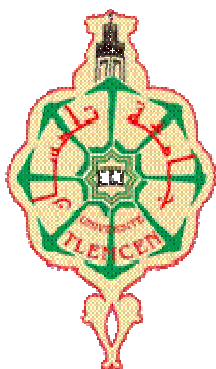


République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abou-Bekr Belkaïd - Tlemcen



Faculté De Technologie  
Département De Génie Electrique et Electronique  
Filière Nationale Génie Industriel



MEMOIRE pour l'obtention du diplôme de  
MASTER en « Génie Industriel »

Thème :

**Etude logistique de la valorisation des déchets  
alimentaires organiques dans la ville de Tlemcen**

Soutenue le 25/05/2017

Par :

✎ KHATER Aissa

✎ BRIREDJ Rachid

Devant la commission de Jury:

**Président:** Mr. GUEZZEN Amine Hakim      MCB      Université de Tlemcen

**Examineurs:** Mr. MALIKI Fouad      MAA      ESSAT Tlemcen  
Mr. HADRI Abdelkader      MAA      Université de Tlemcen

**Encadreur:** Mr. BENNEKROUF Mohammed      MCB      ESSAT Tlemcen

**Co-Encadreur:** Mr. MEKAMCHA Khalid      MAA      Université de Tlemcen

**Année Universitaire : 2016 - 2017**

# Remerciement

*En tout premier lieu, on remercie ALLAH, le tout puissant de nous donner la patience, la force et le courage pour élaborer ce travail.*

*On souhaite remercier notre encadreur Mr. BENNEKROUF Mohammed, pour le temps qu'il a consacré à la conduite de cette recherche. son exigence nous à grandement stimulé.*

*On exprime toute notre reconnaissance à notre Co-encadreur Mr. MEKAMCHA Khalid, pour sa disponibilité permanente, ses précieux conseils et suggestions nous ont permis de mener ce travail à son terme.*

*Nous adressons notre plus vifs remerciements à toute l'équipe pédagogique MELT, spécialement les enseignants qui nous ont enseigné durant notre cursus universitaire.*

*Que messieurs les membres de jury trouvant ici l'expression de notre profonde gratitude pour avoir accepté de juger notre travail.*

## Dédicace

*Je dédie ce travail aux êtres les plus chers à mes yeux **ma mère et mon père** qui ont toujours été derrière moi depuis le début de mes études, c'est grâce à leurs encouragements et à leurs prières que je suis là aujourd'hui.*

*A mes sœurs **Horia, Samra** et mes frères **Fethi, Mohammed** qui n'ont jamais cessé de m'encourager et à tous les membres de ma famille.*

*A mes collègues et camarades dont l'aide morale n'a jamais été sans effet et spécialement à mes meilleurs amis ; **Yassine** et mon binôme **Aissa***

*A toutes les personnes qui ont répondu présentes quand j'ai eu besoins d'eux.*

✍ **BRIREDJ Rachid**

## Dédicace

*Je tiens tout particulièrement à cœur de remercier **mes parents** pour m'avoir soutenu dans mon cursus et pour toute la fierté et la confiance qui m'ont apporté.*

*Je n'oublierai pas mes frères **Mohamed, Mokhtar, Yassin** et mes sœurs **Zokha, Ibtissem**, et **Farah** qui sont toujours su être la pour réconfort que je trouvé auprès d'eux. Et a mes proches pour leur amour et leur soutien permanent.*

*Un grand merci a **BENBACHIR Meriem** qui a toujours redonnée la confiance et la volonté. Enfin je tiens a exprimer ma reconnaissance a tous mes amis, **Sido, Brahim, Hichem**, et **Tito** mes collègues **Inal, moh Mahiba** et spécialement mon binôme **Rachid** et a tout qui de près ou de loin qui m'ont encouragé, m'ont supporté et soutenu dans des moments difficiles. ils sont nombreux et tous présent dans mon cœur.*

*✍ KHATER Aissa*

## Résumé :

L'objectif de ce mémoire est de concrétiser en premier lieu une logistique inverse dédiée à la collecte optimale des déchets ménagers dans la ville de Tlemcen. Afin de valoriser la transformation de ces déchets en compost (engrais naturel), en deuxième étape, une étude technico-économique est investiguée sur le cas du modèle de compostage d'aération forcée en casier. Ainsi nous nous sommes assigné à ces deux objectifs :

- Une meilleur logistique inverse va réduire les frais de transport qui affectent directement le cout de revient.
- Une étude technico-économique est nécessaire pour vérifier la faisabilité du projet de compostage et de déterminer le chiffre d'affaires prévisionnel de la future entreprise.

**Mots-clés :** logistique inverse; déchets alimentaires organiques; compostage; entreprise; chiffre d'affaires.

## Abstract :

In our study, the objective was to adapt a reverse logistics to collect organics foods wastes in Tlemcen city, in order to upgrade them by transforming to compost (fertilizer) ground fertilizer which has no toxic effects on plants and the environment. Thus we set two objectives:

- A better reverse logistics will reduce transport costs which directly affect the cost price.
- A technico-economic study is necessary to verify the feasibility of the composting project and to determine the forecast turnover of the future company.

**Keywords:** reverse logistics; organics foods wastes; composting; company; turnover

## المخلص :

في دراستنا، كان الهدف هو تكيف لوجستية عكسية لجمع النفايات الغذائية العضوية في مدينة تلمسان، من أجل تحويله إلى سماد عضوي (الأسمدة الطبيعية) مخصب للأراضي الفلاحية التي ليس لها آثار سامة على النباتات والبيئة. كذلك قمنا بتعيين هدفين أساسيين خلال الدراسة وهما :

- لوجستية عكسية مدروسة لتخفض تكاليف النقل مما يؤثر بشكل مباشر على تكاليف العودة.
- دراسة فنية واقتصادية للتحقق من جدوى مشروع إنتاج السماد وتحديد قيمة الأعمال التجارية المتوقعة للشركة المستقبلية.

