5.3.1-C. Maintenance mécanique.	31
I -5.3.1-D. Maintenance électrique et régulation	31
I -5.3.1-E. Gestion des stocks	32
I -6. Problématique	32
I- 6.1.Analyse de problème.....	33
Conclusion	34

Chapitre II

Introduction	34
II-1-GÉNÉRALITÉS	34
II-2-Théories descriptives du phénomène de séchage	35
II-3-Modes de séchage	36
II-4-caractérisation des solides humides	37
II-4.1. Humidité d'un solide.....	37
II-4.2. Description du solide humide.....	37
II-5-Les types de séchage	37
II-6-Transferts de matière	41
II-7- Transferts d'eau en séchage	41
II-8-Description physique du séchage	42
II-9-Courbes de séchage	44
II-10-Les séchoirs	47
II-11-Appareillage	47
II-11.1. Séchage par conduction.....	48
II-11.2. Séchage par convection.....	48
II-11.3. Séchage par atomisation.....	48
II-11.4. Séchage par lyophilisation.....	49
II-12-Équipements Annexes Des Sécheurs	49
II-12.1. Filtres.....	49

II-12.2. Ventilateurs.....	49
II-12.3. Déshumidificateurs de l'air.....	50
II-12.4. Réchauffeurs d'air.....	50
II-12.5. Récupération thermique.....	50
II-13-Problèmes Générés Par Le Séchage.....	50
II-13.1. Risques d'explosion.....	50
II-13.2. Protection de l'environnement.....	51
Conclusion.....	51
Chapitre III	
Introduction.....	52
III-1.l'analyse de laboratoire.....	53
III-2.l'analyse economiqu.....	54
III-3.Conception mécanique.....	55
III-3.1. Introduction à la CAO.....	55
III-3.2. Les principaux logiciels dévoués à la CAO.....	55
III-3.3. Les éléments nécessaires à la conception du procédé.....	55
III-3.4. Dessin 2 D et dessin 3D a laide de logiciel CATIA V5.....	56
III-3.5. Conception par CATIA V5 pour ce mécanisme innovant dessin 3D avec toute la surface Vue principale.....	59
III-4.Partie automatique et le mode de fonctionnement.....	61
III- 5. Mode fonctionnement de système.....	64
III-6.Résultat et discision.....	65
Conclusion.....	69
Conclusion générale.....	70

Remerciement

En préambule de ce mémoire, nous remercions ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

*Ces remerciements vont tout d'abord au Monsieur **Boumadian Belarbi** , **Charef Abdesamaed** qui se sont toujours montrés à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.*

*On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.
Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis- **Amin-**, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.*

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes chers parents ma mère et mon père

*Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs
encouragements*

À mon frère Adel et sa fille Ritadj

À ma sœur Mariem

À toute ma famille

À mes chers amis Norislam, Houssin, Walid, Amine

À mes camarades

Sans oublier tout les professeurs que ce soit

du primaire, du moyen, du secondaire ou

de l'enseignement supérieur

Debbah Abdelhak

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes chers parents ma mère et mon père

*Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs
encouragements*

*À mes frères et mes sœurs Saadia, Hadda, Karima,
Yamina, Nadja, Mebarek, Med-said, Abd-elkader, et
Abdel-ouahab.*

À toute ma famille

À mes chers amis Dalli, Houssin, Sedik, Lotfi, Boubaker

À mes camarades ; À ma chère Chames

Et à tous mes professeurs lors de ma carrière académique

Djeraoui Ahmed

Tables des matières :

Liste des figures.

Figure I.1: Définition de la logistique inverse proposée avec ses inter-relations des définitions précédentes.....	19
Figure I.2 : Le nouveau schéma logistique global de l'économie.....	19
Figure I.3-les flux de matières solides et organiques qui traversent un territoire.....	20
Figure I.4 : la logistique inverse.....	22
FigureI.5 : la société d'ALZENC.....	24
FigureI.6 : Le four de grille.....	24
FigureI.7: montage simplifié de lixiviation.....	26
FigureI.8: atelier d'électrolyse d'ALZINC.....	27
FigureI.9: Atelier de refonte et stockage du zinc en lingot d'ALZINC.....	28
FigureI.10: Photo de service d'analyse classique de laboratoire.....	30
Figure II. 1 : représentation d'un solide humide.....	37
Figure. II. 2 : représentation schématique d'un solide humide.....	42
Figure. II. 3: Courbe de séchage $n_s = f(t)$	42
Figure. II. 4 : Courbe de séchage $dn_s/dt = f(t)$	43
Figure. II. 5 : Courbe de séchage $dn_s/dt = f(n_s)$	43
Figure. II.6 : périodes du séchage.....	45
Figure III.1 : la production de zinc dans le monde.....	54
Figure III.2 : cuve avec leur support.....	56
Figure III.3 : ventilateur.....	56
Figure III.4 : vérin.....	56
Figure III.5 : tuyaux.....	57
Figure III.6 : Convoyeur à vis.....	57
Figure III.7 : presse hydraulique.....	57
Figure III.8 : moteur pas à pas.....	58
Figure III.9 : capteur.....	58
Figure III.10 : schéma du processus de travail.....	59

Figure III.11 : schéma papier	60
Figure III.12 : Vues du mécanisme	60
Figure III.13 : plan présenté graphe sept de système	61
Figure III.14 : Photo capturée du logiciel STEP SEPT	62
Figure III.15 : la simulation par Arena	65
Figure III.16 : Photos capturées de la simulation par logiciel Arena L'état après l'installation de système.....	67

Liste des Tableaux.

Tableaux I.1 : les résultats d'analyse de partie lixiviation.....	33
Tableaux I.2 : caractéristique partie de lixiviation.....	33
Tableau III.1 : représente les Prix de vente des produits finis.....	54
Tableau III.2 : présentation de cahier de charge.....	55

Listes d'abréviation :

LTox : Loi fédérale sur le commerce des toxiques (Loi sur les toxiques).

OTox : Ordonnance sur les toxiques.

OBPL : Ordonnance du 2 février 2000 sur les bonnes pratiques de Laboratoire (Ordonnance BPL).

LPE : Loi fédérale sur la protection de l'environnement (Loi sur la protection de l'environnement).

OEIE : Ordonnance relative à l'étude de l'impact sur l'environnement.

OPAM : Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (O sur les accidents majeurs).

Osubst : Ordonnance sur les substances dangereuses pour l'environnement (O sur les substances).

OCOV : Ordonnance du 12 novembre 1997 sur la taxe d'incitation sur les composés organiques volatils.

OSol : Ordonnance sur les atteintes portées aux sols.

LEaux : Loi fédérale sur la protection des eaux.

OEaux : Ordonnance sur la protection des eaux.

OPEL : Ordonnance sur la protection des eaux contre les liquides pouvant les polluer.

LSIT : Loi fédérale sur la sécurité d'installations et d'appareils techniques.

OSIT : Ordonnance sur la sécurité d'installations et d'appareils techniques.

LTr : Loi fédérale sur le travail dans l'industrie, l'artisanat et le commerce (Loi sur le travail).

OLT 3 : Ordonnance 3 relatives à la loi sur le travail.

LAA : Loi fédérale sur l'assurance-accidents.

OPA : Ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles (O sur la prévention des accidents).

OPTM : Ordonnance sur la protection des travailleurs contre les risques liés aux microorganismes.

SDR : Ordonnance relative au transport des marchandises dangereuses par route.

OELDA : Ordonnance concernant l'élimination des déchets animaux.

p : Pression partielle d'eau.

P : Pression de vapeur d'eau.

P_t : Pression totale.

Q : Quantité de chaleur transférée.

A : Surface d'échange.

T_s : Température de l'air de séchage.

T_a : Température superficielle.

α : Coefficient d'échange par convection.

T₁ : Température de la source émettrice.

T₂ : Température du produit.

A₁ : Surface du corps recevant le rayonnement.

A₂ : Surface de l'émetteur infrarouge.

φ : Facteur de complexe.

ε₁ : Emissivité du produit.

ε₂ : Emissivité de l'émetteur.

ns : taux d'humidité.

M : Masse du produit à sécher.

A : Surface du transfert d'humidité.

P_s : Pression de vapeur d'eau.

P_w : Pression partielle de la vapeur d'eau.

K_G : Coefficient global de transfert de matière.

X : variations de l'humidité absolue.

-dX/dt : variation de la vitesse de séchage.

Référence bibliographie

Chapitre I

- [1]- bendjelloul.A pfe pour l'obtention de diplôme _master_ université Abou-bader belkaid Tlemcen.
- [2]-bref historique et exemples de gestion des déchets ménagers.
- [3]-Le recyclage (*Mirakoff Alexandra ;Eberlin Ludovic ;Gesnel Corentin ;Messaraa Cyril*).
- [4]-*Gestion de déchet (jean michel balet)*.
- [5]-logistique (Production • Distribution • Soutien) yves pimor michel fender.
- [6]-fichepr-9-dechets.
- [7]-rapport d'analyse (société ALGERIENNE de zinc).
- [8]- (CUSSTR/ gestion des déchets/080205).
- [9]:<http://webmineral.com/data/jarosite,shtml>.
- [10]-A. VAN CEULEN et C.EUSEBE : «traitement des résidus de l'hydrométallurgie de zinc
»Revue de métallurgie.
- [11]-[http://fr.wikipedia.org/wiki/Trémie_\(architecture\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Trémie_(architecture)).
- [12]-<http://www.directindustry.fr>.
- [13]- SALAH AHMED, Mémoire de L'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Chimie Industrielle. Extraction de Zinc dans les résidus solides de la lixiviation par Procédé Jarosite en utilisant les sels alcalins2010/2011.

CHAPITRE II

- [1]: Slimane Boughali, Doctorat En Sciences En Génie Mécanique, Etude Et Optimisation Du Séchage Solaire Des Produits Agro-alimentaires Dans Les Zones Arides Et Désertiques, 13/07/2010,
- [2] : Boussalia Amar, MEMOIRE Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Génie Climatique (Contribution A L'étude De Séchage Solaire De Produits Agricoles LOCAUX) . UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE 27/06/2010 page (4.6.8.9.10.13)
- [3] :Pdf SÉCHAGE DES SOLIDES.
eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/sechage_solide.pdf // GÉNÉRALITÉS.
Le **séchage** a pour but d'éliminer par vaporisation le liquide qui imprègne un **solide**. Il est largement utilisé dans ... ,02/02/2016 (page 1.3.4.8.12.13.14.17).

**Chapitre I : Connaissances
préliminaires des déchets,
leurs formations et l'étude
de rebus d'ALZINC à l'état
initial**

Introduction générale

Depuis quelques années nous remarquons, que la qualité de l'air et de la terre se détériore en raison de certains paramètres, dont notamment la pollution et l'accroissement du nombre de déchets. C'est pour cela qu'actuellement, de nombreux pays cherchent des alternatives pour pallier à ce problème.

C'est ainsi, qu'apparaît la notion de développement durable sur le plan énergétique en environnemental. Cependant l'aspect du développement durable que nous avons choisi d'étudier est le recyclage, la valorisation des déchets et leur réutilisation.

Introduction

Dans ce chapitre on va présenter l'historique de gestion de déchet, généralité sur les déchets et la chaîne logistique puis identification d'usine ALZINC enfin présentation de problématique.

1)-Historique gestion de déchet

Avant la révolution industrielle, les déchets sont majoritairement organiques. L'emballage n'existe quasiment pas et donc, on jette peu. Néanmoins, un certain nombre de déchets posent de problème aux autorités à ces époques lointaines. Par exemple, les villes de Teotihuacán ou de Rome à l'époque d'auguste (63 av. j.c.- 14 ap. j.c.) comptent 1 million d'habitants (équivalent à Bruxelles, aujourd'hui). Cela représente une grande quantité de déchets organiques issus des fosses d'aisances et l'absence d'égouts rend le problème du traitement des déchets difficiles à résoudre. Pour répondre aux besoins de la population les autorités ont installé des toilettes publiques ainsi que des fosses en dehors des grandes villes où les habitants déposent leurs ordures. En emportant leurs déchets hors des villes, dans des lieux spécifiquement réservés à cet effet, on observe la création des Premières décharges publiques. [2]

1-1.Au moyen âge

Dans la seconde moitié du Moyen-âge, le commerce se développant. De plus en plus de personnes quittent la campagne pour la ville. Les règles élémentaires d'hygiène ne sont pas pratiquées. Les habitants jettent leurs déchets, excréments, carcasses d'animaux tout simplement dans la rue ou dans le cours d'eau le plus proches (seule source d'eau potable de l'époque).

Les villes sont boueuses, sales, et malodorantes. De nombreuses maisons ont des lieux d'aisances placés au grenier qui s'écoulent au milieu de la rue. Dans tous les quartiers on crée des puits où chacun doit déverser ses immondices.

Mais les gens ne respectent pas les règlements. Ils refusent de porter les déchets aux endroits prévus. Bien entendu, les épidémies sont nombreuses. La Peste noire (1346 à 1353) a fait vingt-cinq millions de morts en Europe à elle seule. Les médecins de l'époque mettent bien évidemment les ordures en cause. Là, où ils se trompent, c'est qu'ils accusent les odeurs issues des déchets et non les déchets eux-mêmes infestés de bactéries et microbes. La science ignore encore leur existence. [2]

1-2. À la renaissance

Les excréments et déchets sont toujours jetés dans les rues ou déversés dans les rivières qui deviennent de vrais égouts.

Les étuves où se baignaient les gens du Moyen-âge deviennent des lieux de mauvaise fréquentation. Comme ils n'ont pas de salles de bain dans leur habitation, l'hygiène se dégrade davantage. Il y a donc de nouvelles épidémies entre 1500 et 1530. Les autorités des villes ont fait

de nombreuses tentatives pour améliorer la situation, mais les progrès restent infimes. Le problème est que les gens sont beaucoup plus préoccupés par leur survie que par la gestion des déchets.[2]

1-3. Au XVIIème siècle

À cette époque, les déchets profitent à plusieurs classes de la société. Par exemple, les agriculteurs viennent chercher les boues des villes et s'en servent pour fertiliser leurs sols. Les porcs sont mis à contribution et deviennent des éboueurs naturels. On les laisse se promener librement dans les rues où ils trouvent leur casse-croûte. La récupération et le recyclage prennent de plus en plus de place. Au fil des siècles, dans ce secteur, un véritable corps de métier se développe, les chiffonniers. Ils font la tournée de la ville pour ramasser tout ce qui peut avoir une certaine valeur : cheveux, morceaux de cuir ou de métal, vieux vêtements et tissus, débris de verre et os d'animaux.

Les os peuvent être bouillis pour obtenir de la graisse servant à fabriquer des chandelles et du beurre économique. Les plus beaux morceaux sont transformés en boutons, manches de couteaux et brosses à dents. Les vieux chiffons sont acheminés aux ateliers qui produisent le papier. Quant aux cheveux, ils entrent dans la fabrication de postiches. Bref, rien d'utile ne se perd. Les chiffonniers se recrutent parmi les gens les plus pauvres. À cause de leur misère et de leur métier, ils sont souvent méprisés, même s'ils sont très utiles à la société. Henri IV construit la première machine hydraulique pour avoir de l'eau potable. Sous Louis XIV la situation commence à s'améliorer parce que la police taxe lourdement les gens qui ne respectent pas la loi. [2]

1-4. Au XVIIIème siècle

Les excréments humains doivent être retenus dans des fosses situées sous les maisons. Une fois pleines, elles sont vidangées et leurs contenus sont transportés en dehors des villes. Malgré tout, les rues sont toujours des véritables dépotoirs et beaucoup de gens vident encore leur pot de chambre par la fenêtre. L'hygiène générale reste toujours peu développée. [2]

1-5. Au XIXème siècle

La fin du dix-neuvième siècle marque un tournant dans l'histoire des déchets des villes occidentales. Les découvertes de Louis Pasteur en 1870 sur le rôle des bactéries rendent les gens, peu à peu, sensibles à l'importance d'une meilleure hygiène.

Les autorités locales commencent à intervenir davantage dans la gestion des déchets.

Le 24 novembre 1883, le préfet de Paris, Eugène Poubelle, oblige tous les propriétaires d'immeubles à se procurer des récipients spéciaux munis d'un couvercle pour y déposer leurs ordures ménagères afin qu'elles ne soient plus éparpillées dans la rue avant d'être ramassées par les services de voirie. Il s'agit du premier essai de collecte sélective puisque les citoyens doivent trier leurs ordures: les matières putrescibles, les papiers et les chiffons, la faïence, etc. Mais, au commencement le projet a peu de succès. Comme les villes sont moins sales, les agriculteurs deviennent de plus en plus réticents à utiliser les boues des villes. La peur des maladies, la modification des déchets et l'apparition des engrais chimiques rendent ces boues moins désirables. Quant aux chiffonniers,

l'utilisation de la pulpe de bois au lieu des chiffons pour produire le papier donne un dur coup à leur gagne-pain. Paris montre l'exemple en disposant de centres de traitement de déchets très performants. Les déchets ou gadoue sont amenés dans des tombereaux (voiture en tôle tirée par des chevaux) puis vidés dans une fosse.

Des ouvriers qui se trouvent dans la fosse amènent ceux-ci dans un transporteur tandis que des chiffonniers récupèrent les papiers, chiffons, os, boîtes de conserve.

D'autres ouvriers retirent les ferrailles, poteries, tôles émaillées afin de ne laisser passer que les matières utiles à l'agriculture. Cette gadoue triée est ensuite broyée est transformée en engrais. Ce qui ne peut être vendu à l'agriculture est détruit dans des fours qui donnent de la vapeur et de l'électricité et cela dès 1896. [2]

1-6. Début du XXème siècle

Dans certains pays, on privilégie l'incinération pour les vertus purificatrices du feu. Par la suite, on s'est rendu compte des problèmes de pollution de l'air que cette méthode comportait, libération de dioxyde de soufre, de dioxines ou encore de mercure. Ce qui engendrait bien sûr des problèmes de santé pour la population avoisinante. À partir de 1920, au Canada, aux États-Unis, en Allemagne ou encore dans plusieurs pays de l'est, on commence à créer des lieux d'enfouissements sanitaires à la place des classiques décharges publiques. L'entassement et le recouvrement des déchets se font de façon rationnelle dans des sites choisis avec soin. Après la Seconde Guerre mondiale, ces sites d'enfouissement connaissent un essor foudroyant. Durant quelques décennies, La récupération et le recyclage ne sont plus d'actualité. Puis, les récessions économiques et la prise de conscience que nos sacs poubelles contiennent des ressources incroyables ramènent, au goût du jour, ces activités. Aujourd'hui, la récupération et le recyclage prennent de multiples visages. La plupart des régions ont un programme de collecte du papier, du verre, du plastique et du métal. Nous arrivons presque à une optimalisation du recyclage et de la valorisation. [2]

2)-GENERALITE SUR LES DECHES

2-1. Définition de déchet

Un déchet résultant ou non d'un traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux". La circulaire d'avril 1998 précise que "les déchets ultimes sont les déchets dont on a extrait la part récupérable ainsi que les divers éléments polluants comme les piles et les accumulateurs". un déchet est « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien, meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ». Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet. Ce n'est pas pour autant que cet élément est inutilisable, en l'état ou après modification. Seuls les déchets qualifiés d'ultimes sont réellement inutilisables et doivent être stockés pour éviter des pollutions de l'environnement.

2-2. Définition de gestion de déchet

Est l'opération d'élimination ultime des déchets. Il concerne la fraction des déchets qui ne peut pas être valorisée par réemploi ou recyclage dans des conditions techniques et économiques du moment. L'appréciation du caractère ultime des déchets est opérée au niveau des territoires couverts par les plans d'élimination des déchets. [2]

2-3 Cadre Légal / Aspects Légaux

Considérant la diversité des risques liés aux déchets de laboratoire, tant en nature qu'en sévérité, il n'est pas surprenant que leur gestion soit visée par une collection substantielle de lois et d'ordonnances fédérales, qui sous-entendent les dispositions cantonales correspondantes. Les organes d'exécution cantonaux chargés de l'application des lois fédérales et cantonales diffèrent d'un canton à un autre, non seulement dans leur dénomination mais aussi dans l'attribution de leurs domaines de compétence. Un bref sommaire présenté ci-dessous articule la structure du recueil du droit fédéral et ne recense que les dispositions les plus spécifiques. Un répertoire plus complet figure à la fin des explications. [4]

RS 813 Commerce des toxiques :

1. Loi sur les toxiques (LTox)
2. Ordonnance sur les toxiques (OTox)
3. Ordonnance sur les fiches de données de sécurité.

OTox – L'article 2 définit les notions d'acquisition et de fourniture ainsi que les mesures propres à rendre les toxiques inoffensifs. Les articles 31 et suivants décrivent les autorisations générales pour l'acquisition de toxiques. L'art. 36 a précise les conditions de remise d'une fiche de données de sécurité. Les articles 43 et 44 spécifient les conditions d'emballage, d'étiquetage et l'article 49 définit les conditions d'entreposage des toxiques.

Ordonnance sur les fiches de données de sécurité – Les articles 2, 5 et 6 spécifient les conditions de remises de telles fiches (FDS). Plusieurs catégories de produits pouvant apparaître dans des déchets de laboratoire sont exemptées de l'obligation d'être munies de FDS, notamment les agents thérapeutiques, les médicaments et les produits phytosanitaires. Ces produits restent cependant soumis aux dispositions régissant les déchets spéciaux.

RS 814 Protection de l'équilibre écologique

- Loi sur la protection de l'environnement (LPE).
- Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux).
- Loi sur la radioprotection (LRaP).
- Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (OPAM)
- Ordonnance sur les substances dangereuses pour l'environnement (Osubst).
- Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux).
- Ordonnance sur la radioprotection (ORaP).
- Ordonnance sur les déchets radioactifs soumis à l'obligation de livraison
- Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD).

- Ordonnance sur les mouvements des déchets spéciaux (ODS).
- Ordonnance sur l'utilisation des organismes en milieu confiné (OUC).
- CUSSTR/ gestion des déchets/080205.