**كلمات البحث:** اللوجستية العكسية ; نفايات الأغذية العضوية ; إنتاج السماد ; شركة ; حجم الأعمال.

# Table des matières

Remerciement.....	1
Dédicace.....	2
Résumé.....	4
Table des matières.....	5
Liste des figures.....	9
Liste des tableaux.....	10
Introduction générale.....	11
<b><u>Chapitre I</u> : Définitions et généralité.....</b>	<b>13</b>
I.1 Avant propos.....	14
I.2 Aperçu sur l’historique de la logistique.....	14
I.2.1 Définition de la chaîne logistique.....	14
I.2.2 Définition de la chaîne logistique inverse.....	15
I.3 les facteurs de motivation .....	17
I.4 Les étapes de la logistique inverse :.....	18
I.5 Principaux processus impliqués dans la stratégie de récupération.....	19
I.5.1 La réutilisation.....	19
I.5.1.1 Réparation.....	20
I.5.1.2 Reconditionnement.....	20
I.5.1.3 Réassemblage.....	20
I.5.1.4 Cannibalisation.....	21
I.5.1.5 Recyclage.....	21
I.5.2 La valorisation.....	21
I.5.3 L’élimination .....	21
I.6 La différence entre la logistique directe et la logistique inverse.....	22
I.7 Les principaux indicateurs de la logistique inverse.....	22
I.8 les décisions de la chaîne logistique inverse :.....	23
I.9 Conclusion.....	24
<b><u>Chapitre II</u> : Le compostage des déchets organiques .....</b>	<b>25</b>
II.1 Introduction.....	26
II.2 Définition du terme « déchet ».....	26

II.3 Classification des déchets.....	26
II.3.1 Gisement des déchets, cas des déchets du Grand Groupement de Tlemcen (GGT).....	28
II.4 Gestion des déchets.....	28
II.4.1 La collecte.....	28
II.4.2 Tri des déchets.....	29
II.4.3 Traitement et valorisation des déchets.....	30
II.4.3.1 Traitement par élimination.....	30
a. L'incinération.....	30
b. La mise en décharge.....	30
II.4.3.2 La valorisation matérielle (recyclage).....	30
II.4.3.3 Traitement biologique.....	30
a. La méthanisation.....	31
b. Le compostage.....	32
II.5 Processus du compostage.....	32
II.5.1 Compostage en anaérobie.....	32
II.5.2 Compostage en aérobie.....	33
II.5.2.1 Différentes phases du processus aérobie.....	33
II.5.2.2 Les paramètres du compostage (Vanai, 1995).....	34
II.5.2.3 Densité ou masse volumique spécifique (T/m <sup>3</sup> ).....	35
II.5.2.4 Rendement en compost de la plateforme.....	36
II.6 Différents procédés de compostage.....	36
II.7 Déroulement du compostage.....	38
A. Compostage en andain à l'air libre.....	38
B. Compostage en casier à aération forcée.....	39
II.8 Avantages du compost.....	40
II.9 Conclusion.....	41
<b>Chapitre III : Présentation de problématique et état de l'art.....</b>	<b>42</b>
III.1 Introduction.....	43
III.2 Le recyclage des déchets alimentaires.....	43
III.3 Facteurs de motivation.....	43
III.4 Description du projet de revalorisation des déchets organiques :.....	44
III.4.1 Le cycle.....	44
III.4.2 Les points de collecte (gisement de la matière valorisable).....	44

III.5 État de l'art sur la reconfiguration de chaîne logistique inverse:.....	45
III.6 Présentation de problème :.....	47
III.7 Conclusion.....	48
<b><u>Chapitre IV</u> : Résolution de problématique .....</b>	<b>49</b>
IV.1 Introduction :.....	50
IV.2 Hypothèse de résolution du problème de conception et pilotage de la chaîne logistique inverse dédiée à la collecté des déchets ménagers :.....	50
IV.2.1 Regroupement des points de collecte (formation des amas) :.....	50
IV.3 Résolution de problème :.....	54
P 1 : Capacitated centred clustering problem (CCCP).....	54
P 1.1) Les paramètres du sous problème.....	54
P 1.2) La fonction objective :.....	55
P 1.3) Ensembles des contraintes :.....	55
P 1.4) Les variables de décision:.....	55
P 1.5) Localisation de (centre de traitement):.....	57
P 2 .Problème de transport.....	57
P 2.1 Introduction.....	57
P 2.2 Problème de voyageur de commerce(TSP).....	57
P 2.3 Formulation du modèle :.....	58
P 2.4 Les paramètres du sous problème 2.....	58
IV.4 Conclusion.....	62
<b><u>Chapitre V</u> : Implantation d'une station de compostage .....</b>	<b>63</b>
V.2 Etude technico-administrative.....	64
V.2.1 Le registre de commerce.....	64
V.2.2 Type de l'entreprise.....	64
V.2.3 Partenariat avec l'A.N.D.I : [V.1].....	64
V.3 Etude dimensionnelle de la station de compostage :.....	66
V.3.1 Evaluation de la production des déchets à composter.....	66
V.3.2 Dimensionnement de l'unité de compostage en casiers à aération forcée.....	66
V.3.2.1 Réception des matières premières.....	66
V.3.2.2 Stockage de déchets bruts.....	66
V.3.2.3 Broyage des déchets.....	67



V.3.2.4 Gestion du compostage.....	67
V.3.2.4.1 Gestion en lots.....	67
V.3.2.4.2 Système d'aération des andains et suivis du taux d'O2.....	69
V.3.2.4.3 Criblage et ensachage.....	70
V.3.2.4.4 Stockage du compost.....	71
V.3.2.4.5 Conditionnement du compost.....	72
V.3.2.5 Le contrôle des odeurs.....	72
V.3.2.5.1 Le lixiviat.....	72
V.3.2.5.2 Système d'arrosage .....	73
V.3.2.5.3 Biofiltres ouverts [V.3].....	73
V.3.2.6 Bâtiment et génie civil .....	74
V.4 Etude techno-économique.....	76
V.4.1 Terrain.....	76
V.4.2 Bâtiment et génie civil.....	77
V.4.3 Equipements de production et outillage.....	78
V.4.4 Matériels de Bureau et informatique.....	79
V.4.5 Matériels roulants.....	79
V.4.6 Les frais du personnel :.....	79
V.4.7 Fonds de roulement .....	80
V.4.8 Le coût du projet.....	80
V.5 Evaluation économique et financière.....	81
V.5.1 Le cout de revient.....	81
V.5.2 Le chiffre d'affaire.....	81
V.5.3 Charge d'exploitation.....	82
V.5.4 Capacité d'autofinancement (CAF).....	82
V.5.5 L'amortissement technique .....	83
V.5.6 Le schéma de financement.....	83
V.5.7 Analyse des résultats et calcul du cash flow.....	84
V.6 Conclusion.....	85
Conclusion générale.....	86
Bibliographie .....	87
Glossaire.....	89

## Liste des figures

Figure I. 1: représentation d'une chaîne logistique (Lee et Billinton, 1993).....	15
Figure I. 2 : Représentation d'une chaîne logistique inverse.....	15
Figure I. 3 : les étapes de la logistique inverse.....	19
Figure I. 4 : Pyramide des niveaux de décisions.....	24
Figure II. 1 : les différents types des déchets (Redjal, 2005).....	27
Figure II. 2 : La composition des déchets du GGT pendant la période 2009-2014.....	28
Figure II. 3 : La méthanisation et digestat selon (Adame, 2014).....	32
Figure II. 4 : L'évolution de la température au cours de compostage (Martin, 1987).....	34
Figure II. 5 : compostage en andain à l'air libre.....	38
Figure II. 6 : compostage en casier à aération forcée (Cercle National du Recyclage, 2000).....	39
Figure III. 1 : présente la structure globale de la chaîne logistique.....	47
Figure IV. 1 : Carte géographique de la ville de TLEMCEN.....	51
Figure IV. 2: exemple d'un amas de client.....	54
Figure IV. 3 : Vue aérienne du site : centre de traitement.....	57
Figure IV. 4 : La tournée de véhicule pour l'amas de clients 1.....	59
Figure IV. 5 : La tournée de véhicule pour l'amas de clients 2.....	60
Figure IV. 6 : La tournée de véhicule pour l'amas de clients 3.....	60
Figure IV. 7 : La tournée de véhicule pour l'amas de clients 4.....	61
Figure IV. 8 : La tournée de véhicule pour l'amas de clients 5.....	61
Figure IV. 9 : La tournée de véhicule pour l'amas de clients 6.....	62
Figure V. 1: les dimensions du hangar réservé pour le triage et broyage des déchets.....	67
Figure V. 2: les casiers de la fermentation et de la maturation.....	69
Figure V. 3: le système d'aération forcée par aspiration.....	70
Figure V. 4 : les dimensions du hangar réservé au broyage .....	70
Figure V. 5 : les dimensions du hangar réservé à l'ensilage.....	71
Figure V. 6 : les casiers de stockages du compost final.....	71
Figure V. 7 : Bassin de rétention du lixiviat.....	72
Figure V. 8 : le système d'arrosage dans un casier à la phase de fermentation.....	73
Figure V. 9 : une représentation schématique d'un système à biofiltre ouvert type.....	73
Figure V. 10 : les dimensions de l'administration, laboratoire, salle de séjours et magasin...	74
Figure V. 11 : Schéma architectural de la station de compostage.....	75
Figure V. 12 : Vue aérienne du site : zone d'implantation de la station de compostage.....	76

## Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Comparaison entre logistique traditionnelle et inverse.....	22
Tableau II. 1 : Conditions opératoires nécessaires pour une mise en œuvre optimale d'un procédé de compostage (HUMEAU ET LECLOIREC, 2006).....	35
Tableau II. 2 : Avantages et inconvénients des différents procédés de compostage [II.1].....	37
Tableau IV. 1 : la quantité des déchets alimentaires organique $q_i$ et les positions $(x_i, y_j)$ .....	54
Tableau IV. 2 : résultat obtenu (l'ensemble des clients $i$ affecté à l'amas $j$ ).....	56
Tableau IV. 3 : temps de tournée estimé pour chaque amas .....	59
Tableau V. 1: gestion de stockage dans les casiers.....	68
Tableau V. 2 : Résultats du dimensionnement de la biofiltration des effluents gazeux issus de la phase active du compostage [V.2].....	74
Tableau V. 3 : le cout d'investissement à l'implantation des immobiliers.....	77
Tableau V. 4 : les équipements de production et outillage.....	78
Tableau V. 5 : matériel de bureau et informatique.....	79
Tableau V. 6 : les matériels roulants nécessaires.....	79
Tableau V. 7 : le nombre d'employés et les charges salariales annuelles.....	80
Tableau V. 8 : calcul de fonds de roulement.....	80
Tableau V. 9 : le cout total du projet.....	80
Tableau V. 10 : le cout de revient pour une tonne de compost.....	81
Tableau V. 11 : le chiffre d'affaire pour l'année de démarrage et l'année de croisière.....	82
Tableau V. 12 : le cout relatif à la charge d'exploitation.....	82
Tableau V. 13 : la capacité d'autofinancement (CAF).....	83
Tableau V. 14 : l'amortissement technique annuel.....	83
Tableau V. 15 : Amortissement du crédit bancaire.....	84
Tableau V. 16 : calcul du cash flow du projet pour sept ans.....	84

### Introduction générale

Les quantités de déchets ménagers (DM), produites annuellement en Algérie sont estimées à 8,5 millions de tonnes. Un algérien en zone urbanisée génère quotidiennement environ 0,7 kg de déchets. Dans les grandes villes, cette production est proche de 0,9 kg/jour/habitant (Kehila, 2010). Ces chiffres sont alarmants au vu de la gestion actuelle des déchets qui se résume en un seul mot d'ordre « *tous les déchets en décharge* ». On est loin de l'idéal de gestion intégrée des DM préconisée pour les pays en développement (PED).

Au niveau de la wilaya de Tlemcen, une quantité de 285 tonnes/jours (Kihal, 2015) est produisent par le grand groupement de Tlemcen (GGT), cette quantité est reçue par le centre d'enfouissement technique (CET) de (Saf Saf) qui élimine les déchets sans triage ou traitement et valorisation, ce qui provoque l'émission de biogaz à effet de serre et de grands volumes de lixiviat non traité actuellement.

La mise en place d'un programme de recherche est l'une des solutions parmi d'autres pouvant traiter un aspect de l'environnement urbain, la propreté. Il se résume comme suit :

- Composter la partie fermentescible pour minimiser le stockage des déchets dans les décharges, éviter l'émission de biogaz et réduire les volumes de lixiviat produits;
- Apporter des amendements organiques pour la fertilisation des sols et la nutrition des végétaux puisque la wilaya a une vocation agricole;
- Simultanément faire la preuve que la recherche scientifique universitaire peut être appliquée industriellement.

Les déchets organiques à recycler sont à l'origine d'un nouveau flux de retour de consommateur final vers les producteurs tels les agriculteurs, c'est-à-dire mettre une boucle fermée d'une chaîne logistique directe. Cependant, lors de la récupération de ces déchets, l'étape de la collecte se considère comme étant le précurseur qui donne un lancement efficace de cette chaîne inverse.