OPAM – L'article 1 définit son champ d'application et y inclut les microorganismes pathogènes ou génétiquement modifiés. L'article 10 traite du transport des matières dangereuses.

Osubst – L'article 6 indique que la notion juridique de fabricant s'applique aussi aux laboratoires de recherche chimique. L'article 9 étend le devoir général de diligence aux déchets et prescrit d'observer les précautions indiquées par les fournisseurs ainsi que les restrictions spécifiques relatives à des substances ou à des groupes de produits. L'article 10 prescrit de limiter les rejets dans l'environnement.

OEaux – L'article 6 délimite les déversements admissibles d'eaux industrielles. L'article 10 précise l'interdiction d'éliminer les déchets avec les eaux à évacuer. le traitement des déchets radioactifs. Plus spécifiquement l'article 2 de l'ordonnance sur les déchets radioactifs soumis à l'obligation de livraison définit l'obligation de séparer les déchets radioactifs des déchets inactifs. L'article 3 de cette même ordonnance traite des déchets radioactifs qui contiennent en plus des substances dangereuses ou des matières infectieuses ou putrescibles.

OTD – Au sens de l'article 3, le stockage provisoire de déchets fait partie des traitements, mais ni de la collecte, ni du transport. L'article 12 exprime l'obligation de principe de valoriser les déchets. L'article 37 précise les conditions applicables aux dépôts provisoires.

ODS – L'article 2 soumet les postes de collecte pour petites quantités de déchets spéciaux aux exigences applicables à toutes les entreprises publiques ou privées. Les services des cantons et des communes sont considérés comme des entreprises. L'article 8 prescrit la mention "Déchets spéciaux" et l'indication du nom de document de suivi sur les emballages et récipients de déchets spéciaux, mais ne donne pas d'autre précision quant à l'indication de la nature du contenu.

OUC – Cette ordonnance renvoie largement à d'autres dispositions, dont l'OPAM et l'OPTM. Elle couvre tous les microorganismes et les organismes génétiquement modifiés (OGM). L'article 4 exprime le devoir général de précaution. L'article 9 traite de la procédure d'autorisation y compris la nature et le traitement des déchets. L'article 10 énumère les mesures de sécurité obligatoires.

RS 822 : Protection des travailleurs :

- Loi sur le travail (LTr).
- Loi fédérale sur l'assurance-accidents (LAA).
- Ordonnance 3 relatives à la loi sur le travail (OLT 3).
- Ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles (OPA).
- Ordonnance sur la protection des travailleurs contre les risques liés aux microorganismes (OPTM).

OLT 3, OPA : Les dispositions de ces deux ordonnances sont applicables à l'ensemble du personnel de l'administration et des établissements publics hospitaliers et d'enseignement. Elle s'étend

explicitement aux élèves et étudiants fréquentant les établissements publics hospitaliers et d'enseignement.

OPTM : Cette ordonnance reprend la classification des risques de l'OUC. Elle précise aux articles 5 à 7 les modalités d'évaluation des risques. Les articles 8 et 9 décrivent les mesures de sécurité à prendre y compris en ce qui concerne les déchets et les rejets par les affluents.

Autres dispositions pertinentes

1. Ordonnance relative au transport des marchandises dangereuses par route (SDR /ADR).
2. Ordonnance concernant l'élimination des déchets animaux (OELDA).
3. Convention de Bâle du 22 mars 1989 sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination.

OELDA : L'article 3.6 inclut les cadavres animaux dans les déchets animaux dits à haut risque dont le traitement et la valorisation éventuelle sont réglés par l'article 5. En vertu de l'article 9, les dispositions de l'ODS et de l'ORaP sont applicables si les déchets animaux contiennent des substances chimiques soumises ou sont radioactifs.

La Convention de Bâle affirme la volonté des parties contractantes de réduire au mieux les mouvements transfrontaliers de déchets de toute nature. Elle exige dans son article 4.7 un emballage, un étiquetage et un transport conformes aux règles et pratiques internationales acceptées et reconnues et dans son article 4.8, une gestion écologiquement rationnelle des déchets exportés. L'article 4.9 définit les critères d'acceptation de mouvements transfrontaliers de déchets. [4]

2-4.Dangers Des Déchets

L'option principale en matière de déchets est de réduire leur production. A l'instar d'autres résidus non valorisables, le déchet de laboratoire le mieux gérable est celui qu'on n'a pas produit, soit en limitant sa quantité, soit en retardant ou en évitant la déchéance d'une matière ou d'un objet au stade de déchet. Une gestion rigoureuse permet de limiter l'accumulation de matières périmées ou dégradées. A part quelques exceptions, les déchets chimiques sont groupés par classes et certains produits chimiques

Peuvent avantageusement être neutralisés sur le lieu de production, notamment les substances hautement réactives ou à très haute toxicité. Tout déchet représente un danger plus ou moins important si toutes les dispositions par rapport à la sécurité, la protection des personnes et de l'environnement ne sont pas respectées. Les dangers peuvent aller de la simple coupure à la brûlure, à l'intoxication bénigne ou grave, au feu, à l'explosion, voire jusqu'à la mort des victimes. Chaque établissement doit donc se conformer aux dispositions légales en vigueur en vue de la protection de sa propre personne et d'autrui vis-à-vis de tout danger. Les déchets reflètent donc aussi la politique d'hygiène et de sécurité en vigueur dans l'établissement dont ils proviennent.

En termes de pondération des risques, les dangers intrinsèques des déchets aussi bien que des travaux en laboratoire conduisent à placer leur gestion prioritairement sous l'angle de la santé et de la sécurité au travail, condition préalable à une gestion responsable des impacts sur l'environnement et à un développement durable. [4]

2-5. Autres dangers

Le problème du tri et du traitement se complique dès qu'un déchet relève simultanément de plusieurs catégories ou sous-catégories. Il est donc judicieux d'éviter dans toute la mesure du possible de constituer des hybrides. S'ils sont inévitables on peut dans la grande majorité des cas recourir à une hiérarchisation basée sur les méthodes de traitement. Un déchet biologique contenant des substances toxiques sera en principe traité en fonction de ces dernières, sous réserve d'une stérilisation primaire préalable.

Le problème le plus difficile est sans conteste celui des substances et des déchets de nature inconnue, par insuffisance, absence ou altération du marquage, ou par altération du contenu. Ce problème se rencontre plus particulièrement avec certains stocks anciens de produits commerciaux, ou avec des produits de synthèse incomplètement caractérisés. On le rencontre également dans certains actes d'investigation (police scientifique, médecine légale, pollutions accidentelles, transports et trafics illicites). Seule l'intervention de spécialistes permet alors une prise en charge correcte, qui passera, le cas échéant, par une approche analytique en vue de déterminer le traitement le plus approprié ce qui implique un coût supplémentaire à facturer au producteur responsable.

Tout stockage, manipulation de déchets, de produits ou matières dangereuses peuvent prendre une tournure catastrophique. Cela peut aller du feu d'un local en passant par l'explosion d'un bâtiment pouvant entraîner une catastrophe régionale, nationale voire internationale. Les faits en la matière vécus précédemment à Schweizer halle, Seveso, Bophal, Tschernobyl ou Toulouse sont toujours dans nos mémoires. Chaque utilisateur produisant des déchets doit en assumer sa responsabilité de producteur et en assumer la gestion dans les règles de l'art. Ils doivent prendre toutes les dispositions qui s'imposent à gérer au plus près de sa conscience ses déchets afin de laisser aux générations futures une planète aussi propre que possible. [4]

2-6. consignes générales :

Dans les établissements ou institutions où l'affluence et la rotation de personnes sont importantes, il est indispensable de mettre en place les mesures ou dispositions suivantes:

- tri et conditionnement du produit "déchets" à la source.
- étiquetage approprié selon directives et ordonnances fédérales et cantonales.
- lieux de stockage appropriés et sécurisés.
- contrôle d'accès surveillé (technique/humain).
- secteurs à risques: contrôle/surveillance vidéo et analyses détaillées.
- plans d'évacuation et points de rassemblement.
- No de premiers secours et d'intervention.
- plan d'intervention et clefs/badges d'accès par bâtiment/secteur pour Service du feu et Police.
- maintenance/entretien du matériel/équipements de recherche et d'enseignement ainsi que des équipements de stockage/tri/conditionnement.

- maintenance/entretien des installations de ventilation, d'aspiration/extraction et de climatisation.

- détection feu/fumée – gaz – radioactivité

Mesures constructives

- installations d'extinction – mises à terre – électricité statique
- équipements anti-déflagration-explosion.
- bacs et installations de rétention (mobiles-fixes).
- signalisation de secours – sorties.
- accès et sorties de secours.
- statique de la construction selon les prescriptions.
- équipements "EX" – prises – fiches – luminaires, etc. [4]

2-7.Genre De Déchets Communs :

1. Déchets inorganiques avec métaux dissous.
2. Solvants et déchets contenant des solvants.
3. Déchets liquides huileux.
4. Déchets de peinture, vernis, colle, mastic et déchets d'imprimerie.
5. Déchets de boues de fabrication, de préparation et du traitement des matériaux (métaux, verre, etc.).
6. Déchets d'usinage ou de traitements mécaniques ou thermiques.
7. Résidus de cuisson, fusion, incinération.
8. Déchets de synthèse et autres procédés de la chimie organique.
9. Déchets inorganiques de traitements chimiques, liquides ou boueux.
10. Déchets inorganiques solides de traitements chimiques.
11. Déchets de l'épuration des eaux usées et du traitement de l'eau.
12. Matériaux et appareils souillés.
13. Refus de fabrication et déchets ainsi que objets, appareils et substances usés.
14. Déchets de l'entretien des voies publiques. [4]

2-8.Catégories Des Déchets Avec Détails Et Leur Provenance

a. Déchets chimiques.

a.1 contaminés chimiquement.

a.2 non-contaminés chimiquement.

b. Déchets biologiques :

b.2 modifiés et générés par les laboratoires.

b.3 objets piquants ou coupants.

b.4 matériels souillés par un OGM.

c. Déchets issus de confinement :

c.1 de matériel de laboratoire souillé par un agent biologique pathogène ou un OGM

- c.2** cadavres d'animaux sains ou infectés
- c.3** déchets anatomiques d'animaux non infectés ou infectés par un agent biologique ou OGM
- c.4** liquides biologiques d'origine humaine ou simienne
- c.5** litières d'animaux infectées par un agent biologique ou par un OGM

d. Déchets liquides d'OGM :

- d.1** déchets anatomiques et organes y compris le sang
- d.2** déchets à risques infectieux (hommes)
- d.3** déchets à risques infectieux (animaux)
- d.4** sang, urine, sérum, surnageant, etc.

e. Déchets radioactifs :

- e.1** déchets contenant des radioéléments artificiels
- e.2** déchets d'animaux ou de végétaux contaminés par des radioéléments artificiels
- e.3** sources scellées et appareils contenant des sources scellées
- e.4** déchets contenant des radioéléments naturels
- e.5** déchets contenant des matières nucléaires

f. Déchets anatomiques humains :

- f.1** pièces facilement reconnaissables
- f.2** pièces difficilement reconnaissables
- f.3** CUSSTR/ gestion des déchets/080205

g. Déchets ménagers :

- g.2** combustibles
- g.3** non-combustibles

h. Déchets recyclables (extrait) :

- h.1** papiers, cartons, journaux.
- h.2** boîtes en fer blanc, aluminium, fer.
- h.3** verre, plastic, sagex.
- h.4** piles, tubes fluorescents, ampoules, batteries.
- h.5** huile ménagère.
- h.6** toner, supports magnétiques, rubans de machines à écrire

i. Déchets composables (extrait) :

- i.1** gazon coupé, herbes, branches (déchets verts).
- i.2** tonte de pelouse, taille d'arbres, terre.
- i.3** déchets verts alimentaires (non-cuits, salades, pelures, etc.).
- i.4** marc à café.

j. Déchets matériels électriques / électroniques (extrait) :

- j.1** câbles, compteurs, contacteurs, moteurs
- j.2** matériel informatique

j.3 frigos, congélateurs, machines de production de froid

k. Déchets industriels – voiries (extrait) :

k.1 matériaux d'isolation [non-contaminés-contaminés (amiante)]

k.2 bois issu de la construction ou de la démolition

k.3 bois contenant des substances dangereuses

k.4 huiles industrielles, aérosols, paratonnerre contenant une source radioactive

k.5 médicaments, produits phytosanitaires

k.6 béton, briques, caoutchouc, pneus, placo-plâtre

k.7 gravier, goudron/asphalte, boue d'égouts

k.8 matières plastiques. [4]

3)- LA CHAINE LOGISTIQUE

La logistique recouvre toujours des fonctions de transport, stockage et manutention et, dans les entreprises de production, tend à étendre son domaine en amont vers l'achat et l'approvisionnement, en aval vers la gestion commerciale et la distribution. On cite souvent la définition d'origine militaire : « La logistique consiste à apporter ce qu'il faut, là où il faut et quand il faut. »

On peut cependant distinguer plusieurs logistiques différentes par leur objet et leurs méthodes :

➤ **Une logistique d'approvisionnement**

Qui permet d'amener dans les usines les produits de base, composants et sous-ensembles nécessaires à la production.

➤ **Une logistique d'approvisionnement général**

Qui permet d'apporter à des entreprises de service ou des administrations les produits divers dont elles ont besoin pour leur activité (fournitures de bureau par exemple).

➤ **Une logistique de production**

Qui consiste à apporter au pied des lignes de production les matériaux et composants nécessaires à la production et à planifier la production ; cette logistique tend à absorber la gestion de production tout entière.

➤ **Une logistique de distribution**

Celle des distributeurs, qui consiste à apporter au consommateur final, soit dans les grandes surfaces commerciales, soit chez lui en VAD par exemple, les produits dont il a besoin.

➤ **Une logistique militaire**

Qui vise à transporter sur un théâtre d'opération les forces et tout ce qui est nécessaire à leur mise en œuvre opérationnelle et leur soutien.

➤ **Une logistique de soutien**

Née chez les militaires mais étendue à d'autres secteurs, aéronautique, énergie, industrie, etc., qui consiste à organiser tout ce qui est nécessaire pour maintenir en opération un système complexe, y compris à travers des activités de maintenance. [5]

3-1. Définition de la chaîne logistique inverse

L'expression américaine est *reverse logistics* (RL). On désigne par là un flux qui ne « descend » pas la *supply chain* mais la « remonte » depuis le consommateur vers le producteur : retours, envoi en réparations, invendus, etc. Mais c'est aussi plus que cela, car l'expression recouvre aussi bien, et plus souvent, les déchets dont on doit se débarrasser le plus écologiquement possible sans qu'ils reviennent au producteur... On ne sait donc trop comment traduire *reverse logistics* en français : « logistique des Retours » est souvent proposé mais ne correspond pas à tout ce qu'on veut désigner ; on a parfois proposé. « Logistique à rebours » ou « rétro logistique », mais nous avons préféré ici « logistique inverse », l'expression la plus proche de l'américain, même si elle n'est pas très appropriée à tous les flux concernés.

C'est un peu une nouvelle frontière de la logistique depuis quelques années.

Les entreprises, après avoir amélioré leur logistique descendante normale, ont consacré beaucoup d'efforts à la logistique inverse et de nombreuses sociétés de services en ont fait leur cheval de bataille avec des résultats, semble-t-il, souvent intéressants (**voir fig I.1 et fig I.2**).

La logistique inverse concerne en effet deux types d'activités tout à fait différentes mais qui ont toutes la caractéristique de ne pas être des flux de produits allant du producteur au consommateur :

1. le recyclage dans l'économie de l'ensemble des déchets résultant de la consommation ou production :
2. emballages de toutes sortes (palettes, cartons, bouteilles, tourets de câbles, containers, etc.) ;
3. déchets de production, eaux usées, huiles usées, etc. ;
4. produits en fin de vie, soit jetables, soit usés (automobiles, toners d'imprimantes, micro-ordinateurs, appareils ménagers, literie, etc.), qu'ils soient repris ou non par le vendeur ;
5. ordures ménagères, bien que leur traitement ne soit pas, peut-être à tort, considéré comme ressortant de la logistique, etc. ;
6. le traitement des flux de produits remontant plus ou moins directement un ou plusieurs maillons de la chaîne logistique :
7. produits refusés par le consommateur en VAD ou e-commerce ;
8. invendus (journaux, livres, articles démodés, restants de promotion, produits périmés ou en limites de péremption, etc.) ;
9. produits défectueux à échanger ou réparer ;

10. produits défectueux rappelés par le producteur, etc. [5]

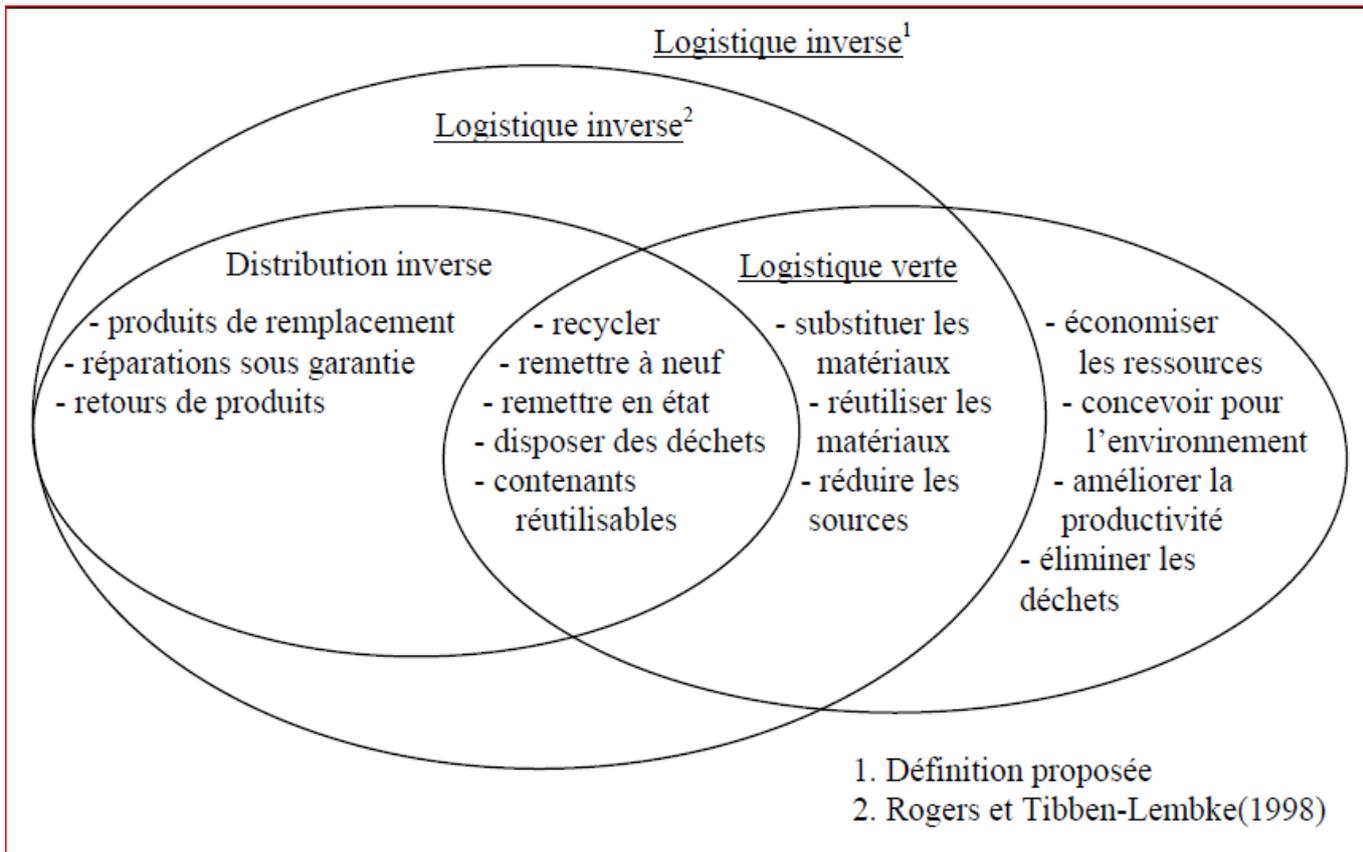


Figure I.1: Définition de la logistique inverse proposée avec ses inter-relations des définitions précédentes. [1]

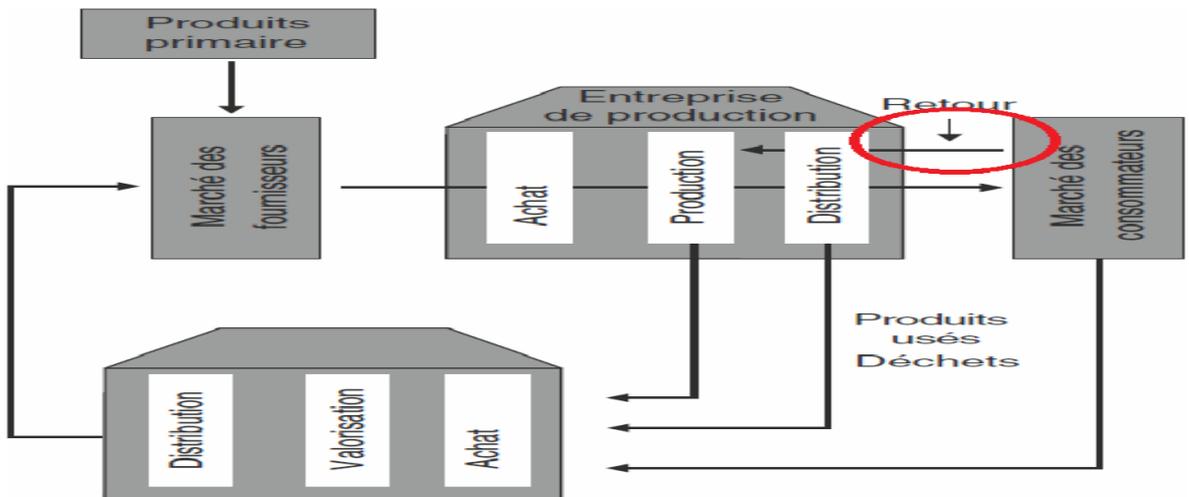


Figure I.2 : Le nouveau schéma logistique global de l'économie. [4]