La problématique du transport est un domaine de recherche en développement, une petite amélioration dans une heuristique va affecter positivement le cout de revient d'un produit. Une meilleur conception des réseaux de collecte, va réduire la distance parcourue par le camion, le cout de transport et gagner le temps.

## Introduction générale

---

Notre mémoire est structuré par cinq grands chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique sur la chaîne logistique inverse, en évoquant les différents concepts d'une chaîne logistique et sa gestion.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude bibliographique sur les divers déchets et le compostage des déchets organiques, en indiquant les différentes techniques de compostage, la valeur agronomique du compost qui améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols.
- Le troisième chapitre présente la problématique et l'état de l'art, il s'agit d'un problème de localisation des points de collecte de déchets, former les amas de tel sort en respectant la capacité limitée du camion, le problème de la distance des chemins et l'étude technico-économique de la station de compostage.
- Le quatrième chapitre consiste à concevoir une chaîne logistique inverse en passant par deux modèles. Le premier modèle CCCP (capacitated centered clustering problem) où nous allons regrouper les points de collecte les plus proches en terme de distance. Dans le deuxième modèle on cherche à prendre des décisions d'affectation afin de minimiser les coûts de transport tout en respectant une répartition quotidienne, qui tient compte des quantités récupérées auprès des amas.
- Le cinquième chapitre est consacré à concevoir et dimensionner une station de compostage écologique. Grâce au logiciel **Sweet Home 3D version 5.3**, capable de recevoir et traiter 40 tonnes de déchets par jour équivalant à 15 000 T/an, aussi nous aborderons l'investissement, en étudiant l'aspect technico-économique et financier, pour déterminer la faisabilité et la rentabilité de tel projet de recyclage.

A decorative scroll graphic with a grey grid pattern background and white scroll edges, containing the chapter title.

# **Chapitre I :**

Définitions et généralités

### I.1 Avant propos

Qu'appelle-t-on la reverse logistique et quel est le champ d'appellation?

« L'intérêt grandissant envers la réutilisation des produits et des matières est une conséquence d'un changement de mentalité au sujet de l'environnement ces 10 dernières années. La réduction des déchets est devenu un sujet primordial dans tous les pays industrialisés ou non. Dans l'esprit de réduire l'enfouissement et l'incinération des déchets, des efforts sont fait pour réintégrer les produits usés dans les processus de production industriels ; et ce, pour qu'ils aient plusieurs utilisations successives. Le concept de cycle remplace petit à petit la vision économiste et « linéaire » que nous avons sur la vie des produits. » Fleischmann (2000)

### I.2 Aperçu sur l'historique de la logistique

La notion de chaîne logistique inclut le terme « logistique » qui vient d'un mot grec qui signifie l'art du raisonnement et du calcul (Pons, 1996). Cette logistique est apparue en premier lieu dans un contexte militaire qui concernait tout ce qui est nécessaire (physiquement) à l'application sur le terrain des décisions stratégiques et tactiques. Certains remontent même jusqu'au temps d'Alexandre le grand (Engles, 1978) et ils mettent en évidence le sens qu'il avait pour gérer la chaîne logistique de son armée. On peut dire qu'Alexandre le grand était un précurseur. Après la logistique militaire apparait la logistique industrielle, celle-ci repose plus particulièrement sur les activités de soutien à la production. Elle est apparue à la fin de la seconde guerre mondiale, notamment avec la reconversion dans les entreprises des spécialistes militaires de la logistique. Le concept de logistique a évolué depuis, avec l'évolution du marché et des systèmes industriels. Aujourd'hui, le terme « logistique » recouvre des interprétations diverses, et certains pensent que le concept de la logistique est une problématique en soi (Moller, 1995).

#### I.2.1 Définition de la chaîne logistique

Une chaîne logistique peut être vue comme un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution des produits finis vers le client (Lee et Billington, 1993).

La figure 1 représente une chaîne logistique selon cette vision. Elle montre les différentes fonctions par rapport aux acteurs (fournisseur, producteur, assembleur, distributeur, client) sans pour autant distinguer qui est en charge de la réalisation de chaque fonction.

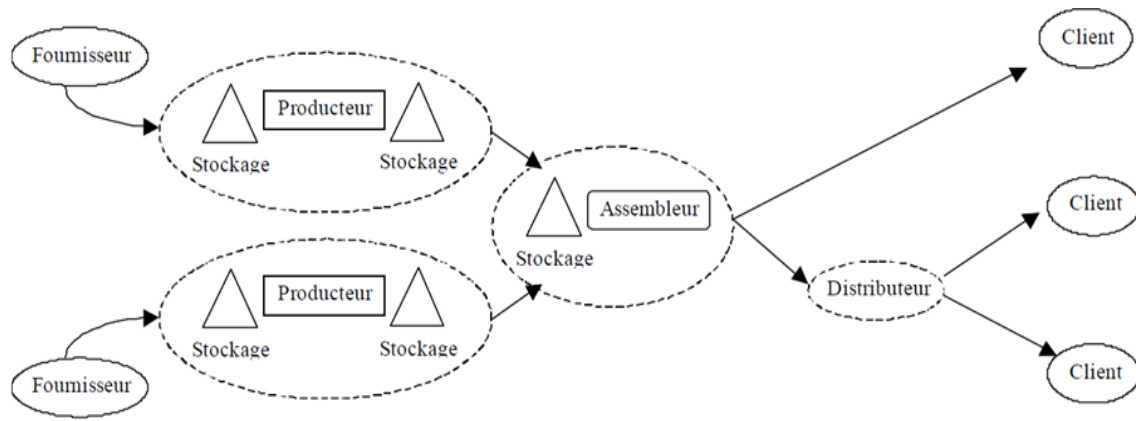


Figure I. 1: représentation d'une chaîne logistique (Lee et Billinton, 1993)

## I.2.2 Définition de la chaîne logistique inverse

La logistique inverse peut être définie comme le mouvement des produits des consommateurs vers le producteur à travers une chaîne de distribution. Elle fait référence à la gestion de la chaîne logistique et des activités mises en œuvre pour réduire, gérer et disposer des déchets issus d'activités industrielles. Elle répond à la nécessité de retirer du service les produits après usage et de les traiter en les détruisant, en les transformant ou en les recyclant.

La logistique inverse regroupe donc plusieurs activités comme la collecte des déchets, la localisation des points de recyclage/ entreposage, mais aussi la gestion des stocks et l'intégration des produits issus de la logistique inverse au niveau des industries dérivées, ou encore l'optimisation de la valorisation de la récupération, etc.

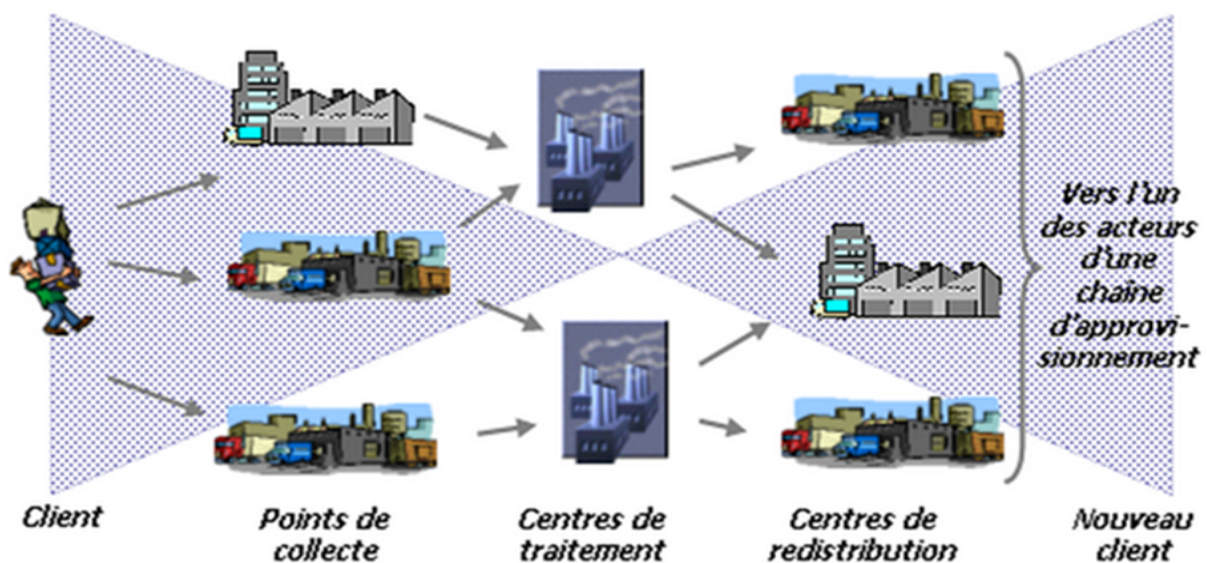


Figure I. 2 : Représentation d'une chaîne logistique inverse



## Chapitre I : Définitions et généralités

---

La chaîne logistique verte se définit comme étant une démarche visant à réduire l'empreinte environnementale d'un produit, et ce, tout au long de son cycle de vie. Le niveau d'intérêt pour cette démarche devient de plus en plus important et les entreprises sont de plus en plus préoccupées par les questions environnementales.

Selon **Pohlen et Farris**(1992) «le mouvement des produits du consommateur vers le producteur à travers une chaîne de distribution ».

**Kroon et Vrijens** (1995) proposent une définition de la logistique inverse comme « faisant référence aux talents de la gestion de la logistique et les activités requises pour réduire, gérer et disposer les déchets dangereux et non dangereux provenant du matériel d'emballage et des produits. De plus, elle inclut la distribution inverse ».

Alors que **Fleischmann et al** (1997) basé dans leur définition sur les aspects de la planification de la production, gestion de stock et de la distribution. Ils mentionnent que la logistique inverse « contient les activités logistiques, jusqu'au bout, pour les produits usagés qui ne sont plus requis par les usagers jusqu'aux produits qui peuvent être réutilisables dans le marché ».

Une autre définition est donnée par **Stock** (1998) comme étant « le rôle de la logistique dans les retours de produits, la réduction de source, le recyclage, la substitution de matériaux, la réutilisation de matériaux, la disposition des déchets, le reconditionnement, la réparation et la remise à neuf».

**Dowlatshahi** (2000) motionne que la logistique inverse est « un processus dans lequel un manufacturier accepte systématiquement des produits ou des pièces précédemment expédiés du point de consommation pour possiblement les recycler, les remettre à neuf ou en disposer.»

Selon **Grellier**, (2008) la logistique inverse, comme son nom l'indique, se réfère aux activités de logistique d'une organisation mais dans un sens inversé à ce qu'il peut être dans la logistique traditionnelle. La logistique inverse est un concept émergent qui, depuis une dizaine d'années, se rencontre dans la littérature sous différents termes : logistique inversée, reverse logistics, gestion de la récupération des produits, logistique à rebours, logistique négative, etc...[3]

## Chapitre I : Définitions et généralités

---

Donc la logistique inverse intègre la distribution inverse qui englobe les retours d'un produit découlant de sa réutilisation, son recyclage ou sa disposition, dans le but de redonner une nouvelle vie aux produits usagés.

### I.3 les facteurs de motivation

#### Pourquoi les produits doivent être retournés ?

La quantité de déchet produit augmente chaque jour, et la législation rend responsable le producteur de ses produits en fin de vie. Dans ce contexte il devient impératif d'organiser les retours.

C'est ainsi qu'est née une nouvelle forme de management : « le traitement de tous les produits usés et abandonnés par le consommateur, les composants et matières dont une entreprise est légalement, contractuellement ou d'une autre manière tenue responsable » (Thierry et al, 1995 [22]). Nous allons ici détailler les contraintes et les contextes qui peuvent pousser une entreprise à prendre la décision de retourner un produit. Cette description est inspirée de De Brito and Dekker 2002 [5].

**Point de vue de l'entreprise** (entité qui reçoit le produit) Trois raisons possibles :

❖ Un gain économique

Prenons l'exemple de pièces métalliques arrivées en fin de vie. Elles ont fait la fortune de certains ferrailleurs depuis des dizaines d'années. Dans un autre domaine les objets à fort niveau électronique, dont le cycle de vie est en général plutôt court, arrivent souvent en fin de vie avec une valeur intrinsèque résiduelle forte (exemple des machines à laver).

❖ Une obligation législative

Des lois récentes sur la responsabilité des industriels et des vendeurs dans la récupération de produits en fin de vie donnent lieu à de nouveaux flux en provenance du client.

❖ Un comportement des industriels.

La logistique inverse s'inscrivant dans le domaine du développement de l'environnement, elle motive de plus en plus les industriels soucieux de leurs images.