3-2. Les types de la logistique inverse

- **Élimination** : comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances. Kk213.2
- **Récupération** : Opération de collecte et de tri des déchets, en vue du réemploi ou du recyclage de produits et de matériaux.
- **Recyclage** : Toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Cela inclut le retraitement des matières organiques, mais n'inclut pas la valorisation énergétique, la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage (exemple : fabrication de papier en incorporant des fibres issues de vieux papiers au lieu de pâte vierge).[6]

3-3 La logistique des retours

3-3-1. Définition de la logistique verte

On peut définir la logistique verte comme : « Système de distribution et de transport efficient ami de l'environnement ». Cependant disent que la logistique verte c'est plus que la logistique inverse par le fait qu'elle cherche à économiser les ressources, à éliminer des déchets et à améliorer la productivité. va plus loin en ajoutant qu'elle doit avoir la plus petite empreinte sur l'environnement. En conclusion, pour voir la situation de la logistique verte par rapport aux autres chaînes logistiques traditionnelles et inverse. (voir fig I.3) [1]

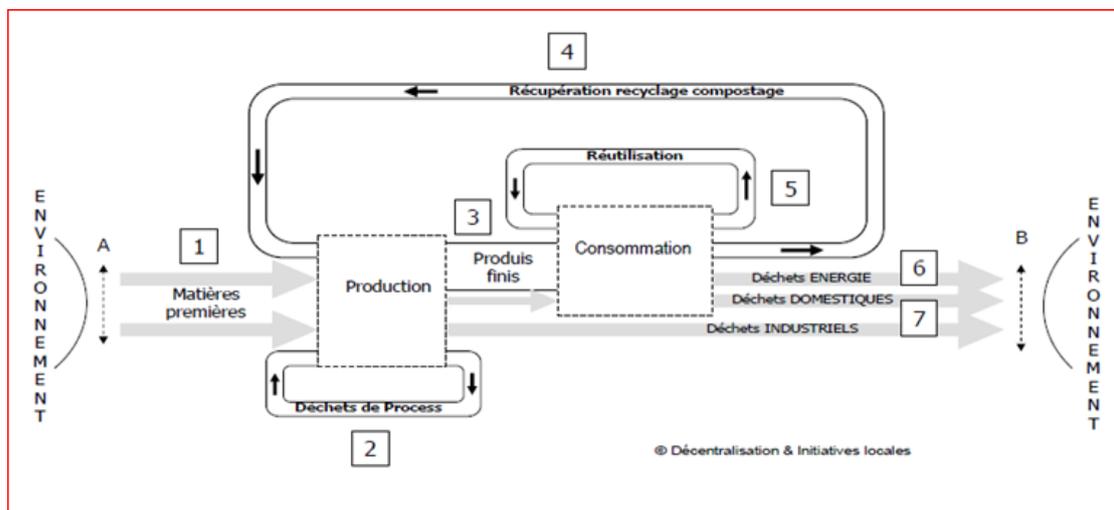


Figure I.3 : les flux de matières solides et organiques qui traversent un territoire. [1]

3-4 Recyclage :

Cette récupération sans véritable transformation, permet d'obtenir un matériau moins coûteux que la matière première naturelle et qui en a les mêmes propriétés. Cette simple constatation permet de penser sans grand risque d'erreur que le recyclage dispose d'un bel avenir partout où il est applicable, en particulier pour le verre, pour les ferrailles, pour l'aluminium et pour les autres métaux non ferreux. La collecte séparative, bien établie depuis longtemps, est suivie de traitements spécifiques de valorisation utilisant des méthodes éprouvées. Les papiers-cartons font aussi l'objet d'un recyclage, mais, dans leur cas, le résultat est le plus souvent nettement moins beau que celui qu'aurait permis une matière première neuve : l'obtention d'un produit de qualité requiert en effet un traitement coûteux, en particulier de désencrage.

Cependant, la bureautique et la presse écrite, qui utilisent de plus en plus le papier recyclé, se contentent généralement de qualités moyennes, ce qui laisse présager une pérennité du marché, même en l'absence de traitements spécifiques coûteux. Certains plastiques peuvent aussi être traités par recyclage. Bien que certains procédés soient déjà bien maîtrisés, la filière est encore loin de la maturité.

Si la valorisation des déchets présente des contraintes.

3-4-1 les symboles de recyclage

Si vous êtes observateur, vous aurez sans doute remarqué la multitude de signes graphiques (appelés pictogrammes), que l'on peut trouver sur les emballages des produits que nous achetons tous les jours. Reste à savoir ce qu'ils signifient réellement.

Certains symboles peuvent être mal interprétés et générer de fausses idées.

Voici donc quelques exemples de symboles plus ou moins courant ainsi que leur signification.

Ce signe est largement utilisé en Europe c'est le point vert. Il ne signifie pas que les emballages qui portent cette marque sont recyclables.

Il nous apprend juste que le fabricant a payé une taxe pour leur traitement ou leur recyclage en tant que futur déchet. Cette mesure est obligatoire pour tous les producteurs d'emballages de produits Alimentaires ou ménagers, en accord avec les directives de l'Union Européenne.

En France, l'un des organismes chargés de collecter et de gérer les fonds pour la transformation et la Valorisation des déchets ménagers s'appelle Eco-Emballages.

Ce signe, représentant 3 flèches formant un cycle triangulaire, signifie que l'emballage est bien recyclable, et à 100%. Il n'indique pas cependant le type de matière dont est composé l'emballage.



Ce symbole figure sur plusieurs types d'emballages mais on le rencontre surtout sur les boîtes Métalliques de boissons et nous incite à un geste civique en jetant ces boîtes bien vides dans les poubelles (ou dans le sac transparent) plutôt que sur la voie publique !

Les logos suivants apportent des informations sur les matériaux constitutifs des produits et donc facilitent le tri des déchets.



De gauche à droite, les symboles du verre, de l'aluminium, de l'acier, et du polyéthylène Haute densité.

Des symboles indiquent le caractère toxique des produits ou de leur contenu, pour l'homme ou pour l'environnement.

Leur élimination doit donc prendre en compte ces risques. C'est le cas par exemple des médicaments qui ne doivent être jetés dans les poubelles, ou pire dans les lavabos ou les WC, mais doivent faire l'objet d'une filière spécifique.

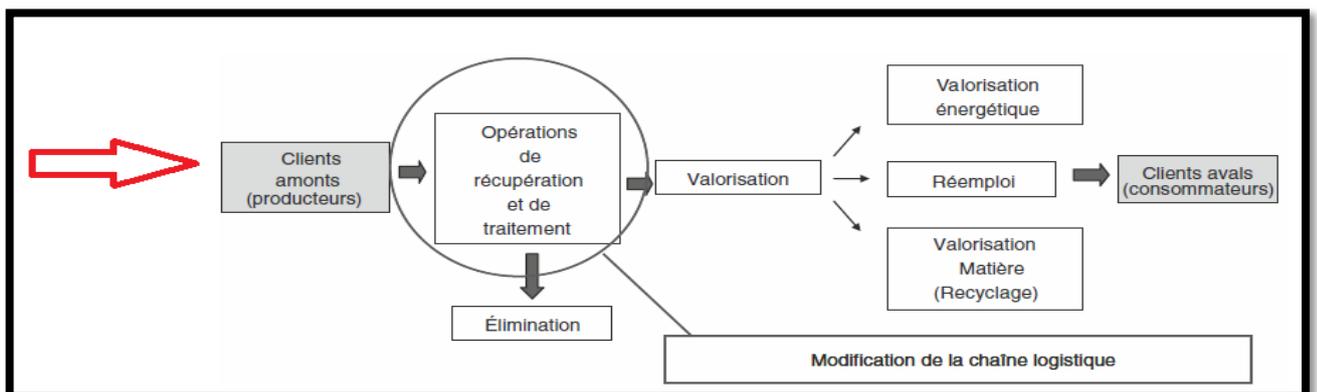


Pictogrammes européens des emballages et substances dangereuse : de gauche à droite, Nocif (Xn), Toxique (T) et Dangereux pour l'environnement (N).

Réutilisation : Nouvel emploi d'un déchet pour un usage différent de celui de son premier emploi.

Valorisation : Toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en remplaçant d'autres matières qui auraient été utilisées à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, dans l'usine ou dans l'ensemble de l'économie. (voir fig I.4) [6]

Figure I.4 : la logistique inverse [1]



3-4-2 Les avantages

- elle permet souvent de préserver les matières naturelles et de limiter les importations de matériaux, et certaines filières permettent même d'obtenir par recyclage un matériau moins coûteux que le produit naturel (exemples du verre et de l'aluminium) ;
- les choix politiques qui impliquent les collectivités locales dans cette Valorisation, permettent une répartition du financement entre celles-ci et le secteur privé.
- de plus, et même si certaines filières relèvent surtout de la mission de service public et requièrent un soutien de la collectivité, d'autres peuvent se révéler extrêmement rentables à condition de savoir anticiper l'évolution de la législation, des attentes du public et des marchés.
- enfin l'installation d'une unité de traitement est en règle générale appréciée par les élus pour ce qu'elle signifie souvent en termes d'emplois non qualifiés, facteurs d'insertion sociale. La prise de conscience actuelle du problème du réchauffement climatique a conduit nos politiques à s'intéresser de près à tout ce qui touche à l'environnement et, par voie de conséquence, aux déchets. Jouissant désormais de la faveur du public, ce domaine est depuis 5 ans en très fort développement. Le « Grenelle de l'Environnement » de 2007 a consacré quelques ateliers de travail aux déchets.

5)-L'USINE D'ALZENC

5-1.Historique

L'usine fut fondée en 1969 avec la coopération de la société Belge "vieille montagne". Elle est entrée en production à partir de 1974 sous le nom de la société SNS (société nationale de sidérurgie) et a connu de nombreux problèmes pour l'approvisionnement en eau industrielle particulièrement et l'acheminement du minerai et des produits élaborés. Actuellement, la société algérienne de zinc, par abréviation ALZINC, est une filiale de METANOF, rattachée à la SGP TRANSOLB. Créée le 01 janvier 1998, son capital social est de 855 000 000,00 D.A. (huit cent cinquante cinq millions de dinars) divisé en 8 550 actions de 100 000,00 D.A. chacune, détenu entièrement par METANOF.

La société ALZINC a pour objet conformément à ses statuts, la production et la commercialisation du zinc et de ses alliages (Zamac, pastilles de zinc...), de l'acide sulfurique et du cuivre cathodique.

Située sur la rive ouest de la ville de Ghazawet en ALGÉRIE dans la wilaya de Tlemcen, elle est étalée sur une superficie de 14 hectares et elle est actuellement le centre d'activité industrielle le plus important de la région en étant l'unique producteur du zinc électrolytique au monde arabe et le deuxième en Afrique après l'Afrique du sud.

Le site fut choisi en raison de sa proximité de la mine d'EL ABED d'une part et la liaison portuaire à proximité de la mer méditerranéenne et du réseau ferroviaire. L'usine traite de la blende (Association zinc / soufre) par le procédé hydro-métallurgique (voie humide). La capacité de production atteint **36 850** tonnes de zinc par An. Elle emploie **480** personnes qui contribuent à réaliser la production du Zinc, la fabrication d'alliages de zinc, du cadmium, du cuivre et de l'acide sulfurique.

La consommation en matière première de concentré de zinc est de 300 tonnes par jour de minerai de zinc provenant principalement de l'importation (Pérou,) et une part de la production nationale (Chabat Hamra) Le minerai arrive par voie maritime au port de Ghazawet puis il est acheminé par

Route jusqu'à l'usine. L'usine ALZINC reçoit annuellement plus de 80 000 tonnes de minerais concentrés.(voir fig I.5) [13]



Figure I.5 : la société d'ALZENC.[13]

5-2 Ateliers de production :

5-2 -1 Grillage- acide: pour le Grillage de la blende et la fabrication de l'acide sulfurique à partir des gaz de grillage (SO₂). (Voir fig I.6)

L'installation de grillage est entrée en production en 1975, avec une capacité de traitement de 300 tonnes/ jour de minerai. Le premier traitement auquel est soumis le minerai (ZnS) est la réaction d'oxydation pour obtenir la calcine ZnO. Il est réalisé par chauffage, à 900 -950°C en présence d'air selon la réaction **exothermique** suivante:

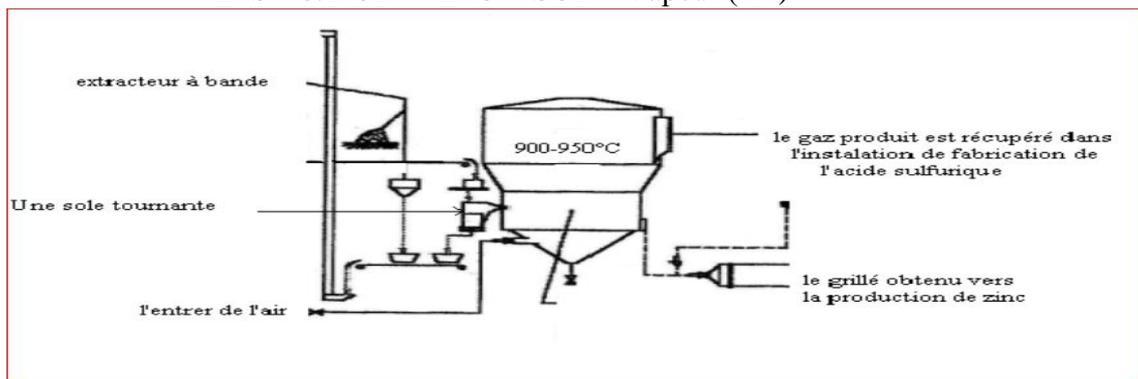
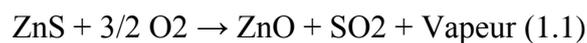


Figure I.6 : Le four de grille [13]

5-2-2 Purification: son rôle consiste à l'élimination des impuretés (Co, Cd) qui gèrent le dépôt de Zinc dans l'électrolyse.

Les opérations de purification consistent à traiter la solution "over flow" provenant des décanteurs de la lixiviation neutre. Cette solution contient des impuretés qui peuvent éventuellement perturber l'opération d'électrolyse, et sont susceptibles de se Déposer avant le zinc et d'influencer la qualité du dépôt électrolytique. Il faudra donc éliminer toutes les impuretés par les opérations de purification.

5-2-3 Lixiviation: qui à pour but la mise en solution de l'oxyde de zinc (ZnO) et l'élimination de certains impuretés qui l'accompagnent.

La lixiviation est l'opération qui consiste à la mise en solution de la calcine pour extraire le zinc sous forme d'une solution de sulfate de zinc qui après purification on des éléments nuisibles alimentera les halles d'électrolyse. La lixiviation s'opère en milieu neutre et en milieu acide.

La lixiviation neutre consiste à produire une solution de sulfate de zinc titrant 160g de zinc par litre. Le cadmium, le cuivre et le cobalt sont récupérés lors de la purification par cémentation.

La lixiviation acide traite les boues de la lixiviation neutre et récupère le zinc non extrait de la lixiviation neutre. (Voir fig I.7)



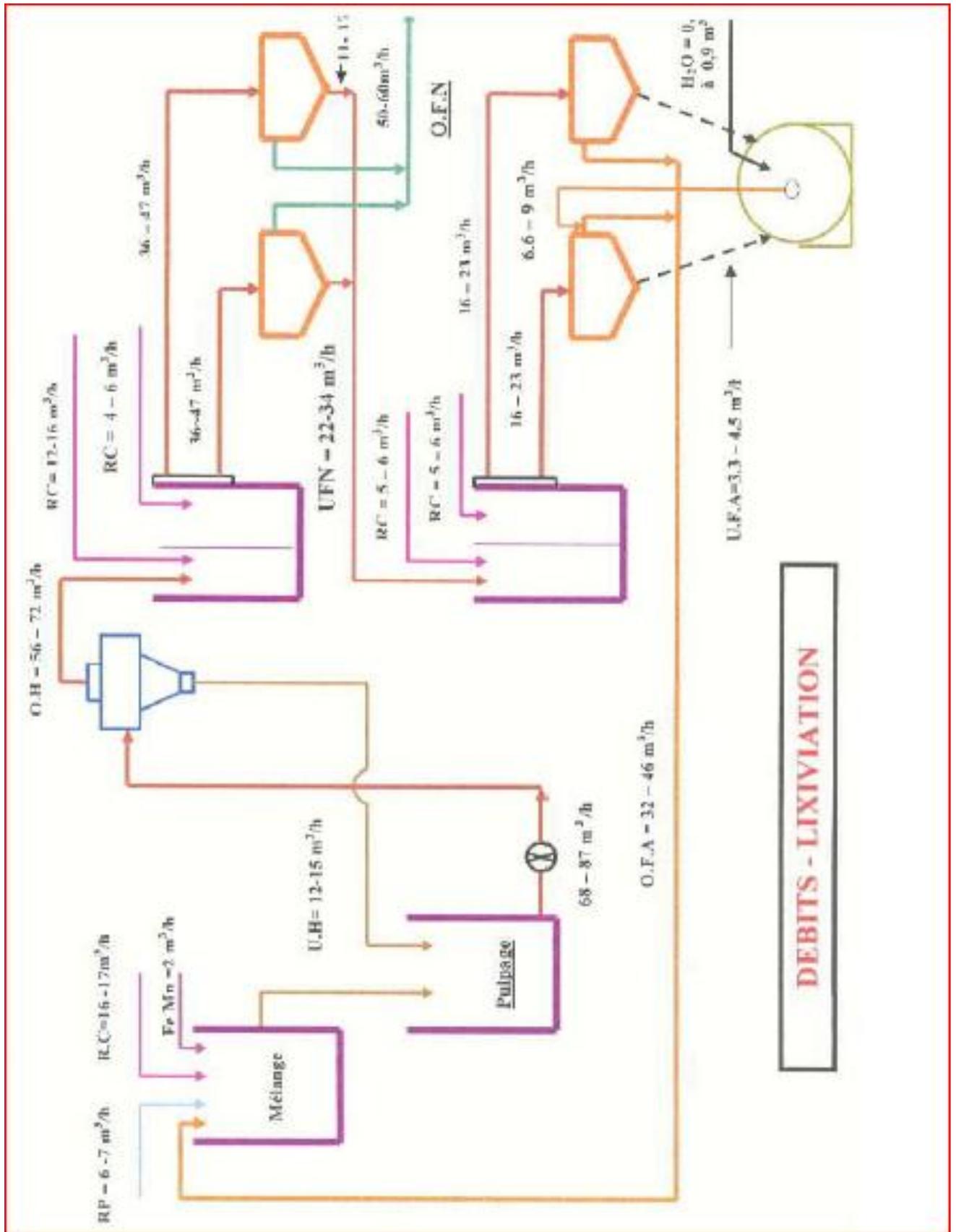


Figure1.7: montage simplifié de lixiviation [13]

5-2-4 Electrolyse Zinc: pour le dépôt électrolytique du Zinc sur les cathodique.

La solution ZnSO₄ produite par lixiviation de ZnO et après purification est conduite par pompage dans des cellules électrolytiques qui sera traitée par électrolyse pour la production du zinc cathodique. Un courant électrique continu traverse la solution et entraîne un dépôt de zinc sur les deux faces de la cathode en aluminium et il en résulte un dégagement d'hydrogène à l'anode en plomb argentifère. L'électrolyse transforme le zinc en solution sous forme sulfate (ZnSO₄) à la forme métallique par déposition en appliquant un potentiel entre anode-cathode immergée dans des cellules contenant une solution acide. (voir fig I.8) Les ions de zinc se déposent à la cathode, pour réduits en zinc, tandis que les ions OH⁻ sont neutralisés à l'anode, avec dégagement d'oxygène ;selon les réactions :

Réaction a la cathode :



Réaction a l'anode:

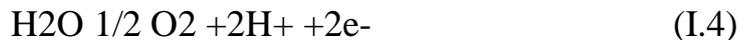


Figure I.8: atelier d'électrolyse d'ALZINC. [13]

5-2-5 Electrolyse Cuivre: pour le dépôt électrolytique du cuivre cathodique.

5-2-6 Refonte: la refonte à pour but de reconstituer le zinc en lingots après fusion des plaques de Zinc provenant de l'électrolyse de zinc.

La refonte du zinc constitue l'étape finale de la chaîne de production du zinc métallique qui sera stocké sous forme de lingots.

Les plaques de zinc sont refondues dans des fours électriques à induction à la température de 500°C. Il est coulé soit directement sous forme de lingots de zinc S.H.G., soit sous forme d'alliage associé à des métaux d'addition zinc allié. Le zinc S.H.G. est principalement utilisé dans la protection

de l'acier contre la corrosion par diverses techniques. Galvanisation, électro-zingage, métallisation ou peintures riches en zinc. Il est aussi destiné pour la fabrication d'alliages de zinc.

Les lingots d'environ 25 kg sont empilés par 40 formant une pile d'une tonne et expédiés à la clientèle Algérienne ou étrangère .Il est également coulé en blocs de 1 et 2 t.(voir figure I.9)



Figure I.9: Atelier de refonte et stockage du zinc en lingot d'ALZINC [13]

5-3 Atelier de pastille de zinc:

Les pastilles de zinc sont fabriquées à base de zinc S.H.G. (haute pureté) cadmié à la demande. Ces pastilles sont utilisées pour la fabrication des piles sèches.

5-3-1 Ateliers de soutien technique :

5-3-1 –A Atelier utilités:

L'atelier des utilités englobe cinq stations :

- Station de pompage d'eau de mer.
- Station de dessalement d'eau de mer.
- Centrale thermique.
- Station de production d'air comprimé.
- Station de stockage du gasoil.

Atelier de neutralisation :

Elles sont destinées à alimenter les autres ateliers en fluide: l'eau de processus, l'eau de mer pour le refroidissement, la vapeur surchauffée, l'air comprimé, combustible en Gas-oil pour l'alimentation du four de grillage et la tour de catalyse.

a) Station de pompage:

Les principaux équipements dont dispose la station:

- Deux conduites siphonnèrent en parallèle alimentées à partir d'une prise d'eau de mer.
- Puits de reprise équipés de 03 pompes dont une de secours, de débit unitaire 350 l/s et 5 m max de hauteur de refoulement.

- Chaînes filtrantes qui sont les deux filtres d'une finesse de filtration de 400 um et de débit unitaire de 700l/s.

- Réservoirs métalliques: celui de vide de 5 m³ et le réservoir anti-bélier de 12m³.
- Compresseur: type ATLAS COOPCO. Le débit d'air aspiré est de 235 m³/h
- Trois groupes de pompage (dont une en secours) avec un débit unitaire de 350l/s.

b) Unité de dessalement d'eau de mer:

Le problème d'alimentation en eau brute de processus que la société a rencontré au début de l'an 1990, a fait l'objet de demande d'une unité de dessalement d'eau de mer, implantée en 1994. Le procédé de base de l'unité est la distillation d'eau de mer provenant de la station de pompage, avec une production 2000 m³/j soit 23 l/s. Cette unité est équipée essentiellement d'un évaporateur, une chaudière de vapeur, un éjecto-compresseur et d'un condenseur distillateur.

c) Centrale thermique:

Cette centrale reçoit la vapeur chaude récupérée au niveau de la chaudière de grillage. Avant d'être réutilisée dans le processus, cette vapeur va subir une grande détente dans un détendeur pour diminuer sa pression de 38 bars à 7 bars, ce qui entraîne une diminution de sa température de 450°C à 265°C. La centrale dispose aussi d'une chaudière auxiliaire à vapeur qui alimente les ateliers en vapeur en cas d'arrêt de grillage, et d'un turbo-alternateur tournant en vapeur de la centrale et produisant 2.5 Mw d'énergie électrique.

d) Station d'air comprime:

Équipée d'un grand compresseur à piston en forme de V, fonctionnant en parallèle plus deux autres différents à vis de type ATLAS COOPCO en plus d'un nouveau compresseur à vis.

Ces compresseurs ont été conçus pour aspirer l'air atmosphérique, et le comprimer jusqu'à une pression de 7 bars. L'air comprimé produit est stocké dans deux ballons, puis distribué selon la demande des ateliers.

e) Neutralisation :

L'atelier de neutralisation est destiné à traiter les effluents acides de l'usine de manière à insolubiliser les éléments nocifs à un pH de 09 à 10 tel qu'ils puissent être déversés à la mer après décantation.

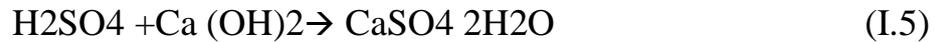
La plus grande partie des rejets de l'usine telles que les effluents acides de la déminéralisation, effluents liquides de stationnement d'épuration (grillage) et d'autres sont stockés dans la tête de la neutralisation, ensuite sont envoyés vers trois (03) cuves de traitements équipées par des agitateurs rapides et par un injecteur d'air.

Au niveau de la première cuve, l'ajout d'un lait de chaux est nécessaire, dans la deuxième cuve est facultative, de telle façon que cette addition est contrôlée par la mesure du *pH* (entre 09 et 10).

À travers une cuve tampon, la solution de la troisième cuve est envoyée vers un décanteur clarificateur avec l'ajout d'un flocculant (magnafloc) à fin de faire la séparation solide liquide, ensuite

l'under-flow sera filtré dans un filtre tambour et les gâteaux seront transférés pour évacuation. L'overflow et le filtrat de filtre tambour peuvent être déversée dans la mer. Une partie de cette solution claire est recyclée en tête pour la préparation de lait de chaux.

Le lait de chaux utilisée est préparé par un chaux hydratée superfine 93% ($Ca(OH)_2$)
Ou de chaux vive CaO mélanger avec la solution claire.



Cette réaction peut être considérée complète pour un pH entre 09 et 10.

5-3-1-B Laboratoire central

Le laboratoire est en relation avec tous les ateliers de l'usine dans la chaîne de production afin de contrôler le processus qualitativement et quantitativement depuis la matière première (blende crue) Jusqu'au produit fini.

Le laboratoire comporte 04 sections:

- Echantillonnage:
C'est un atelier très important, en effet les analyses d'un échantillon ne seront véritablement représentatives d lot d'ou à été prélevé que dans la mesure où l'échantillonnage aura été fait d'une manière correcte. Donc il faut faire une série d'options pour que l'échantillon soit près à analyser.

- Section des analyses classiques:
Au niveau de cette section, on utilise les différentes méthodes d'analyses quantitatives or la détection des éléments en forte teneur telle que:

- Volumétrie
- Gravimétrie
- Titrimétrie.

Les principaux dosages à envisager dans cette section sont: le dosage du zinc, cuivre, chlore, des sulfites dans les eaux..... chaque élément a un indicateur spécifique et un mode opératoire approprié.(voir Fig I.10) [13]



Figure I.10: Photo de service d'analyse classique de laboratoire central [13]

- Section colorimétrie:

La colorimétrie est une méthode utilisée pour l'analyse des solutions, et elle est conçue pour les analyses des éléments de traces, comme le thallium, germanium, arsenic, aluminium, antimoine, cobalt... chaque élément a un réactif spécifique qui donne une certaine couleur selon la concentration. C'est une méthode optique d'analyse basée sur la mesure de l'absorption de la lumière par la substance à analyser et de déterminer la concentration d'après le degré d'absorption du flux lumineux passant à travers la solution.

- Section spectrophotométrie

Cette section comprend trois types d'analyse:

Analyse par absorption atomique: qui consiste à déterminer l'absorbance des métaux en fonction des concentrations par des échantillons standards. Les différents métaux à analyser par cette méthode sont: Cd, Cu, Fe, Pb, Ag, Mg, Ni, Tl, Co, Na, Zn, Bi, K.

Analyse spectrographique: c'est une analyse qualitative et semi qualitative qui permet de reconnaître l'existence de certains éléments et leur teneur à partir des raies spécifiques à chaque élément et sa longueur d'onde. (Analyse élémentaire).

□□Analyse spectrale: est utilisée pour déterminer les concentrations des éléments chimiques le principe de cette méthode consiste à l'analyse spectrale d'émission optique.

Les différentes mesures de l'analyse spectrale sont effectuées au niveau des opérations technologiques suivantes :

- zinc de fonte de: Pb, Cd, Cu, Fe, Ag, Sn, Tl, Ni.
- zinc alliage en pastilles de (bloc de 01 tonne et de 02 tonne): Pb, Cd, Cu, Fe.
- zinc alliage sous forme de zamak : Al, Mg, Cu, Pb, Cd, Fe, Sn.

5-3-1-C Maintenance mécanique :

Composé de deux services :

- Service intervention :

Intervient dans la réparation des machines à la demande de l'exploitant et opère également en préventif.

- Service fabrication :

Intervient à l'intérieur de l'atelier de maintenance pour réaliser les pièces mécaniques indispensables à l'outil de production et les éléments de chaudronnerie.

5-3-1-D Maintenance électrique et régulation :

Cet atelier a pour objectif, la maintenance électrique des équipements de l'usine et la maintenance électronique des systèmes de régulation automatique des paramètres de production dans toute la chaîne de production.

5-3-1-E Gestion des stocks

Un magasin a été prévu pour le stockage des pièces de rechange et des produits chimiques intervenant dans les opérations du processus de fabrication pour permettre une adjonction de la chaîne de production. Actuellement le magasin contient 35000 articles d'une valeur supérieure à 50 MDA. [13]

6)-PROBLEMATIQUE

A partir de l'analyse économique des résidus, nous avons constaté que l'entreprise n'a ces jours aucun support technique qui facilite la gestion et la valorisation des déchets venant tous après le processus de lixiviation. Les statistiques montrent que, les déchets contiennent environ 20 % de zinc pur d'où une importante somme d'argent est non exploitée. En plus pour penser à les vendre à cet état brut, cela nécessite assez de place pour lancer le processus de séchage. Alors comme une solution classique pour soulever ce problème temporairement, l'entreprise ALZINC les jette près de la ville de Ghazaout au lieu de gagner 7000000 millions de dinars. Par ailleurs, a coté de ces gaspillages des matières premières d'autres dommages existent comme la pollution et la région ne peut pas se permettre l'augmentation de la pollution.

L'usine ne peut également pas couvrir les coûts liés à la récupération de zinc en raison des coûts prohibitifs d'installation d'un atelier d'extraction du zinc.

Résumé l'entreprise perd des matières en mêmes du financement et cause des dommages à l'environnement et nous devons réduire la taille les dommages des deux côtés.

$$\text{Min}\Sigma \left[\text{cout} * \text{Quantité du résidu} \right] \quad (\text{I.6})$$

$$\text{Max}\Sigma \left[\text{lucratif} * \text{Quantité de (Zn)} \right] \quad (\text{I.7})$$

6-1 Analyse de problème

	lixiviation	unité	MIN	MAX	
Grille lixiviation	Zn	62.2	%	61.0	64.0
	S(SO4=)	2.28	%	2.0	3.0
	S(S=)	0.35	%	0.1	0.4
	Cu	0.0	%	0.0	0.67
Over Flow Acide	pH	1.13		2.5	3.0
	Fe++	0.6	g/l	0.0	0.1
Over Flow Neutre	Cu	0.0	mg/l	300.0	800.0
	Cd	0.0	g/l	0.3	0.5
	Ni	0.0	mg/l	1.0	3.0
	Co	16.46	mg/l	10.0	20.0
	Zn	103.65	g/l	130.0	150.0
	Ti	0.43	mg/l	2.0	3.0
Residu lixiviation	Zn	19.04	%	18.0	22.0
	Zn(H2O)	6.1	%	3.0	6.0
	Zn(H2SO4)	6.92	%	5.0	10.0
	H2O	35.25	%	30.0	40.0
	Fe	0.0	%	15.0	30.0

Tableau I.1 : les résultat d'analyse de partie lixiviation.[7]

Les charges d'usine :

Les couts de la matière première (blendes) Zns	6200000DA/T .
Les couts de transportes par une T	T=100000 DA /T.
La demande sur un mois	8000T/mois.
Chaque jour de production	200T/j
2.5T (Zns)	1Tde Zn commerciale.
1T (Zns)	0.84 0.84T h2SO4 .
8000Tde blende	3700T de Zn commercial.
Energie consommée par l'usine	145000 MWH/an.

La partie de lixiviation en KWH 297000 KWH/Mois

Equivalent de partie de lixiviation en dinars 65637000 DA

Tableau I.2 : caractéristique partie de lixiviation.[7]

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la configuration technique de l'usine ALZENC. Après une analyse sur le terrain, nous avons su le mécanisme de la gestion des processus de cet. Malheureusement, l'usine gère très mal les résidus de lixiviation dont nous avons également fait des inspections technico-économiques pour un éventuel lancement d'un processus de séchage de résidu avec moins de coût et moins d'énergie qui l'objectif du prochain chapitre.

Chapitre II : Etat de l'art, sur les procédés de séchage de déchets

Introduction

Le séchage est une opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide par évaporation de cette eau. Cette opération met en jeu un transfert de chaleur (une fourniture de chaleur permet le changement de phase du liquide) et un transfert de masse (le liquide imprégnant le solide passe à l'état de vapeur dans l'air asséchant) [1].

Dans ce chapitre on va présenter les paramètres essentiels qui gouvernent le phénomène de séchage, les différents théoriques de séchage, les caractéristiques de l'air humide et d'un solide humide et une présentation des différents types de séchoir utilisé dans le domaine industriel enfin les problèmes posés par le séchage.

1) Généralités

Le séchage a pour but d'éliminer par vaporisation le liquide qui un solide.

Il est largement utilisé dans l'industrie chimique où il vient souvent en complément d'opérations comme la sédimentation, la filtration ou l'essorage.

Il se pratique dans plusieurs cas:

- le liquide résiduel est incompatible avec la suite du procédé.
- le produit humide se conserve mal (hydrolyse possible, modification de l'aspect physique par agglomération des grains).
- le coût du transport est plus élevé en présence de liquide.
- le séchage permet outre l'élimination du liquide, la création de modifications de la structure interne du solide soit par exemple l'apparition d'une structure poreuse.

A cause du coût énergétique de la vaporisation l'industriel cherche à avoir la plus basse teneur possible en liquide à l'entrée du sécheur. La tendance est à n'utiliser le séchage que lorsque les procédés de séparation mécanique restent impuissants pour atteindre la teneur souhaitée en liquide.

Le champ d'application du séchage est particulièrement large: produits chimiques, produits pharmaceutiques, produits agro-alimentaires, matières plastiques, papiers, bois...

Il se distingue de l'évaporation par les quantités de liquide traité:

le liquide d'imprégnation est à une teneur initiale beaucoup plus faible dans le cas du séchage.

Les appareils sont donc complètement différents.

Le séchage est une opération unitaire mettant en jeu un transfert de matière (le liquide imprégnant le solide passe à l'état de vapeur dans une phase gazeuse) et un transfert thermique (une fourniture de chaleur permet le changement de phase du liquide). La vaporisation pourra s'effectuer par ébullition ou par évaporation. [3]

▪ **Définition**

L'objectif de sécher un produit est d'abaisser sa teneur en eau, de telle sorte que son activité de l'eau soit portée à une valeur permettant sa conservation à une température ordinaire sur de longues durées (de l'ordre de l'année) .

L'élimination ou la séparation de l'eau peut être obtenue par voie mécanique ou thermique.
[2]

2)- Théories descriptives du phénomène de séchage

Plusieurs théories ont été proposées pour expliquer le phénomène de séchage qui permet d'étudier le transfert de masse et de chaleur dans un produit. Ces approches théoriques peuvent être classifiées comme suit:

• **Théorie de la diffusion du liquide (Modèle de Sherwood) (1929)**

Cette théorie suppose que le mouvement de l'eau vers la surface du solide est gouverné par la loi de Fick, qui traduit le phénomène de migration de la vapeur d'eau du milieu de forte concentration d'eau vers le milieu de faible concentration d'eau.

Autrement dit, du sein de la matière à sécher vers sa surface. Puis à la surface on assiste à l'évaporation due à un apport énergétique extérieur.

Cette théorie donne satisfaction pour le séchage des aliments et des grains, ce qui n'est pas le cas pour les autres produits.

Elle est critiquée pour sa faible représentation des phénomènes physiques, en la simple différence de concentration et de négliger par exemple le gradient de température dans le solide, ou de mettre le coefficient de diffusion constant, ce qui n'est pas valable pour tous les produits.

La diffusivité dépend de plusieurs facteurs, comme la nature du solide, et celle de l'humidité, le taux d'humidité et la température.

• **Théorie capillaire (1937)**

Cette théorie repose sur le fait que le mouvement de l'eau dans les pores résulte d'un potentiel de succion, dont le mécanisme a notamment été étudié par Jurin. Lorsqu'on place un capillaire dans une cuve remplie d'eau, on observe une élévation du liquide dans le tube par rapport au niveau de la cuve. Cette théorie est appliquée à des produits poreux ou à des produits granulaires. Ceaglske et Hougen démontrent que pour le séchage d'un solide granulaire, l'écoulement de l'eau est entièrement dû aux forces capillaires, et totalement indépendantes de la concentration.

• **Théorie Whitaker (1977)**

Whitaker propose une nouvelle façon d'écrire les équations de transfert de chaleur et de masse dans les milieux poreux. Il applique un système d'équations de conservation de chaleur et de masse, pour les trois phases contenues dans le milieu (solides, liquide et gaz) et les lois

de la thermodynamique. Ensuite il applique pour chacune de phases la prise de moyenne avec certaines simplifications, en prenant un volume élémentaire représentatif à l'échelle des pores; ces paramètres permettent de considérer le milieu poreux comme un milieu continu équivalent. Il aboutit à un système d'équations permettant de calculer les différents paramètres décrivant le séchage. Cette étude peut être considérée comme le point de départ de nouvelles et modernes théories, puisqu'elle donne une très bonne concordance avec les résultats expérimentaux.

- **Théorie de Luikov (1934)**

Luikov découvre le phénomène de la diffusion thermique de l'humidité. Il propose que le gradient de température est l'un des facteurs causant le transfert de l'humidité. Il s'est basé sur l'utilisation des équations fondamentales de la thermodynamique, et le processus de l'irréversibilité pour vérifier que le transfert de la vapeur et du liquide est divisé en deux parties: Un gradient de concentration et un gradient de température.

- **Théorie de Krischer-Berger et Pei (1938)**

Krischer, suppose que pendant le séchage, l'humidité dans l'état liquide est due aux forces capillaires, et dans l'état vapeur au gradient de concentration de la vapeur.

Berger et Pei proposent que le transfert du liquide soit dû aux forces capillaires et au gradient de concentration, et la diffusion de vapeur est due au gradient de pression de la vapeur.

- **Théorie de Philip et De Vries (1957)**

Philip et De Vries, proposent que le mouvement de l'eau soit dû à la capillarité et à la diffusion de la vapeur. Cette théorie est basée sur le développement d'un système d'équations décrivant l'humidité et le transfert de chaleur dans les matériaux poreux. [2]

3)-Modes de séchage

Parmi les techniques d'élimination d'eau par voie thermique, deux mécanismes peuvent être mis en œuvre pour extraire par évaporation l'eau d'un produit; des procédés par ébullition et des procédés par entraînement

❖ Par ébullition, le produit est porté à la température telle que la pression de vapeur d'eau du produit devient égale à la pression totale ambiante régnant dans le séchoir. La température du liquide est donc déterminée par la pression d'ébullition (par exemple 100°C pour l'eau à 1,013x10⁵ Pa).

❖ Par entraînement, l'énergie est apportée par un gaz vecteur en mouvement, généralement de l'air chaud. Ce gaz est conditionné de manière à ce que sa température soit supérieure à celle du produit, et la pression de vapeur d'eau P dans le produit est supérieure à la pression partielle d'eau p dans l'atmosphère qui l'entoure. Il y a séchage par entraînement, si P_t est la pression totale régnant dans l'installation, vérifié l'inégalité : $p < P < P_t$. Il s'agit en fait d'un transfert de masse par gradient de pression de vapeur d'eau.

Ces deux mécanismes peuvent se succéder au cours d'une opération de séchage ou coexister dans un produit à un moment donné.

Le séchage fait appel aux trois modes de transfert de chaleur par conduction, par convection et par rayonnement, ainsi que le transfert de matière. Ceux-ci sont utilisés seuls ou combinés entre eux. [2]

4)- Caractérisation des solides humides

4.1/ Humidité d'un solide

On définit l'**humidité d'un solide** comme la masse d'eau en kg associée à 1 kg de solide sec (c'est en fait l'expression d'un rapport massique). On utilise fréquemment des pourcentages.

4.2/ Description du solide humide

Avant le séchage un solide humide peut se représenter schématiquement comme sur la figure suivante. Le solide a un film d'eau adhérent à sa surface externe par des forces superficielles. Une couche limite à la périphérie du solide est constituée par de l'air saturé en eau, c'est à dire de l'air contenant de la vapeur d'eau à une pression partielle égale à la tension de vapeur d'une eau qui serait seule présente dans une enceinte, à la même température. C'est la valeur maximale que peut prendre la tension de vapeur de l'eau à cette température.

L'eau peut aussi se retrouver localisée à la surface ou au fond des pores: les forces qui la retiennent sont alors beaucoup plus fortes et ont trait à des phénomènes complexes de capillarité. Plus les pores sont de petites tailles, plus ces forces sont intenses. (voir fig II.1) [3]

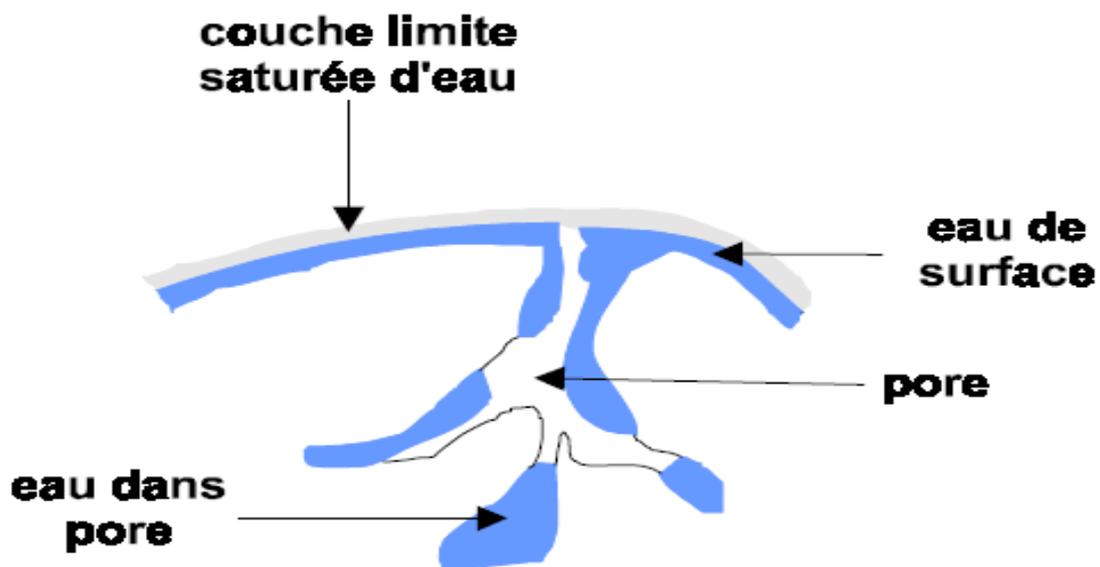


Figure II. 1 : représentation d'un solide humide

5)-Les types de séchage

✚ Séchage par conduction

A/ Généralités

Le produit à sécher se trouve en contact avec une paroi solide portée à une température élevée par chauffage (fumées, vapeurs d'eau...). La conduction à travers la paroi et la matière entraîne une augmentation de la température du composé à sécher: le liquide se vaporise donc par évaporation ou par ébullition s'il atteint sa température d'ébullition.