**Point de vue du client** (entité qui envoie le produit).

## Chapitre I : Définitions et généralités

---

Tout d'abord considérons les différentes les différents clients possibles :

### ❖ Une usine

Les retours en provenance d'une usine peuvent venir de plusieurs problèmes, un surplus de matériel, un défaut de qualité, un arrêt de production du produit, dans ce cas il est souvent possible de réinjecter les produits finis ou semi-finis dans la production initiale.

### ❖ Un maillon de la distribution

Le retour peut être ordonné pour des raisons de qualité, des raisons sanitaires.

### ❖ Le consommateur

Les garanties, les réparations, la fin d'utilisation, ou la fin de vie du produit sont autant de raisons que les consommateurs créent un flux de retours vers l'entreprise productrice ou un service spécialisé dans l'après-vente.

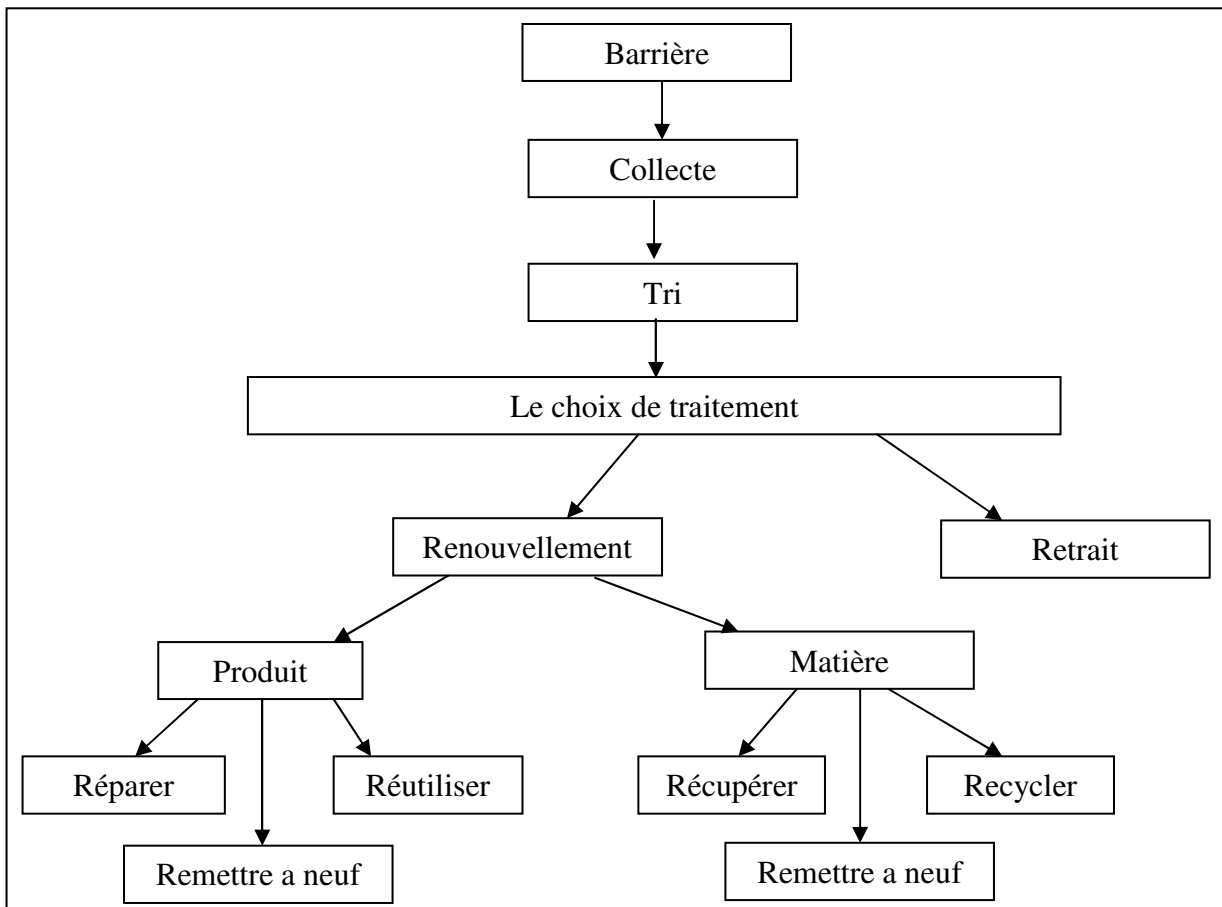
Le client est en début de la logistique inverse c'est lui qui fait le premier pas, c'est pourquoi il est important que le client trouve une contrepartie (financière ou matérielle) au fait de s'être séparé d'un produit.

### **I.4 Les étapes de la logistique inverse :**

La figure ci-dessous représente les principales étapes de la logistique inverse

- a) **Barrière** : c'est le point d'entrée dans le système de la logistique inverse .c'est l'étape de la reconnaissance de retours et l'opération des transactions comptables nécessaires. Rogers et Tibben-Lembke (1998) mentionnent que cette première étape est cruciale pour réussir à gérer le système et assurer sa profitabilité. Ils ajoutent qu'il faut faire la séparation des produits défectueux ou sans garantie dès leur arrivée.
- b) **La collecte** : c'est l'acteur principal de l'approvisionnement du réseau logistique inverse. cette étape sert à récupérer le produit qu'auprès le client ; son rôle est d'acheminer les produits usagés vers ces centres de traitement.
- c) **Le tri** : consiste à examiner et tester le produit après la réception. déterminer son état afin de décider où le produit ira pour l'étape suivante.
- d) **Choix de traitement** : le produit récupérer peut être **renouvelé** ou **retiré**.  
S'il est renouvelé, la durée de vie du produit peut-être prolongée (Remise à neuf, réparation ou réutilisation) ou les matières premières qui le composent recyclées

(recyclage de pièces en matière première, réutilisation de pièces, reconfiguration du produit pour une autre application).



**Figure I. 3** : les étapes de la logistique inverse

### I.5 Principaux processus impliqués dans la stratégie de récupération

Les activités liées au traitement des produits récupérés peuvent se répartir sous trois grandes classes (Thierry *et al*, 1995), soient : la réutilisation directe, la valorisation et l'élimination.