Les vapeurs formées sont soit aspirées (cas du séchage sous pression réduite qui abaisse la température d'ébullition), soit entraînées par un gaz de balayage dont le débit est très faible par rapport à celui utilisé dans le cas d'un chauffage par convection. La couche de solide en contact avec la paroi est d'abord séchée puis il y a ensuite une augmentation de l'épaisseur de la couche sèche en cours d'opération.

Ce type de séchage est intéressant quand on souhaite récupérer le solvant évaporé pour le récupérer (pour le recycler ou pour éviter le rejet d'effluents polluants). En effet la condensation d'un solvant est toujours beaucoup plus facile quand il n'est pas mélangé à un gaz.

Le séchage sous pression réduite permet de traiter des produits facilement oxydables à une température élevée. Il est aussi très intéressant pour le séchage des substances thermosensibles qui ne supporteraient pas longtemps une température élevée.

B/ Processus

On retrouve deux périodes dans le cas d'un séchage discontinu:

- dans un premier période la vitesse de séchage est constante; la transmission de chaleur par conduction est alors suffisamment rapide pour compenser la chaleur perdue par la vaporisation du liquide.
- dans une seconde période la vitesse de séchage ralentit. Le séchage ayant progressé, l'humidité du solide diminue ce qui provoque aussi une diminution de la tension de vapeur du liquide imprégnant le solide (elle devient inférieure à celle de l'air saturé). Dans ces conditions la température d'ébullition augmente ce qui diminue la vitesse de séchage pour un apport de chaleur constant par conduction.

De plus le coefficient de transfert dans le solide devient de plus en plus faible car l'épaisseur de la couche sèche augmente.[3]

✚ Séchage par convection

A/ Généralités

En séchage industriel, il s'agit probablement du monde de séchage le plus courant. Il consiste à mettre en contact, un gaz (air) s'écoulant en régime généralement turbulent, autour du corps à sécher, qui peut se présenter sous forme de particules, de gouttelettes, de fibres ou de plaques, pour un séchage par convection, les échanges de chaleur et de masse entre le produit à

sécher et l'air de séchage sont déterminés par les coefficients de transfert à la surface, qui dépendent des caractéristiques de l'air (vitesse, température, humidité).

En régime convectif, la chaleur est directement transportée par un fluide caloporteur, qui emmagasine la chaleur (air chaud, vapeur, eau, etc.). La convection est un mode de transfert rapide.

- Si le mouvement de fluide est renforcé par un travail mécanique « artificiel » (ventilation, agitation, pompage d'un fluide), on parle de « convection forcée ».
- Si au contraire, le mouvement du fluide, n'est dû qu'à des courants thermiques ou des mouvements ascensionnels d'ébullition, la convection est dite « naturelle »

D'une manière générale, le temps de séchage est réduit lorsque la différence de température, entre le fluide et le produit, est augmentée. Toutefois la thermo-sensibilité du produit (caractérisée par la température maximale qu'il peut supporter), limite la valeur de l'écart, notamment en fin de séchage. [2]

Ce type de transfert utilise l'équation suivante:

$$Q = \alpha \cdot A \cdot (T_a - T_s) \quad (\text{II.1})$$

Avec :

Q : La quantité de chaleur transférée par unité du temps (W)

A : La surface d'échange (m^2)

$(T_a - T_s)$: l'écart entre la température de l'air de séchage et la température superficielle du produit à sécher (K)

α : Le coefficient d'échange par convection ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

B/ Processus

Si on considère un solide humide placé dans un courant d'air gazeux on observe au cours de l'opération de séchage trois périodes distinctes:

- une phase de mise en température du solide
- une phase de séchage à vitesse constante
- une phase de séchage à vitesse décroissante

L'étude de la phase à vitesse constante montre que cette phase est comparable à ce que serait l'évaporation d'eau si aucun solide n'était présent: on se trouve dans le cas où soit il y a beaucoup d'eau à la surface du solide soit la diffusion de l'eau de l'intérieur du solide vers la surface est suffisamment rapide.

Durant cette phase on considère que le séchage s'effectue de manière adiabatique car il n'y a aucun échange de chaleur avec l'extérieur. La chaleur latente de vaporisation de l'eau est entièrement fournie par le refroidissement de l'air chaud.

Le processus s'effectue donc à enthalpie constante. L'air chaud dans le diagramme de l'air humide va donc évoluer sur une isenthalpe (droite de saturation adiabatique): la chaleur perdue par refroidissement est entièrement compensée par l'apport de l'enthalpie de la vapeur d'eau composée d'un terme dû à sa formation par évaporation et d'un terme beaucoup plus faible dû à son réchauffement (l'échauffement du solide est négligeable dans cette phase si les températures de l'air ne sont pas trop élevées).

Pendant cette période la température du solide reste constante et égale à la température humide de l'air.

Remarque: On montre que dans le cas de l'eau, la température humide est égale à la température de saturation adiabatique de l'air.

Les facteurs qui augmentent la cinétique sont:

- la diminution de l'humidité absolue de l'air de séchage
- l'élévation de la température de l'air de séchage
- l'augmentation du coefficient de transfert thermique par une augmentation de la vitesse de circulation de l'air
- l'augmentation de la surface spécifique du solide ce qui entraîne une augmentation de la surface d'échange Pendant cette période la nature du solide et sa structure interne (pores, interstices) n'interviennent pas. [3]

✚ Séchage par rayonnement

Ce mode est destiné aux produits en plaque (carton, viande), ou en fibre (tissu, papier), mais aussi aux produits granulaires de faibles épaisseurs (cigarettes). L'énergie est apportée aux produits à sécher par des ondes électromagnétiques (rayonnement), soit par élévation de la température d'un émetteur infrarouge. La quantité de chaleur transmise au produit par unité du temps par ce mode de transfert est donnée par :

$$Q = A_1 \cdot C \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right) \cdot \varphi \quad (\text{II.2})$$

$$C = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (\text{II.3})$$

Avec:

T1: Température de la source émettrice (K).

T 2 : Température du produit (K).

A1 : Surface du corps recevant le rayonnement (m²).

A 2 : Surface de l'émetteur infrarouge (m²).

φ : Facteur de complexe tenant compte de la position relative de l'émetteur et du produit.

ε₁ : Emissivité du produit.

ε₂ : Emissivité de l'émetteur.

✚ Séchage sous vide

Le point d'ébullition d'un liquide s'abaissant lorsqu'on diminue la pression, le séchage réalisé sous vide provoque l'ébullition rapide du liquide à éliminer. L'opération qui s'effectue alors par vaporisation s'en trouve accélérée et la durée du séjour de la matière dans le séchoir écourtée. Ce mode opératoire rend ainsi possible le séchage de substances thermosensibles, difficile à traiter sous pression normale, en raison du séjour plus ou moins long qu'elles devraient subir à température élevée [1].

✚ Séchage par perte diélectrique

Le séchage par pertes diélectriques est basé sur le chauffage par l'électricité des substances non conductrices (diélectrique). On l'obtient en plaçant la matière à sécher dans un champ électrique alternatif à très haute fréquence (1 à 30Mhz). Un tel champ existe entre les armatures d'un condensateur plan relié à un générateur. Sous l'action de ce champ, les molécules du diélectrique se polarisent et sont contraintes de changer de polarité à chaque alternance. Ce changement de polarité provoque des vibrations mécaniques des dipôles.

Moléculaires qui causent des frictions inter atomiques et inter-moléculaires engendrant de la chaleur qui sert à l'échauffement régulier de la matière [1].

✚ Séchage par lyophilisation

C'est un séchage s'effectuant sous une pression très réduite, inférieure à celle qui correspond au point triple du fluide qui constitue l'humidité à évacuer. Cette humidité se trouve donc congelée et son élimination se produit directement de la phase solide à la phase vapeur, sans passer par l'état liquide, c'est-à-dire par sublimation à basse température. Cette méthode de séchage étant évidemment très onéreuse ne peut s'appliquer qu'à des matières qui, en raison de leur fragilité à la chaleur ne supportent pas les méthodes habituelles de séchage par exemple: les substances biologiques (plasma sanguin, cellules...), produits pharmaceutiques (antibiotiques), produits alimentaires (café, lait, jus de fruit...) [1].

6)-Transferts de matière

Le transfert de masse joue un rôle très important dans les opérations unitaires de base, telles que le séchage. Dans ces opérations physiques, la résistance au transfert de masse constitue le facteur limitant, quoique le transfert de chaleur et le flux du fluide soient impliqués dans le conditionnement et la conservation où le transfert d'humidité, vapeurs, gaz et composés aromatique, influent sur la qualité de l'aliment.

Les difficultés d'application des théories de transfert de masse, dans les processus de transformation des aliments, résultent des structures physiques complexes et de la composition chimique des denrées alimentaires qui varient pour une même denrée et change pendant la transformation.

Il est à noter que la migration de l'eau (liquide ou vapeur) peut également s'effectuer par « filtration » à travers le produit poreux sous l'action d'une différence de pression entre l'intérieur et la surface. [2]

7)- Transferts d'eau en séchage

Les corps à sécher sont constitués par une matrice continue, éventuellement interrompue localement, dans le cas d'un solide, par des pores pouvant déboucher à la surface de celui-ci. L'humidité peut se localiser aussi bien à la surface externe du produit que dans les pores ou au sein même de la matière figure.II.2.

Le séchage peut être décrit comme un transfert d'eau couplé à un transfert de chaleur, dans un matériau poreux non saturé. Dans les produits biologiques le transfert interne d'eau est souvent le phénomène limitant. La taille des pores et la distribution des rayons des pores dans le produit, influent sur le caractère hygroscopique du produit (plus les pores sont petits, plus le caractère hygroscopique est important) .

La vaporisation de l'eau nécessite un apport énergétique de source extérieure au produit à sécher, qui provoque la migration de l'eau vers le milieu ambiant. La vitesse de ce transfert de matière varie au cours du temps. Elle dépend des conditions ambiantes (température, humidité relative, vitesse des gaz en contact avec le produit), mais aussi de la nature même du solide et de l'eau.

Les difficultés sont plus complexes dans les aliments solides que dans les liquides.

Le transfert de masse implique un transfert d'une variété de composants avec la phase et en interphase par diffusion moléculaire naturelle ou par convection forcée. La masse est transférée par gradient de concentration ou de pression partielle [2]. (voir Fig II. 2)

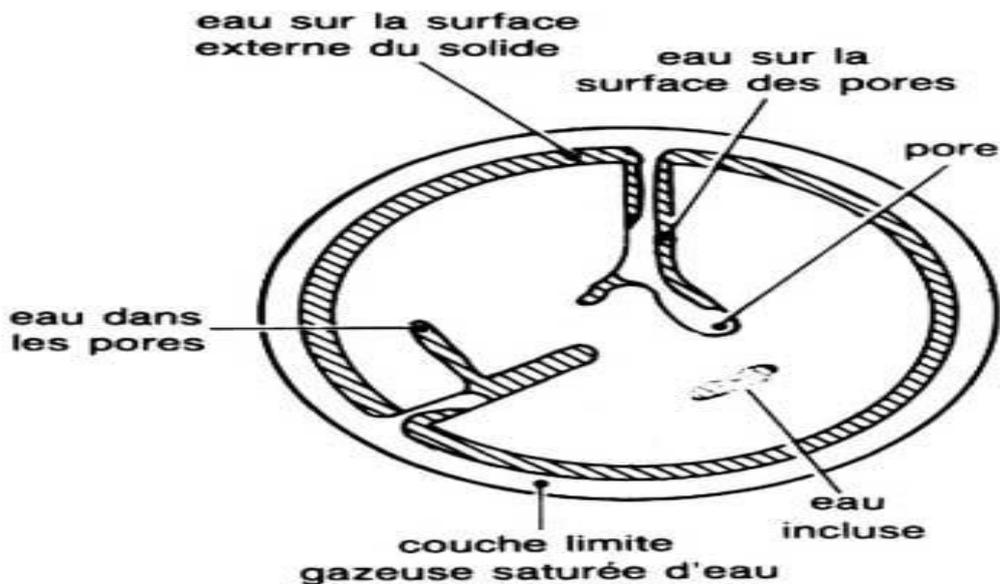


Figure II. 2 : représentation schématique d'un solide humide

8)-Description physique du séchage

Les caractéristiques du séchage d'un produit ont une meilleure description lorsqu'elles sont représentées par des courbes. L'une des plus intéressantes et indispensable représentation est le taux d'humidité du produit n_s en fonction du temps t donnée sur la figure II. 3, ou encore la vitesse du séchage dns/dt en fonction du temps t donnée sur la figure II. 4. Ces courbes de séchage ont la forme la plus complète (c'est-à-dire lorsque toutes les phases de séchage existent). [2]

Krisher a proposé un autre mode de représentation; c'est la vitesse de séchage dns/dt en fonction du taux d'humidité n_s représentée sur la figure II. 5.

Ces trois types de représentation, mettent en évidence l'existence de plusieurs phases, pendant le déroulement du séchage. Toutes ne sont pas systématiquement observables. Dans le cas où elles sont identifiables, on distingue :

- la phase transitoire de mise en température du produit à sécher (AB) ;
- la phase à vitesse de séchage constante (BC) ;
- la phase à vitesse de séchage décroissante (CD).

C: est le point critique du séchage.

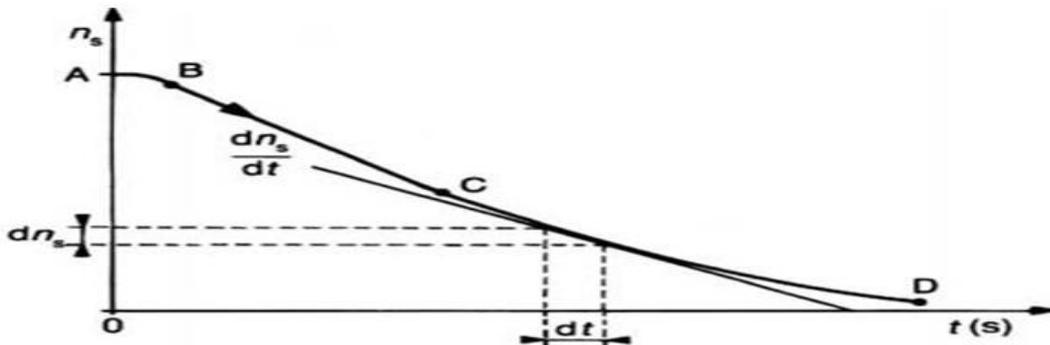


Figure II. 3 : Courbe de séchage $n_s = f(t)$

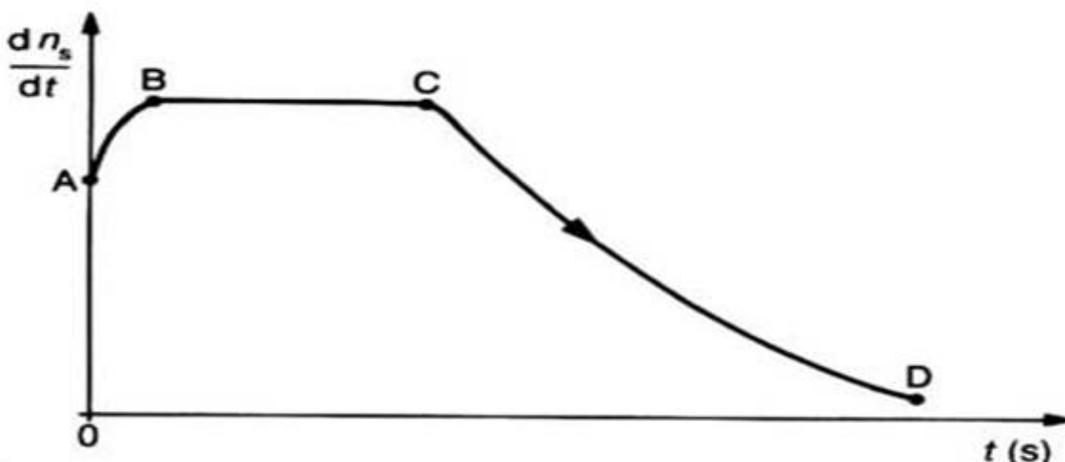


Figure II. 4 : Courbe de séchage $\partial n_s / \partial t = f(t)$

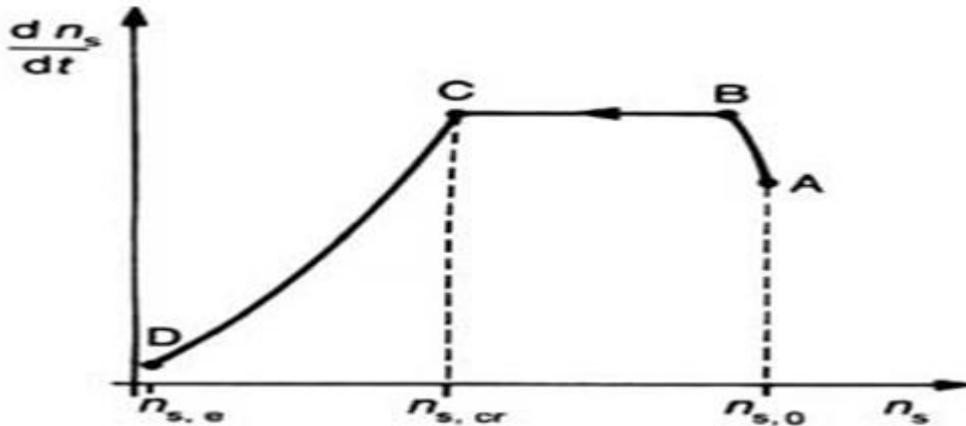


Figure II. 5 : Courbe de séchage $dn_s/dt = f(n_s)$

$n_{s,e}$ taux d'humidité à l'équilibre en fin de séchage

$n_{s,cr}$ taux d'humidité critique

$n_{s,0}$ taux d'humidité initial du produit

- **Phase transitoire (AB)**

A: est la valeur initiale de l'humidité.

Lorsque le produit, qui a une température et une humidité constante est mis dans le milieu du séchage, le produit ajuste sa température à la température humide du solide, parce que le produit est plus froid que l'air et la pression partielle de vapeur d'eau à la surface du produit est faible. Dans ce cas l'air chaud entraîne une élévation de température du produit jusqu'à ce que le transfert de chaleur compense exactement le transfert de matière [2]. Elle n'est pratiquement pas détectée, et n'a pas lieu lors du séchage des produits en particules ou en feuilles.

- **Phase à vitesse de séchage constante (BC)**

Pendant toute la durée de cette phase qui se poursuit jusqu'au point critique, la surface du produit est saturée en eau. Il s'y forme une couche limite, où la pression de vapeur d'eau est quasi égale à celle de l'eau pure dans les mêmes conditions de température et de pression. Cette situation résulte, soit de la présence d'eau en quantité importante à la surface du produit, soit d'une diffusion d'eau, au sein du produit vers sa surface externe, suffisamment rapide. Cette phase est comparable à l'évaporation d'un liquide.

La température du produit reste constante et égale à la température dite humide du fluide de séchage. La nature du produit n'intervient pas au cours de cette période, par contre la forme du solide peut influencer sur la vitesse de séchage qui, pendant cette phase, est égale à:

$$\frac{dw}{dt} = M \frac{dn}{dt} = (KG \cdot A)(P_s - P_w) \quad (\text{II.4})$$

M: Masse du produit à sécher (kg)

A: Surface à travers laquelle, s'opère le transfert d'humidité (m^2)

P_s : Pression de vapeur d'eau à la température T et à la surface du produit, pendant la phase à vitesse constante, cette pression est égale à la pression de vapeur saturée à la température du produit ou température humide (Pa)

P_w : Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa)

K_G : Coefficient global de transfert de matière (s/m)

Cette période s'achève lorsque le produit atteint une teneur en eau appelée, la teneur en eau critique. [16]

- **Phase à vitesse de séchage décroissante (CD)**

C'est la période de ralentissement, à partir de laquelle, la vitesse de séchage met à décroître. La teneur en eau correspondant à la transition entre période **BC** et **CD**, est appelée « teneur en eau critique » ou point critique du séchage.

Il se crée dans les produits poreux un front d'évaporation se dirigeant progressivement vers l'intérieur de la matière à sécher. La vapeur d'eau ayant un chemin, plus en plus important à parcourir, et pression à la surface du produit diminué, le potentiel d'échange va décroître comme, et par conséquent, la diminution de la vitesse de séchage.

Le flux de chaleur échangé avec l'air n'est plus totalement compensé par la chaleur latente, servant à la vaporisation et on assiste donc à une augmentation de la température du produit.

9)-Courbes de séchage

Les courbes de séchage sont représentées soit par les variations de l'humidité absolue (X) du produit en fonction du temps, soit par la variation de la vitesse de séchage ($-dX/dt$) en fonction du temps t ou même la courbe proposée par Krisher ($-dX/dt$) en fonction de l'humidité absolue X [1]

- ✓ **Cinétique du séchage**

On étudie la cinétique de séchage des différents produits par des courbes représentant l'évolution de la vitesse de séchage (masse d'eau évaporée par unité de temps et de surface d'évaporation du matériau (kg d'eau / m² s) en fonction du temps. Ces courbes sont généralement obtenues pour différentes conditions expérimentales (températures, vitesse de l'air asséchant, hygrométrie...). Elles caractérisent le comportement global du produit pendant l'opération de séchage en fonction du temps. Les courbes de cinétique de séchage varient suivant le produit à sécher et contiennent de une à trois principales périodes de la cinétique de séchage, tout dépend du produit, figure .II.6.

On obtient la courbe de séchage expérimentale en suivant la variation de l'humidité absolue du produit par des pesées successives au cours du séchage jusqu'à atteindre l'humidité absolue d'équilibre du produit. Pour chaque produit il existe une valeur d'humidité optimale d'équilibre pour laquelle le produit ne se détériore pas et garde ses propriétés organo-leptiques et nutritionnelles.