#### I.5.1 La réutilisation

La décision d'utiliser à nouveau un produit récupéré, dans un but similaire à celui pour lequel il a été conçu originalement, résulte de la sélection de l'alternative de la réutilisation. En fait, les produits retournés et orientés vers cette décision seront revendus parmi les produits neufs. On peut regrouper, sous cette classe, les différentes alternatives suivantes (Rogers et Tibben-Lembke, 1999) :

## Chapitre I : Définitions et généralités

---

- **Revente du produit comme neuf :** Le produit retourné n'a pas été utilisé. Il ne nécessite aucun emballage et n'a pas à être remis en état.
- **Revente du produit après ajustement :** Le produit retourné peut être revendu comme neuf après avoir rajouté des composants manquants.
- **Revente du produit après emballage :** Le produit retourné doit être emballé, puisque l'emballage est endommagé ou manquant.
- **Revente du produit dans un « Outlet Store » (magasin à rabais) :** Certaines unités d'affaires écoulent leur marchandise à bas prix via de tels points de vente, ce qui leur permet de conserver un certain contrôle sur leurs produits.
- **Revente du produit sur un marché secondaire :** Quelques compagnies se spécialisent dans le rachat de marchandise qui ne peut pas être revendue à l'état neuf au niveau d'un acteur régulier de la chaîne d'approvisionnement ou d'un magasin à rabais.
- **Don de charité :** Le produit retourné peut encore servir, mais il ne peut pas être revendu sur le marché principal ou un marché secondaire. Dans cette situation, la compagnie peut recevoir un crédit d'impôt pour la donation.

### I.5.1.1 Réparation

La réparation a lieu lorsque certaines opérations sont nécessaires pour remettre en état de fonctionnement le produit retourné (Thierry *et al*, 1995).

### I.5.1.2 Reconditionnement

Le reconditionnement est l'alternative retenue afin de ramener le produit récupéré à un certain niveau de qualité fixé par l'organisation (Thierry *et al*, 1995).

### I.5.1.3 Réassemblage

Le réassemblage se distingue du reconditionnement par des opérations de remise en état plus importantes. Les standards de qualité sont alors aussi rigoureux que ceux établis pour les produits neufs (Thierry *et al*, 1995).

### **I.5.1.4 Cannibalisation**

La cannibalisation consiste à désassembler, partiellement ou entièrement, les produits récupérés afin d'en retirer des éléments constitutifs pertinents à une réutilisation ultérieure. De telles pièces peuvent être désignées sous le générique de *pièces valorisées*. Elles permettront d'alimenter les activités de la chaîne régulière d'approvisionnement ou encore celles du réseau de la logistique inversée. Les pièces valorisées pourront alors servir à une utilisation identique à leur fonction originale ou pour une toute autre fonction. Évidemment, les pièces ainsi récupérées nécessitent parfois d'être réparées ou encore d'être reconditionnées avant de les réintroduire sur le marché. La qualité de ces pièces peut dépendre de l'utilisation qui leur est prévue et, de ce fait, du niveau de réinsertion dans la chaîne logistique, intégrant la logistique inversée (Thierry *et al*, 1995).

### **I.5.1.5 Recyclage**

Le recyclage est l'option retenue lorsqu'un produit est réduit à ses éléments de base afin d'isoler les matériaux (papier, plastique, acier, aluminium, etc.) qui le composent, lesquels pourront éventuellement servir à la production de nouveaux produits (Rogers et Tibben-Lembke, 1999 ; Thierry *et al*, 1995).

### **I.5.2 La valorisation**

La valorisation est un terme générique utilisé pour désigner les activités de *réparation*, de *reconditionnement*, de *réassemblage*, de *cannibalisation* et de *recyclage* ayant pour objectif la réutilisation éventuelle des produits récupérés dans une fonction similaire ou différente à celle pour laquelle ils ont été originalement conçus.

### **I.5.3 L'élimination**

Cette décision de disposition des produits récupérés comprend notamment l'entreposage en lieu sécuritaire, pour les matières dangereuses, l'incinération et l'enfouissement. C'est généralement la société qui prend en charge et qui défraie pour l'élimination des produits inutilisés ou inutilisables. Pour sa part, le client entreprend le processus en plaçant le produit qu'il désire éliminer parmi ses déchets courants, lesquels seront collectés par un organisme public. Pour les organisations qui ne portent pas encore un intérêt aux activités de la logistique inversée, l'élimination demeure bien souvent l'alternative préconisée à l'égard des produits récupérés (Mason, 2002).

### I.6 La différence entre la logistique directe et la logistique inverse

La logistique inverse est fondamentalement différente de la logistique directe. Producteurs et distributeurs conçoivent la gestion logistique pour acheminer avec rapidité et efficacité un flux continu de produits depuis le lieu de production vers les lieux de consommation. Ce flux diffère du flux inverse sur plusieurs points : (**tableau I.1**)

	<b>Logistique directe</b>	<b>Logistique inverse</b>
Qualité de produit	Uniforme	Aléatoire
Prix de produit	Uniforme	Variable
Type de consommateur	Facile à identifier (marketing)	Difficile
Gestion financière	Clair	Floue et litigieuse
Gestion de stock	Cohérente	Non cohérente
Coût de distribution	Compréhensible	Non compréhensible
Cycle de vie de produit	Contrôlable	Non contrôlable
Visibilité des processus	Transparence	Opacité
Négociation entre parties	Simple et directe	Ambigüe

**Tableau I. 1** : Comparaison entre logistique traditionnelle et inverse

### I.7 Les principaux indicateurs de la logistique inverse

Des indicateurs permettent de mesurer l'impact financier des retours sur l'entreprise et les autres acteurs de la chaîne logistique. Pour analyser la performance de la logistique inverse de son entreprise, il est possible de se référer à ces indicateurs :

- a) **La quantité de produits récupérés et revendus** : quel pourcentage des produits entrant dans le système logistique inverse est revendu ? quelle est la valeur obtenue ?
- b) **Le pourcentage de matériel recyclé** : sa valeur définit la part de produits recyclés de manière appropriée suite à un passage dans le circuit logistique inverse.
- c) **La perte** : combien de produits et autres matériaux sont incinérés, mis en décharge ?
- d) **Le coût moyen de traitement par article** : le ratio « coût total des équipements par mois / nombre d'articles » peut aussi servir à comparer l'efficacité de plusieurs lieux de stockage, ou autres équipements.
- e) **Le pourcentage de coûts récupérés** : L'entreprise maximise-t-elle la rentabilité des articles invendus ou retournés par les consommateurs ?