- ✓ **Différentes périodes de la cinétique de séchage d'un produit humide**

L'expérience permettant de caractériser la cinétique de séchage consiste à soumettre une couche mince d'un produit à l'action d'un courant d'air de température, humidité et vitesse fixées et de mesurer la masse du produit en fonction du temps [1]. (voir Fig II.6)

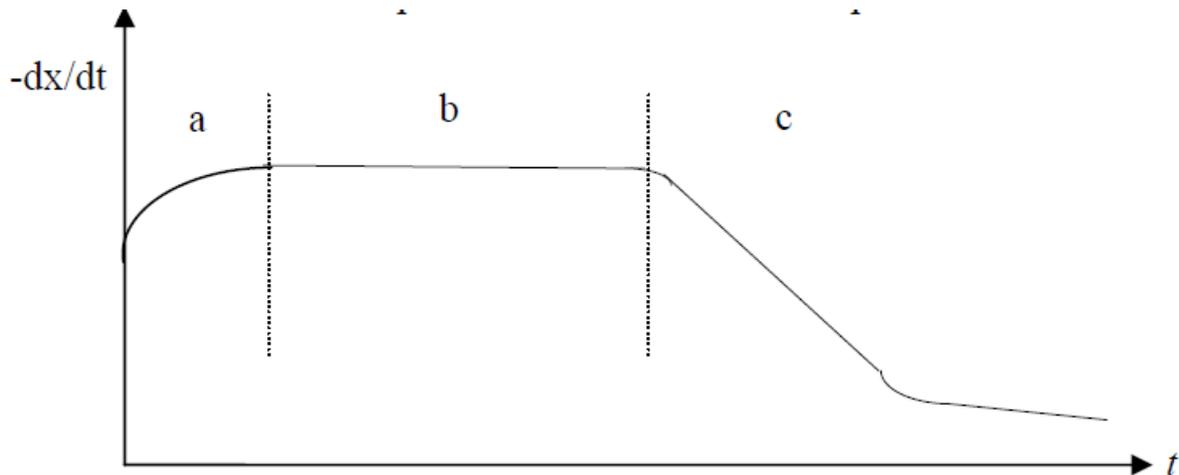


Figure II.6 : périodes du séchage

Dans la courbe ci-dessus est schématisée la variation de la vitesse de séchage en fonction du temps. Souvent on construit aussi la courbe de la vitesse de séchage en fonction de l'humidité restant dans la matière au cours du séchage. [1]

- **Période de mise en température (région a)**

Quand un produit d'une température de surface T_s et d'une pression partielle de vapeur d'eau P_s est brassé par un courant d'air chaud, des échanges de chaleur et de matière ont lieu entre le produit et l'air asséchant. Pour être emportées sous forme de vapeur les quantités d'eau contenues dans le produit exigent un apport correspondant de l'énergie de vaporisation, l'excès de chaleur fournie par l'air amène le produit à s'échauffer davantage jusqu'à atteindre la température du bulbe humide caractéristique de l'environnement séchant. Cette période est généralement très courte au regard du temps de séchage global.

- **Période à allure constante (région b)**

Cette période de séchage à vitesse constante correspond à l'évaporation du liquide superficiel. Le liquide remonte en surface sous l'action des forces d'aspiration des capillaires et il se renouvelle à une vitesse suffisante pour former une pellicule continue et compenser l'évaporation. Le flux de chaleur échangé par convection entre l'air et le produit est entièrement utilisé pour l'évaporation de l'eau. Cette période est identique au séchage isenthalpe d'un film d'eau et dépend donc essentiellement des conditions aérauliques entourant le produit à sécher. Lorsque l'humidité superficielle du solide n'est pas renouvelée à une allure suffisante pour maintenir en surface une pellicule continue du liquide, la vitesse cesse d'être constante. Pour les produits alimentaires et biologiques, on n'observe en général pas de période de séchage à vitesse constante. Ceci s'explique par le fait que les parois cellulaires perturbent la migration rapide de l'humidité vers la surface extérieure du produit, par la migration des solutés qui obstruent les pores et par le durcissement et la rétraction de la surface du produit

- **Période de ralentissement (région c)**

Au cours de cette période la surface du produit n'est plus saturée en vapeur d'eau et le transfert de masse est contrôlé par les mécanismes complexes du déplacement de l'eau de l'intérieur vers la surface du produit. Cette période représente souvent la quasi totalité du séchage. Le ralentissement de l'allure de séchage est expliqué par les phénomènes suivants :

- *Disparition de l'eau libre en surface de produit :**

La zone d'évaporation "front de séchage" qui se trouvait en surface se déplace vers l'intérieur du produit. En amont de cette zone, il y a migration de l'eau libre, tandis qu'en aval c'est l'eau liée et la vapeur d'eau qui sont évacués.

La brusque réduction de la surface effective de transfert due à une alimentation insuffisante en eau libre est la cause de ce ralentissement.

- *L'épaisseur du produit :**

Si cette épaisseur est de plus en plus croissante, cela signifie que la vapeur d'eau doit traverser un parcours plus long expliquant ainsi et en grande partie ce ralentissement de l'allure de séchage.

- *La diffusivité de l'eau dans le produit :**

Elle varie avec la teneur du produit en eau, plus ce dernier est sec, moins il devient perméable à l'eau.

- *La résistance mécanique des parois cellulaires intactes :**

Les parois cellulaires intactes empêchent la vapeur d'eau de passer en grande quantité à l'extérieur du produit.

- *Le croutage :**

Certains composés solubles notamment les sucres et les sels accompagnent l'eau évaporée pendant la période à allure constante (région b) et sont disposés à la surface. Ce phénomène appelé croutage est à l'origine de fortes concentrations en surface de ces composés solubles qui bouchent les pores du produit. L'accumulation et l'assèchement de ces solutés imperméabilisent la surface du produit. [1]

10)-Les séchoirs

Classifications des séchoirs industriels

Les séchoirs industriels sont classés selon :

- a) Propriété physique de la matière**

Les propriétés physiques de la matière à sécher sont le facteur le plus important pour le choix du séchoir.

- b) Méthode d'approvisionnement en énergie**

Lorsque l'énergie est fournie au produit (transfert de chaleur par convection) par l'air chauffé, le séchoir est classé de type convectif. Si la chaleur est transférée au produit avec un contact direct, le séchoir est classé de type conductif.

c) la gamme de température

Les systèmes de séchage peuvent être classifiés selon la gamme de température de fonctionnement, soit à hautes températures ou à basses températures. Les types de séchoir à hautes températures, sont employés lorsque le produit nécessite un gaz très chaud, et reste en continuité jusqu'à ce que le produit soit séché (le bois par exemple). Pour les types de séchoir à basses températures, ces dernières soient inférieures à 100°C.

d) mode de répartition des nourritures

- Séchage en couche mince:

Les fruits et légumes sont posés sur des claies, et séchés en couche mince lorsque l'air chaud traverse les produits de bas vers le haut.

- Séchage en couche épaisse:

Ce mode de séchage est généralement utilisé pour les fourrages, les céréales, le café etc. l'air chaud est soufflé dans un amas des produits, reposant sur une grille perforée.[2]

Les séchoirs naturels

Ils utilisent directement le soleil et l'air, où les produits sont répartis sur des claies ou des nattes, dans des cribs, ou disposé même au sol. Les cribs sont orientés perpendiculairement au vent dominant.

Ces séchoirs sont très bon marché, mais nécessite une intervention humaine régulière, protection ou ramassage du produit en cas de pluie, malaxage fréquent, pour éviter la surchauffe de la couche supérieure et homogénéiser le produit pour permettre à la couche inférieure de sécher.

Ce type de séchoir est souvent traditionnel dans les communautés paysannes, pour répondre aux problèmes de la conservation temporaire du produit, en attendant la vente ou la consommation.

Il présente cependant, des inconvénients, qui sont : pertes du produit mal séché ou gâchés lors de remuage, destruction de vitamines A et C, par l'exposition directe au soleil, dégradation par les intempéries et les nuisibles (insectes, rats, poussières). [2]

11)-Appareillage

La classification des appareils peut s'effectuer suivant le procédé (continu, discontinu), le mode de séchage (convection, conduction, rayonnement, lyophilisation), ou le type de produits traités (solides en blocs, poudre, pâte, pulpe, film...). On signalera que l'utilisation d'un procédé continu se fera préférentiellement dans le cas d'une fabrication importante.

Les sécheurs discontinus présentent l'inconvénient majeur d'entraîner un coût énergétique supplémentaire à chaque fin de cycle.[3]

11.1/ Séchage par conduction

Les étuves constituent un exemple de sécheurs en discontinu: elles conviennent pour de faibles quantités ou pour des produits coûteux exigeant des conditions de séchage très particulières.

On peut donner deux exemples de sécheurs continus:

- les sécheurs à tambour rotatif: ils sont constitués par un long cylindre légèrement incliné tournant à l'intérieur d'une enceinte chauffée par des gaz de combustion d'un brûleur.

Le solide descend sous l'action de la gravité et de l'entraînement.

Le mouvement de rotation permet le renouvellement du solide au niveau des surfaces chauffantes.

Ils sont très appropriés pour des produits minéraux supportant des températures élevées.

- les sécheurs à cylindres: ils sont constitués de cylindres creux animés d'un lent mouvement de rotation et chauffés à l'intérieur par un fluide caloporteur. La matière à sécher s'écoule entre les cylindres. Ils conviennent pour les produits sous forme de films (textiles, papier, matières plastiques...).

11.2/ Séchage par convection

On distingue pour les sécheurs discontinus ceux fonctionnant par léchage (courant de gaz parallèle à la matière) et ceux fonctionnant par traversée (courant de gaz perpendiculaire à la matière). Dans les étuves le produit est fixe sur des plateaux

Deux exemples importants de sécheurs continus peuvent être indiqués:

- les sécheurs à tambour rotatif: ils présentent de grandes analogies avec les sécheurs du même type fonctionnant par conduction mais ici l'air chaud est directement en contact avec le produit. Ce séchoir est adapté aux produits pulvérulents non collants.

- les sécheurs à lits fluidisés: ce séchoir convient pour des poudres divisées qui sont placées sur un support poreux. Un courant d'air chaud est soufflé sous la couche de matière et un lit fluidisé s'établit; les échanges thermiques sont alors intenses et l'efficacité du séchage est très grande.

11.3/ Séchage par atomisation

Ce procédé est applicable directement à des solutions, des émulsions ou des suspensions fines. Il permet notamment de regrouper en une seule opération la suite d'opérations de cristallisation, de filtration et d'essorage.

Le système de pulvérisation en très fines gouttelettes du liquide préchauffé conditionne l'efficacité du séchage. Il est constitué d'une turbine tournant à grande vitesse. L'air est introduit chaud par un disperseur dans la chambre. Pendant son trajet dans l'appareil, toute l'eau est évaporée par l'air.

Ces sécheurs fonctionnent en continu et s'appliquent à de grosses productions. Ils ont l'inconvénient de nécessiter la vaporisation de très grandes quantités de solvants et consomment donc beaucoup d'énergie ce qui freine leur développement. Beaucoup de produits peuvent être séchés par ce procédé:

- produits minéraux (pigments, engrais...)
- produits organiques (colorants, polymères, produits pharmaceutiques...)
- produits alimentaires
- lessives

11.4/ Séchage par lyophilisation

Certains produits alimentaires ou pharmaceutiques d'origine animale ou végétale doivent être déshydratés pour le stockage et le transport. Le séchage par un procédé classique entraîne la migration des composés solubles de l'intérieur des cellules vers la périphérie des produits en même temps que l'évaporation de l'eau.

Cette concentration des composés solubles à la périphérie provoque une redistribution sélective à la réhydratation et donc une dégradation de la qualité des produits. De plus les composés naturels ne supportent parfois aucun apport de chaleur sous peine d'être détruits (vitamines). La lyophilisation combine l'action du froid et du vide pour réaliser la sublimation de cristaux de glace sans passer par la phase liquide.

Le procédé peut être expliqué sur la figure suivante. On refroidit la substance à des températures de l'ordre de -10 à -40 °C très rapidement pour obtenir des cristaux de glace de petite taille (la sublimation suivante est alors facilitée). On abaisse ensuite la pression en dessous du point triple (entre 100 et 10 pascals) de façon à permettre la sublimation de cristaux: on évite ainsi la formation d'eau liquide intermédiaire. La sublimation se poursuit jusqu'au produit sec tant qu'on maintient une pression suffisamment faible au-dessus du produit.

La récupération de la vapeur d'eau s'effectue soit par condensation sur une paroi refroidie à -40 °C avec formation de glace et élimination de celle-ci par un racloir, soit par action d'un déshydratant (P₂O₅, CaCl₂ ...). L'aspiration des vapeurs par la pompe à vide est impossible en raison de l'énorme volume de la vapeur d'eau dégagée sous ces pressions; la pompe à vide n'élimine donc que les incondensables.

La lyophilisation est un procédé coûteux (production des frigories, utilisation du vide) qui est donc réservé à des produits alimentaires ou particulièrement onéreux: jus de fruits, lait, plasma sanguin, antibiotiques... [2]

12)-Équipements Annexes Des Sécheurs

12.1/ Filtres

Suivant le produit à traiter des contraintes importantes peuvent être imposées à l'air de séchage. Des filtres sont donc souvent installés; ils peuvent parvenir parfois à empêcher le passage des bactéries et autres micro-organismes s'ils sont suffisamment fins.

12.2/ Ventilateurs

Ils communiquent à l'air l'énergie mécanique nécessaire à sa traversée du sécheur.

12.3/ Déshumidificateurs de l'air

Pour améliorer la capacité d'absorption d'eau de l'air, il est intéressant de prévoir un dispositif de déshumidification de l'air qui abaisse l'humidité de l'air avant son entrée dans le sécheur [3].

On peut procéder par condensation en diminuant la température de l'air en dessous de son point de rosée ce qui permet d'éliminer l'eau en excès. On peut aussi passer l'air sur un support hydrophile qu'on régénère ensuite. Cette deuxième méthode est plus fréquemment utilisée pour déshumidifier l'air de refroidissement des produits après séchage [3].

12.4/ Réchauffeurs d'air

La nécessité d'abaisser l'humidité relative de l'air avant son entrée dans le sécheur pour obtenir une meilleure efficacité oblige à préchauffer l'air. On utilise à cet effet des aérothermes constitués par des tubes munis d'ailettes et traversés par des fluides caloporteurs.

Une deuxième solution consiste à utiliser des brûleurs utilisant des combustibles divers (fuel, charbon, gaz). Si le contact de l'air avec les produits de combustion est direct le rendement thermique est meilleur mais il faut alors ne pas avoir de contraintes au niveau de la contamination par les dérivés de combustion du produit à sécher. Pour éviter ce problème, on réchauffe alors l'air en utilisant un échangeur [3].

12.5/ Récupération thermique

Le recyclage de l'air en sortie du sécheur peut s'effectuer s'il est encore peu chargé en humidité. On renvoie donc cet air mélangé à de l'air « neuf » au niveau du préchauffage. Il est aussi parfaitement possible d'utiliser l'air en sortie souvent encore à une température élevée pour contribuer en partie au préchauffage de l'air « neuf » [3].

13)-Problèmes Générés Par Le Séchage

13.1/ Risques d'explosion

Le sécheur est un appareil dangereux si le solvant est un composé organique car il met en présence des vapeurs organiques et des poussières organiques avec le dioxygène de l'air [3].

Une explosion ne peut avoir lieu qu'en présence de facteurs déterminés:

- dioxygène en quantité suffisante: on considère généralement qu'en dessous de 7 % il n'y a plus de risques sérieux.
- présence d'une source d'ignition qui va fournir l'énergie minimale d'inflammation: paroi chaude, choc, étincelle électrostatique...
- présence d'un comburant organique:
 - ✓ s'il est sous forme de vapeurs il faut que la concentration soit inférieure à la limite inférieure d'explosivité définie en fonction de la teneur en dioxygène de l'air.
 - ✓ s'il est sous forme de poussières, le risque devient très important pour des poussières de taille inférieures à 100 µm.

Le risque dépend également de la concentration en poussières.

L'accent est mis sur les moyens curatifs de protection (résistance mécanique améliorée de l'ensemble des constituants du sécheur, présence de disques de ruptures communiquant avec l'extérieur par un conduit de gros diamètre...) mais aussi sur les moyens préventifs. On peut dans ce but installer des mises à la terre, des liaisons équipotentielles entre les parties métalliques mais il faut surtout se placer dans des conditions minimisant les risques de se trouver dans la zone d'explosivité.

L'utilisation d'un courant d'azote dans le sécheur permet de diminuer la concentration en dioxygène. Dans le cas d'un séchage par conduction sous pression réduite, les vapeurs sont essentiellement formées du solvant: on s'attachera donc à éviter des entrées d'air dans le sécheur.

13.2/ Protection de l'environnement

L'air rejeté à la sortie doit respecter les normes de rejet en vigueur. Il faut donc notamment dans le cas de l'évaporation d'un solvant organique récupérer le solvant.

Les poussières de solide entraînées avec le gaz ne doivent pas dépasser une certaine concentration: on utilise donc des appareils pour le dépoussiérage des gaz (cyclones, filtres à manches, colonnes de lavage...). [3]

Conclusion

La sélection d'un mode de séchage doit d'abord tenir compte du comportement mécanique du produit initial (liquide, solide, fragile, etc.) et de la forme du produit final (poudre, paillettes, morceaux, etc.), de sa sensibilité à la chaleur, des modes de manipulation, des débits à traiter, de l'énergie disponible, etc.

Dans notre travail, on a choisi le mode convection car il est le mode le plus compatible avec les conditions de l'usine.

Chapitre III :
Applications,
discussion et
évaluation du
procédé par séchage
partiel

Introduction

Malgré l'importance de la société Al-zinc notamment dans : le domaine économique (le coût élevé de zinc), le repositionnement de l'usine (un endroit stratégique à côté du port), et la plateforme logistique (réduction des coûts de transport liés à l'import des matières premières et de l'exporter vers l'extérieur comme produit fini).

En contrepartie de ces avantages, un fait négatif sur la santé de la population est souvent présent par le fait du jet anarchique des résidus auprès de la ville où ces derniers contiennent des produits chimiques toxiques affectent à la fois l'environnement au niveau de la terre et la mer, en plus des pertes de zinc au niveau de résidus lixiviation.

Donc grâce aux résultats de l'analyse et au problème posé, nous avons essayé de résoudre le problème des résidus par un procédé de séchage. Chaque année l'usine de ALZINC perd des milliards de dinar à cause du jet des résidus.

Notre travail consiste à sécher les résidus de la lixiviation, de revalorisation de ces résidus et de les vendre au pays qu'ils ont besoin. Comme ça nous avons éliminé toutes les influences de l'usine sur l'environnement.

Dans ce chapitre nous avons suggéré une solution robuste, nous présentons une étude détaillée sur la revalorisation des résidus de lixiviation, ensuite une mise en œuvre d'un processus de séchage durable et moins coûteux.

1)-L'ANALYSE DE LABORATOIRE

Les analyses de laboratoire montrent que les résidus de lixiviation contiennent 20.27% de Zn pur et contiennent aussi d'autres éléments comme Ag Pb Cu mais le plus important parmi ses résidus est le ZINC (notre cas d'étude).

Crasses du zinc, Zn=72.60%

H₂O=2.53%

Boues cuivriques : Cu=34.30%

H₂O=13.65%

Crasses Pb/Ag : Pb=89.48%

Ag=0.21%

H₂O=0.36%

Oxyde du zinc récupéré : Zn=49.76%

H₂O=16.76%

Oxyde du zinc : Zn=61.22%

H₂O=1.21%

Résidus lixiviation : Zn=20.27%

Solution purifié : Zn=113.08g/l

8 heures ___ 5 bennes

Chaque benne => 7.5 Tonnes

24 h _____ 112.5 Tn

Résidus(Bennes)

Zn : 19.04%

Zn (H₂O) : 6.1 %

Zn (H₂SO₄) : 9%

H₂O : 35.25%

2) - ANALYSE ECONOMIQUE

La production dans le monde de zinc

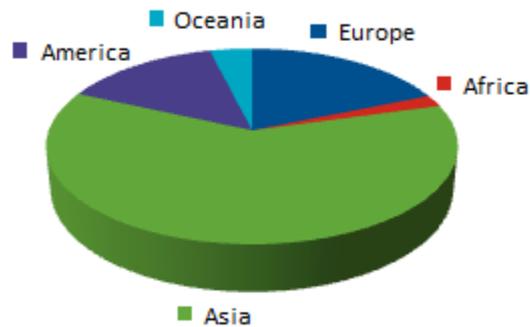


Figure III.1 : la production de zinc dans le monde

Nous avons fait une analyse économique des résidus de lixiviation. Les statistiques montrent que l'usine perd environ deux milliards de dinar chaque année

D'après les données qui nous ont été transmises de l'usine, nous avons dressé le tableau suivant :

Produits	Prix HT DA	Prix TTC DA
Zinc pure	255 000	298 350
Zamak et autre alliage de zinc	265 000	310 050
Acide sulfurique	12 000	14 040

Tableau III.1 : représente les Prix de vente des produits finis (du : 07/05/2015)

La partie de lixiviation dans l'usine ALZINC contient 3 position chaque position déchargé 5 bennes chaque benne porter 7.5 Tn de résidu donc il ya 15 bennes c'est à dire 112.5 Tn par jour de résidu

$$7.5\text{Tn} \times 5 \times 3 = 112.5 \text{ Tn la quantité de résidu chaque jour}$$

$$112.5 \times 20 / 100 = 22.5 \text{ Tn Zn pur chaque jour}$$

$$22.5 \text{ Tn} \times 255 \text{ 000 DA} = 5737500 \text{ DA}$$

Donc on a conclue que l'usine jette 5737500DA chaque jour ce qui est catastrophique.

Par ailleurs, a coté de ce gaspillage des matières premières, d'autres inconvénients existent comme la pollution. Toutes ces raisons nous avons poussé pour faire cette étude.

Nous avons divisé notre étude en deux parties : mécanique et automatique

3)-CONCEPTION MECANIQUE

3.1 Introduction à la CAO

Nous pouvons définir la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) par l'ensemble des outils logiciels et des techniques informatiques qui permettent d'assister les concepteurs dans la conception et la mise au point d'un produit.

3.2 Les principaux logiciels dédiés à la CAO

Chaque profession possède ses propres logiciels ayant tous leurs propres spécificités ainsi

- Les principaux logiciels mécaniques
 - **Pro-Engin , Catia et Inventor**
- Les principaux logiciels d'architecte
 - **ArchiCAD , AutoCAD et Allplan**
- Les principaux logiciels électroniques
 - **Altium Designer , Eagle et Kicad**

3.3 Cahier de charge

Avant de passer à la conception et la modélisation du système, nous avons défini le cahier de charge précisant les données caractéristiques de l'installation du système, voir tableau ci-dessous :

Les éléments de système	Les Caractéristiques
La cuve	percé de capacité 8 Tn résistant à l'acide
Le convoyeur à vis	1tr/s a 15 m de longueur
Tuyaux	Longueur de 70 m
Capteur	De niveau et de position
Moteur pas à pas	10 min
Vérin	Force de pousser 10 Tn
Presse	Force de pression 45 Tn
Ventilateur	pression $3600\text{Pa} < \Delta P < 1000\text{ Pa}$
La température de l'aire chaud	950°C
La pression de l'aire chaud	7 bars
Le temps de séchage	24/24h

Tableau III.2 : présentation de cahier de charge

Ce travail préparatoire est indispensable et nous permettra de préciser le besoin auquel nous répondons.

3.4. Les besoins en éléments de conception du procédé sont :

- **3.4.1. Une Cuve avec son support**
une cuve percée de capacité 8 Tn résistante à l'acide avec un support parfaitement stable (voir fig III.2).



Figure III.2 : cuve avec leur support

- **3.4.2. Un Ventilateur**
Un ventilateur à haute pression $3600\text{Pa} < \Delta P < 1000\text{ Pa}$ pour sécher le résidu rapidement avec une grande efficacité (voir fig III.3) :



Figure III.3 : ventilateur

- **3.4.3. Un Vérin :**
Le vérin donne une simplicité de mise en œuvre qui est utilisée dans toutes les industries manufacturières (voir fig III.4). Il permet donc, de reproduire les actions manuelles d'un opérateur telles que pousser, tirer, plier, serrer, soulever, poinçonner, positionner, etc...

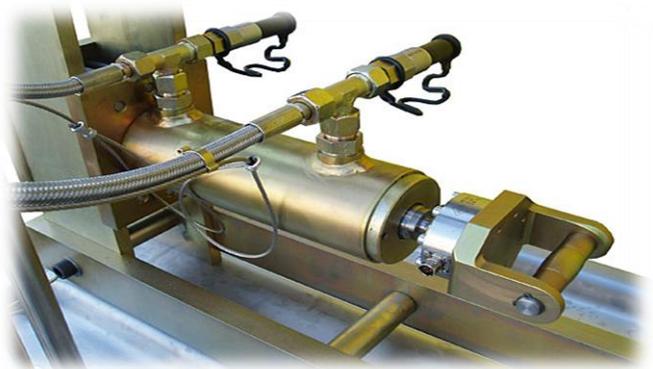


Figure III.4 : vérin

• **3.4.4. Les Tuyaux**

Les tuyaux d'une longueur de 70m et résistants à une chaleur presque 950° c (voir fig III.5).



Figure III.5 : tuyaux

3.4.5. Un Convoyeur à vis sans fin

Le convoyeur à vis sans fin peu être utilisé pour le dosage, le mélange, le transport et l'extraction du résidu (notre cas d'étude). Ce convoyeur ayant une longueur de 15m. (voir fig : III.6).



Figure III.6 : Convoyeur à vis

3.4.6. La Presse hydraulique

La Presse Hydropneumatique de force 45T, de charge 45 Tonnes pour presser l'eau existant dans le résidu de lixiviation (voir fig III.7).



Figure III.7 : presse hydraulique

3.4.7. Les Moteurs pas à pas

Le principe des Moteurs pas à pas est la création d'un champ tournant. Nous avons utilisé ce dernier pour l'ouverture et la fermeture de la portière de la cuve (**voir fig III.8**).

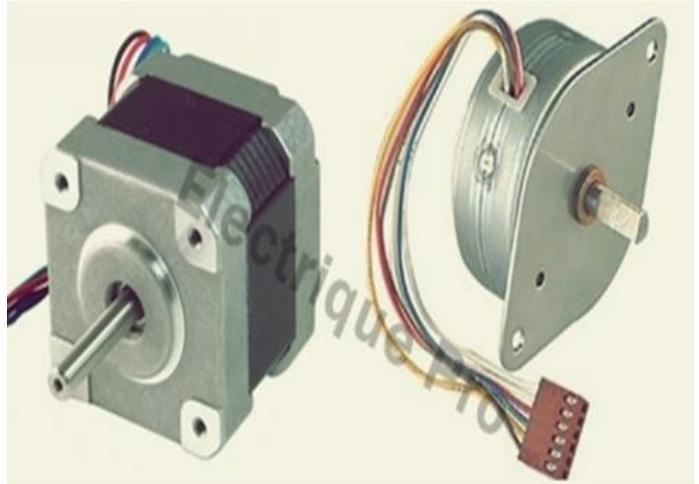


Figure III.8 : moteur pas à pas

3.4.8. Les capteurs

Un capteur de niveau capacitif est un organe de prélèvement d'information dans un dispositif capacitif. Placé à l'extérieur de la cuve à mesurer. Le produit constitue le diélectrique. La capacité du condensateur est ainsi en fonction du niveau du produit. Ce dispositif nous convient pour la mesure et la détection du niveau pour le résidu conduit (produit étudié) (**voir fig. III.9**).



Figure III.9 : capteur

3.5. Utilisation du logiciel CATIA V5 :

Dessin 2 D et 3D a laide de

Nous avons choisi le logiciel de conception mécanique CATIA V5 de CAO 3D (volumique et surfacique), voir schéma ci-dessous :

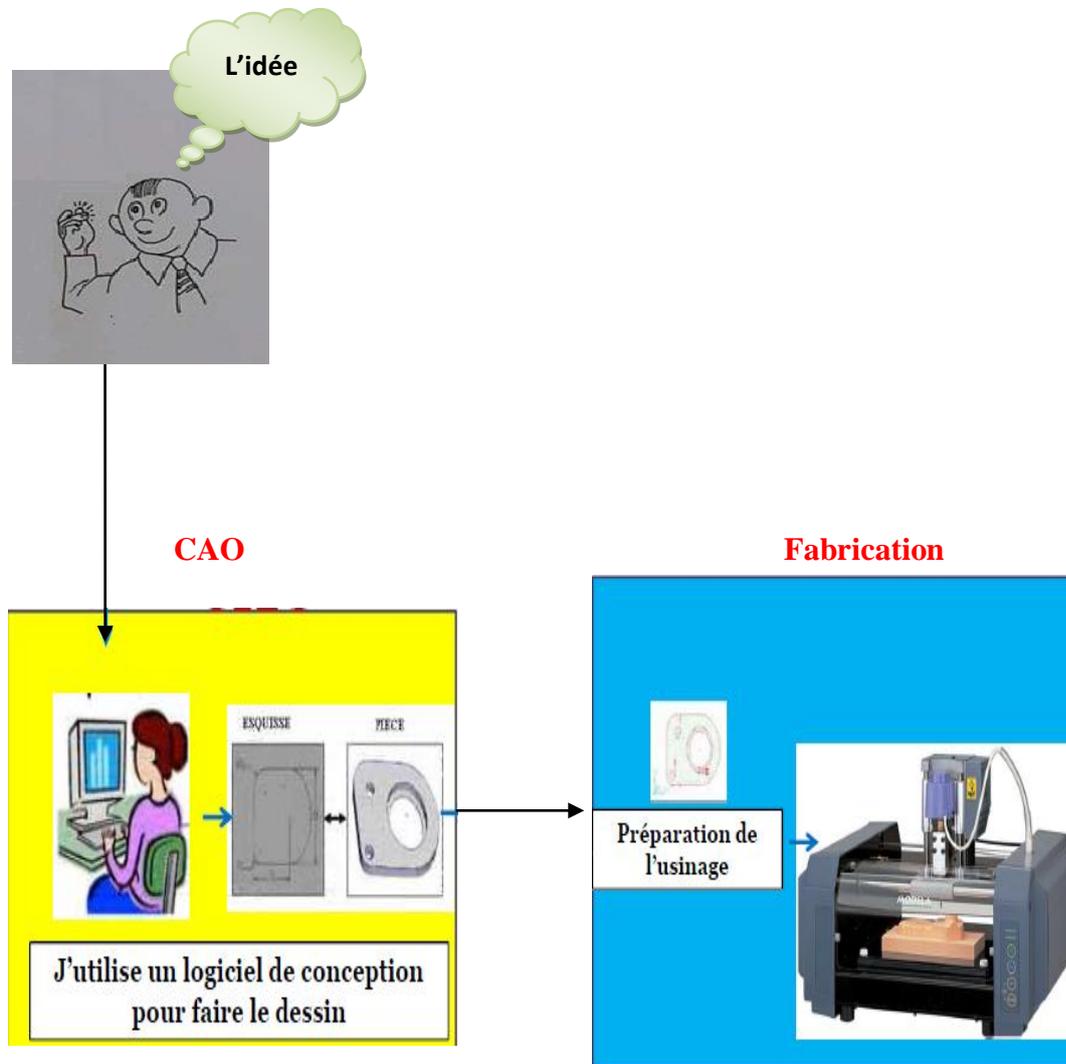


Figure III.10 : schéma du processus de travail

3.5.1. Schéma papier

Avant de commencer notre travail de modélisation, nous avons mis notre idée sur un papier, afin d'avoir le croquis de conception pour la résolution du problème de notre cas à étudier.

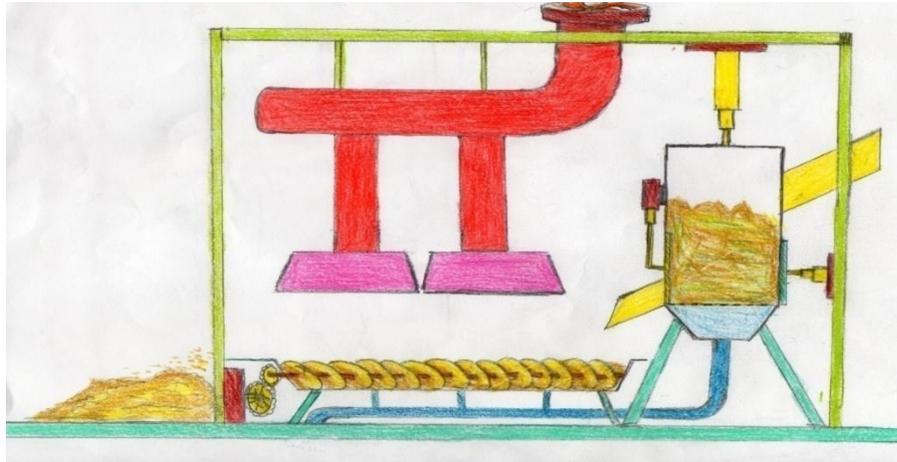


Figure III.11 : schéma papier

3.5.2 Conception par CATIA V5

Nous donnant par la prise de photo, la globalité du mécanisme innovant que nous avons étudié, voir figure ci-dessous :

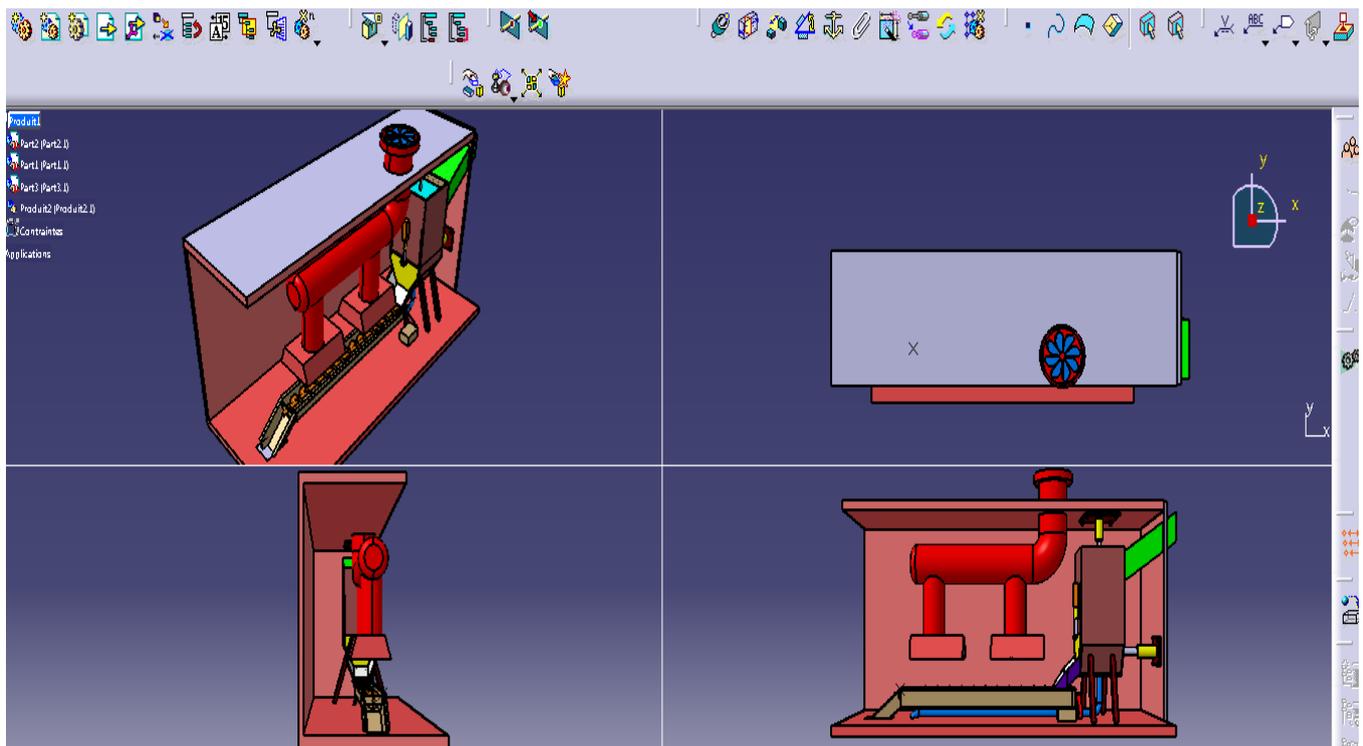


Figure III.12: Vues du mécanisme

4)- PARTIE AUTOMATIQUE

4.1. Graphe sept de système :

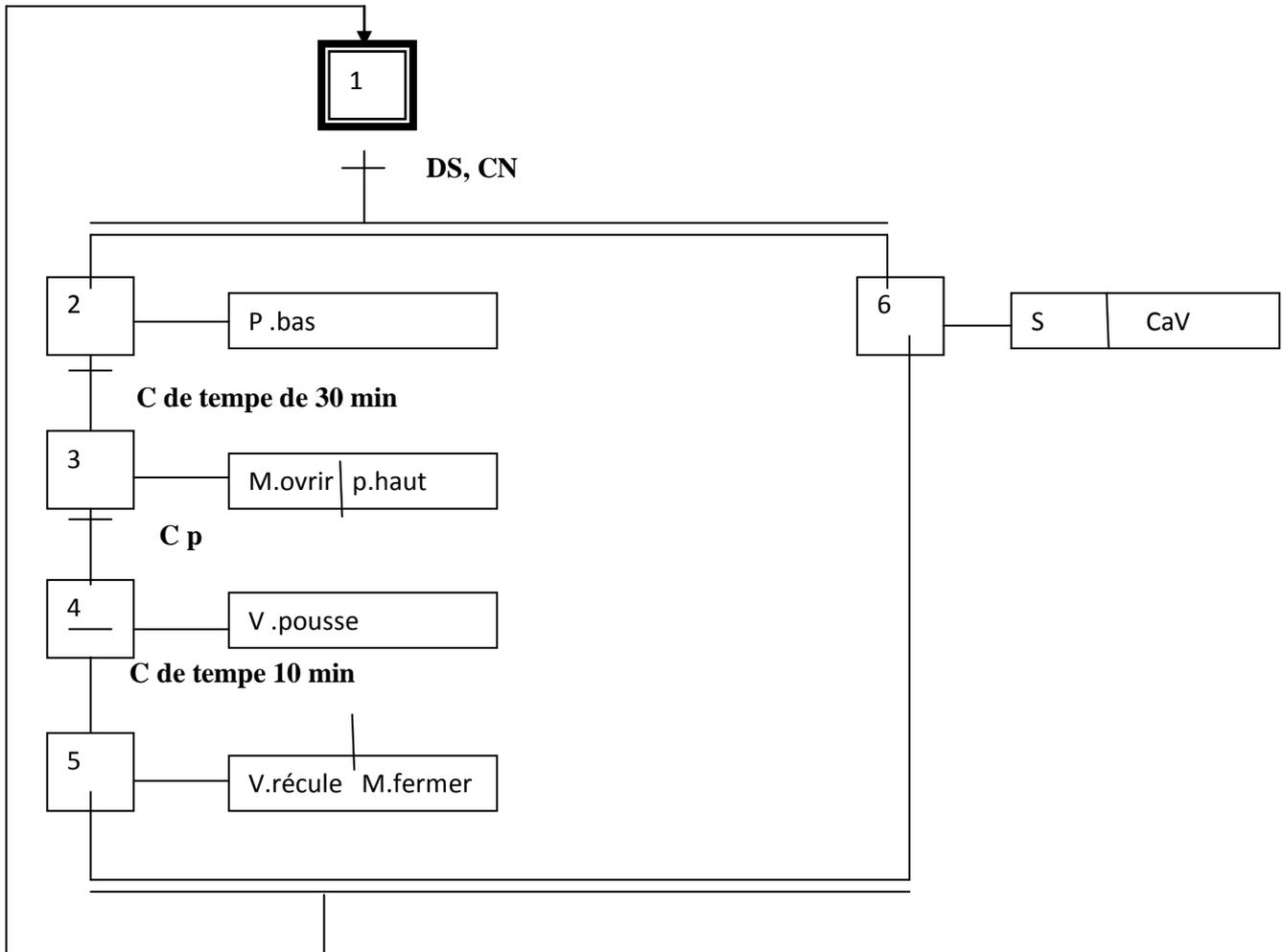


Figure III.13 : Le plan graphe sept du système

P .bas : presse bas.

capteur de temp de 30 min et de 10 min.

M.ovrir : porte ouvert.

p.haut : presse haut.

V .pousse : vérin poussé.

V.réculé : vérin reculé.

M.fermer : porte fermer.

S : séchoir.

CaV : convoyeur a vis.

Cp : capteur de position.

CN : capteur de niveau.

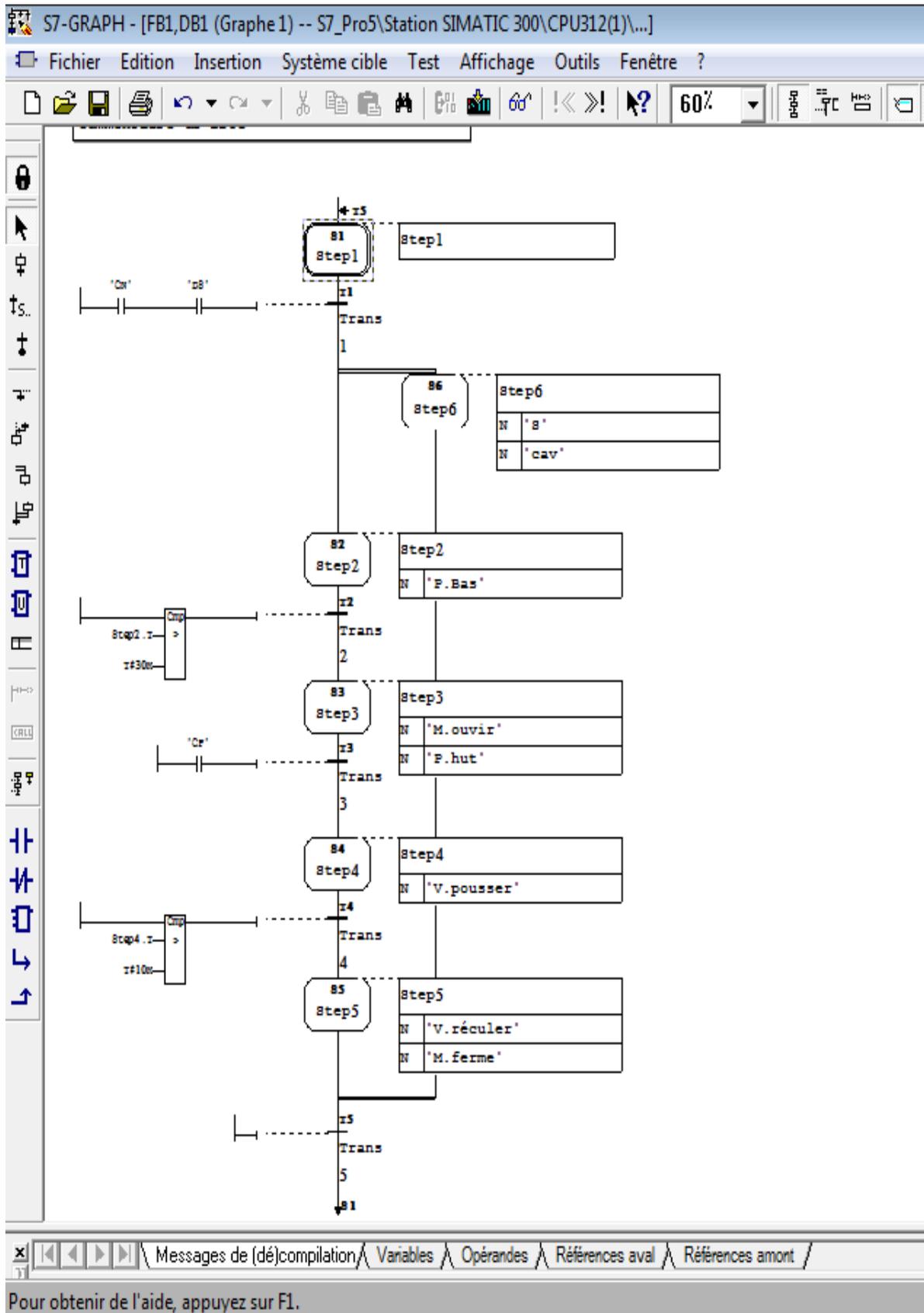


Figure III.14 : Photo capturée du logiciel STEP SEPT

4.2. Programme d'ARDUINO moteur pas a pas

```
#include<steepet> //librairie pour moteur pas a pas
//affectation des broches du driver
#define Broche1 9
#define Broche2 6
#define Broche3 10
#define Broche4 13
const Int Pas_Pas_tour*200//nombre de pas à exécutet
const Int Nb_pas*50//nombres de pas à exécutet
//déclaration d'un objet steppet
steppet moteur(pas_pas_tour,Broche1,Broche2,Broche3,Broche4,);
void setup(){
//vitesse de rotation en tr/mn
moteur.set speed(s);
//Broches déclarées en sorties
pin mode (Broche1,output);
pin mode (Broche2,output);
pin mode (Broche3,output);
pin mode (Broche4,output);
}
void loop (){
//on effectue Mb_pas dans un sens
moteur.step(Mb_pas);
dely(500);
//on effectue Mb_pas dans l'autrs sens
moteur step (-Mb-pas)//retour d'un pas sens }
```

5)- Mode de fonctionnement du système

Dans notre système, nous avons choisi le mode convection (voir chapitre II- page 38), car, c'est le plus compatible avec les conditions de l'usine.

Nous avons voulu expliquer dans un premier temps, l'arrivage du déchet de Zinc après être lavé pour l'élimination de l'acide de zinc ($ZnSO_4$). Cela, nous donnera une opération de séchage des rebuts solide efficace, car ce processus s'avère difficile. Le déchet est versé dans la cuve, ou il sera soumis à une pression en utilisant la presse pour l'isolement de l'eau saturé. Après cette opération, nous avons remonté la presse et ouvert la portière à l'aide d'un moteur pas à pas. Le déplacement du déchet le long de la vis sans fin le laisse exposé au séchoir sous une température de $950^{\circ}C$ maximum, qui lui donne un aspect séché. Ce dernier alors, est évacué par des moyens de transports vers les différents emplacements (clients ou stockage).

6)- RESULTAT ET DISCISION

Nous avons fait une première simulation par le logiciel Arena, sur l'état actuel de l'usine au niveau de lixiviation et la décharge du résidu, ensuite une deuxième simulation avec le système de séchage. Après nous avons fait une comparaison entre les deux états, le coté économique d'une part et celui de l'environnement de l'autre part.

6.1. L'état actuel de l'usine au niveau de lixiviation :

Dans ce cas, nous avons (03) trois positions avec (05) cinq bennes de décharge l'une, ce qui nous donne au totale 15 bennes dont, chacune porte 7.5 Tn de résidu.

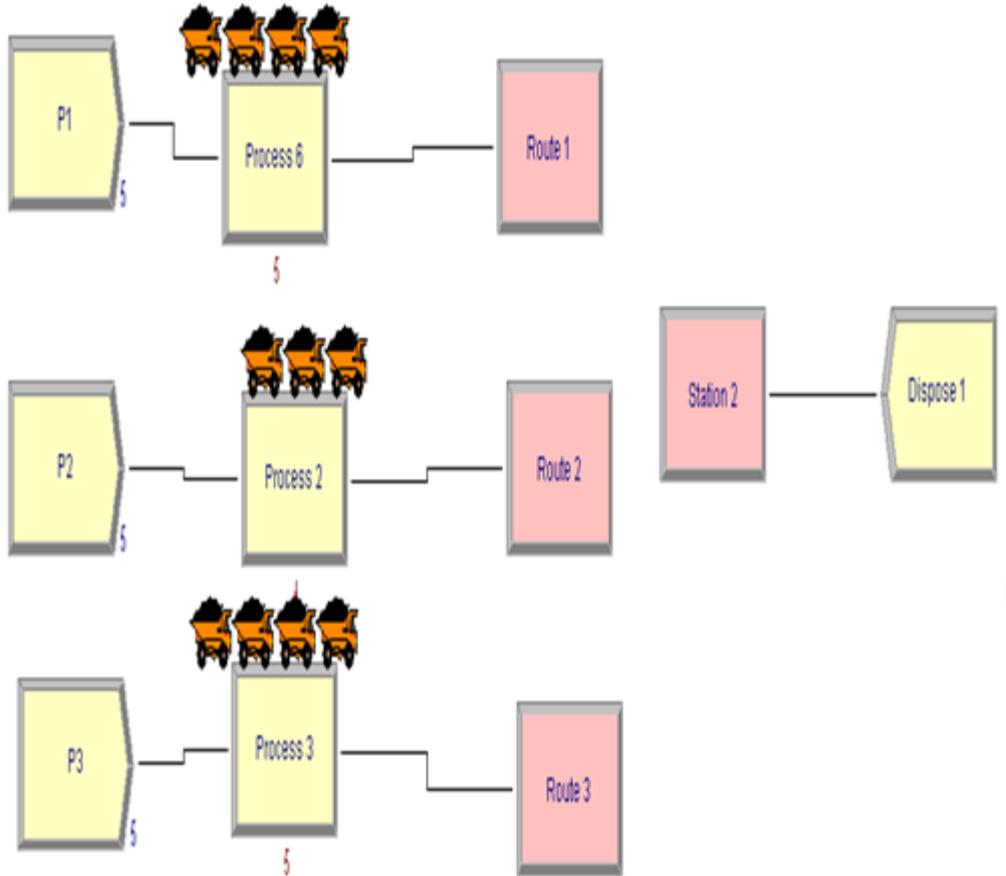
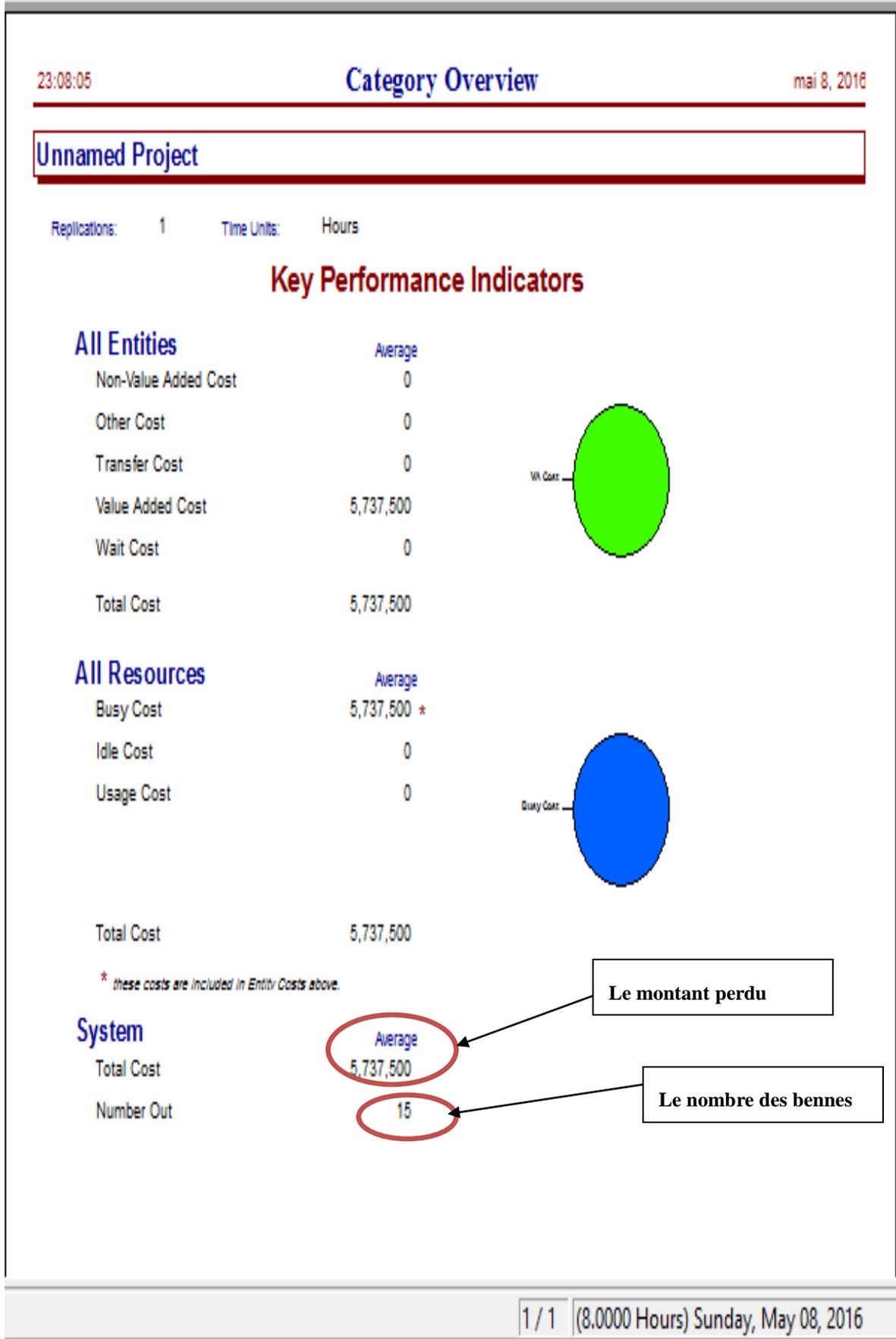


Figure III.15 : Photos capturées de la simulation par logiciel Arena (présentant l'état actuel de l'usine)



1 / 1
(8.0000 Hours) Sunday, May 08, 2016

6.2. La Deuxième simulation avec l'installation de système de séchage

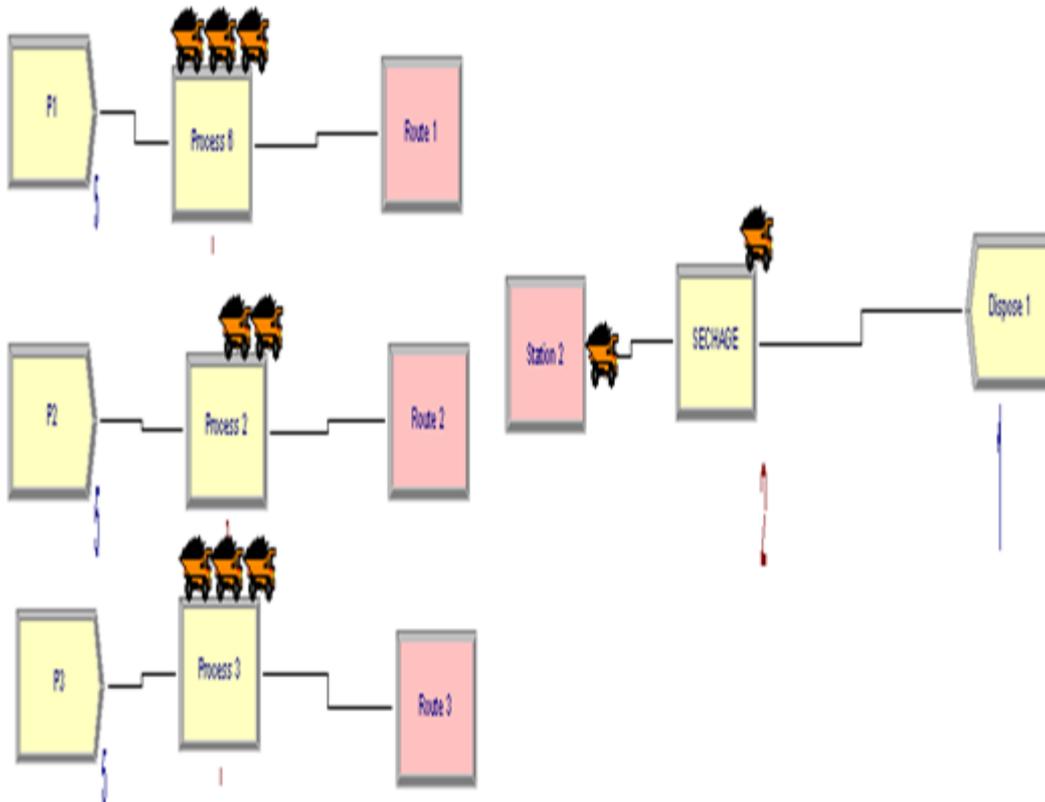
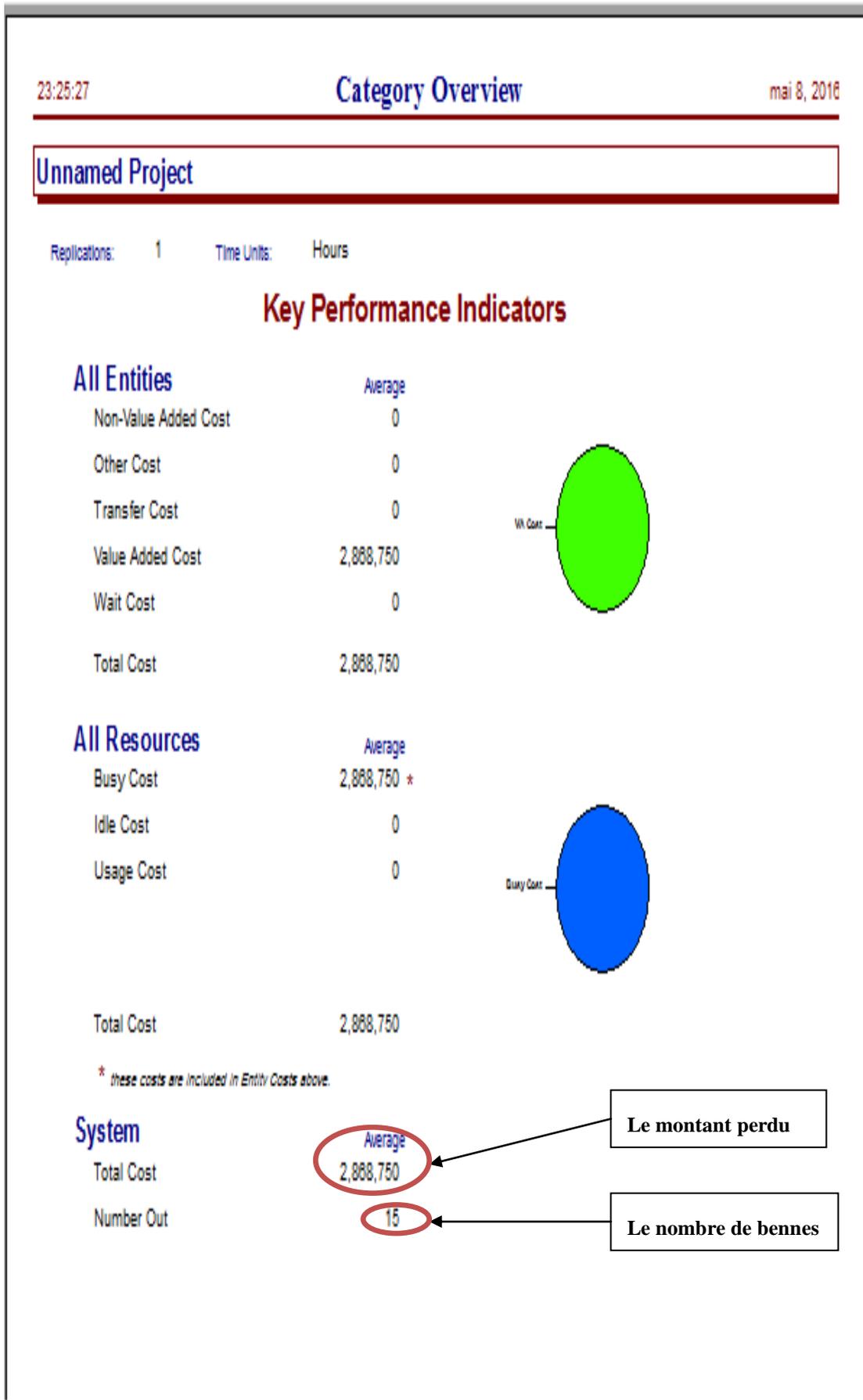


Figure.III.16: Photos capturées de la simulation par logiciel Arena L'état après l'installation de système



D'après ces simulations par Arena, nous avons obtenu deux résultats en rapports. Le premier représente, l'état actuel de l'usine et le second l'opération de séchage. Nous avons constaté en amont de ce processus, que le montant **5737500 DA**, est perdu chaque jour par cette usine. Mais, après notre apport d'utilisation de l'opération de séchage (déjà donnée auparavant), le montant perdu par l'usine chaque jour est de **2868750 DA**.

Donc, après le calcul de la différence, entre la somme de la première situation et la seconde nous avons trouvé une différence de bénéfice importante et qui nous a donné le gain calculé par l'opération ci-dessous :

$$5,737,500 \text{ DA} - 2,868,750 \text{ DA} = 2,868,750 \text{ DA} .$$

Conclusion

Rebus industriels isolés lors de l'lixiviation ont été considérés comme un problème majeur au niveau d'usine ALZINC à el-Ghazaouet parce qu'ils ont des influences négatives sur l'environnement d'une et du gaspillage du ZINC d'une valeur de (**5737500DA chaque jour**) qui ils contiennent d'autre part.

Pour cette raison on a dédié notre mémoire afin de contenir ces dégâts en se concentrant sur la minimisation de la valeur financière présumée avec la récupération du zinc et son commercialisation au moins avec un revenu à moitié de son coût initial (**2868750 DA chaque jour**) le gain facultatif de ce travail est la conservation environnementale par le séchage chimique des déchets ce qui va décroître ces méfaits et faciliter leur transport et réutilisation.

Conclusion générale

Nous avons que l'entreprise AL-Zinc est considérée comme l'une des usines algériennes qui a le problème des déchets jetés lors du processus de production.

En conclusion, nous avons pu relever les constatations, après notre apport du travail fourni, que Dans notre cas c'était les résidus de lixiviation. Notre projet de fin d'étude nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

- Une étude économique sur les résidus de lixiviation
- Conception d'un système avec 2D et 3D dessein a la main et dessein par logiciel CATIA
- Faire une simulation par Arena sur l'état actuel d'usine et une simulation après l'installation de système de séchage
- Faire une comparaison entre les deux simulations
- Modélisation d'un prototype de valorisation des déchets par séchage partiel.

Enfin, comme perspective nous concéderons que le travail n'est pas complètement terminé et que la pratique sur terrain est manquante. Malheureusement, on n'a pas pu appliquer ce système de séchage afin de démontrer que cette méthode est efficace. J'espère que cet humble travail sera poursuivi par d'autres personnes qui sont intéressés par ce domaine.

Abstract

Industrial wastes can be solid, gaseous or liquid materials, considered as a major problem faced in production systems regardless of their types and fields.

To reduce and solve this issue, we've dedicated our project which consists of designing, modeling and simulating the drying system of isolated wastes during the operation of leaching in the factory of ALZINC situated in El-Ghazaouet.

We've divided our project in three phases, first, studying the effects and influences of these wastes relatively to the actual state of the factory. Then we developed a system design in 2 and 3 dimensions using an operating model similar to the one used in the real system, finally, we established an economic and financial study for our system to explain the profits and costs related to this project.

The purpose of this work was to eliminate the dangerous effects of these wastes on the environment and to enhance its status into more dry wastes in order to raise the profit and improve the economic status of company.

Key words: Industrial wastes; to enhance; system of drying.é

Résumé

Les déchets industriel, sont des matières solides, gazeuses ou liquides considérées comme un problème dans les systèmes de production peu import leur domaines et leur nature.

Pour entamer et réduire ce problème on a choisi notre projet qui consiste à concevoir, modéliser et simuler le système de séchage des déchets isolé lors de l'opération de lixiviation dan l'usine d'ALZINC situé à Ghazaouet.

On a divisé ce projet en trois étapes, dans première étape, l'étude des effets et influences des ces déchets relativement à l'état actuel de l'usine .ensuite, on a élaboré la conception du système en deux et trois dimensions avec le modèle de simulation qui reflète le mode de fonctionnement du système réel. L'étape finale était celle ou l'étude économique et financière après l'installation du système de séchage avait lieu. Cette étude illustre les profits et le cout lié à cette installation.

L'objectif de ce travail était d'éliminer les effets nocifs de ces déchets sar l'environnement et de les revaloriser comme des déchets secs sar les quelle 'entreprise en profiter en les commercialiser et améliore sot état financier.

Mots clé : déchets industriel ; revaloriser ; système de séchage.

المخلص

المخلفات الصناعية: هي عبارة عن مواد, صلبة, سائلة, أو غازية مشكل يطرح في كافة الأنظمة الإنتاجية بمختلف أنواعها ومجالاتها. قصد الحد من هذا المشكل خصصنا دراسة مشروعنا هذا المتمثل في تصميم ونمذجة ومحاكاة نظام تجفيف للمخلفات الصناعية الناتجة من مرحلة التأشين في مصنع الزنك بالغزوات.

- حيث تطرقنا من خلال بحثنا الى ثلاث مراحل أساسية وهي: أولا - دراسة أثار ونتائج هذه المخلفات في الوضع الراهن, ثانيا - وضع تصاميم ببعدين والتصميم بأبعاد ثلاثية, مع نموذج محاكاة لطريقة عمل النظام. أخيرا - وضع دراسة إقتصادية مالية بعد وضع نظام التجفيف لتوضيح التكاليف والأرباح المحصل عليها من جراء إنجاز هذا النظام.

كل هذا العمل كان الغرض منه هو الحد من خطورة هذه المخلفات على البيئة بكافة عناصرها للإستفادة من أرباحها وتحسين الجانب المالي لها.

الكلمات المفتاحية: المخلفات الصناعية - نظام التجفيف - إعادة التقييم