## Chapitre I : Définitions et généralités

---

- f) **Distance parcourue** : De manière générale, il est préférable de réduire au maximum les kilomètres parcourus par un article dans le circuit logistique inverse.
- g) **Energie utilisée dans la gestion des retours** : cet indicateur est utilisé dans les programmes de développement durable. Il mesure la quantité et/ou le coût de l'énergie utilisée (fuel, électricité, etc.) lors des processus logistiques.
- h) **Le coût total de possession** : il comprend le coût d'acquisition du produit, de sa revente, de son retour, de son transfert sur un marché secondaire (ou de son dépôt en décharge).

### I.8 les décisions de la chaîne logistique inverse :

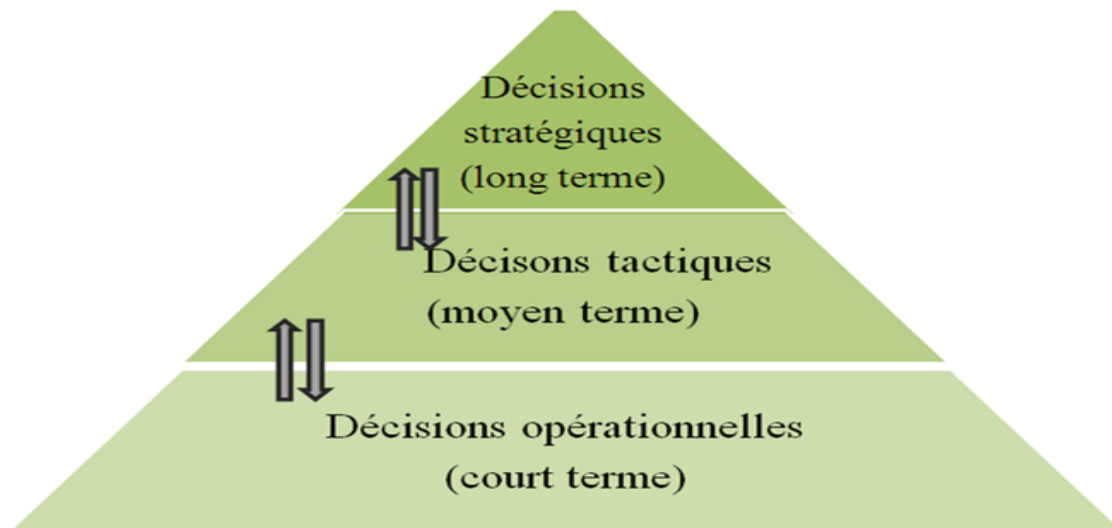
La mise en place d'un système de logistique inverse demande une réflexion approfondie à plusieurs niveaux .Il existe en logistique inverse trois classes d'horizons : stratégique, tactique et opérationnel. A chacun de ces horizons correspond des problématiques spécifiques.

**a. Décisions stratégiques** : correspond aux décisions à long terme qui de par leur nature sont difficiles à changer. Les décisions à prendre sont de déterminer les politiques de retour, si l'entreprise fait la logistique inverse elle-même ou l'impartit, en totalité ou en partie, la localisation des sites, les activités aux sites, la capacité des sites et aussi la conception du produit.

**b. Décisions tactiques** : Le niveau tactique traite des décisions à moyen terme. Ils sont pris pour satisfaire les décisions stratégiques tenant en compte les aspects de la distribution (inverse), la coordination, la planification de la production sur la base des prévisions de retours, la gestion des stocks, le marketing et la technologie de l'information

**c. Décisions opérationnelles** : fait référence aux éléments de la réalisation des activités quotidiennes à court terme comme l'ordonnancement, le contrôle des activités et la gestion de l'information.





**Figure I. 4 :** Pyramide des niveaux de décisions

### **I.9 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté une brève introduction sur la configuration du réseau logistique en définissant les concepts d'une chaîne logistique inverse ainsi que les activités de sa gestion. Nous avons précisé, l'importance de coordination entre les niveaux de décisions ainsi que la prise en compte des facteurs de motivation afin de mettre en place une logistique inverse durable.

Pour le suivant chapitre, est dédié principalement à la présentation des différents procédés de traitement des déchets organiques.

A decorative scroll graphic with a grey and white checkered pattern, featuring curled ends on the left and right sides. The text is centered within the scroll.

## **Chapitre II :**

Le compostage des déchets  
organiques

## Chapitre II : Le compostage des déchets organiques

---

### II.1 Introduction

Comme nous le savons, les activités humaines génèrent des déchets ménagers qui perturbent les milieux naturels, eaux, atmosphères et sols. Ces dernières années, elles prennent une grande importance.

Si les déchets ont été longtemps considérés comme des résidus sans valeur, des activités de production, de consommations industrielles et de consommateurs naturelles reconnaissent aujourd'hui que le traitement des déchets constitue l'enjeu écologique de cette fin de siècle, et que la mise en place d'une véritable filière économique du traitement des déchets s'impose (SCRIBAN, 1993).

### II.2 Définition du terme « déchet »

Au sens courant du mot, c'est un résidu de production ou de consommation sans valeur d'usage, qui doit, par conséquent être éliminé, ce qui entraîne un coût individuel ou social.

Mais tout autant que les ressources, le déchet est un concept relatif à un contexte technologique et, par là, culturel et historique. Si nous lui trouvons une valeur d'usage, par exemple comme matière première dans une production nouvelle, il cesse d'être un déchet pour devenir une ressource, une valeur d'échange potentielle et non plus un coût (PIERRE SAMUEL, 1976).

### II.3 Classification des déchets

Nous différencierons les déchets des ménages et les déchets des entreprises ou d'activités professionnelles, parmi lesquels il convient de distinguer les déchets inertes, les déchets industriels banals et les déchets industriels spéciaux (LEBRETON, 2008).

- **Les déchets ménagers et assimilés** : Ce terme regroupe l'ensemble des déchets que nous produisons dans le cadre de notre vie quotidienne.
- **Les déchets industriels banals** : Il s'agit des déchets d'entreprises (papiers, cartons, bois,...), ils subissent le même traitement que « les déchets ménagers ».
- **Les déchets industriels spéciaux** : Ils englobent les éléments toxiques pour la santé et l'environnement.

## Chapitre II : Le compostage des déchets organiques

- **Les déchets inertes** : Ces déchets sont constitués de gravats de démolition, ils ne se dégradent pas et ne se décomposent pas dans le temps.
- **Les autres catégories de déchets** : Cette catégorie regroupe les déchets provenant des élevages ou cultures agricoles, les déchets d'activités de soins et les déchets nucléaires.

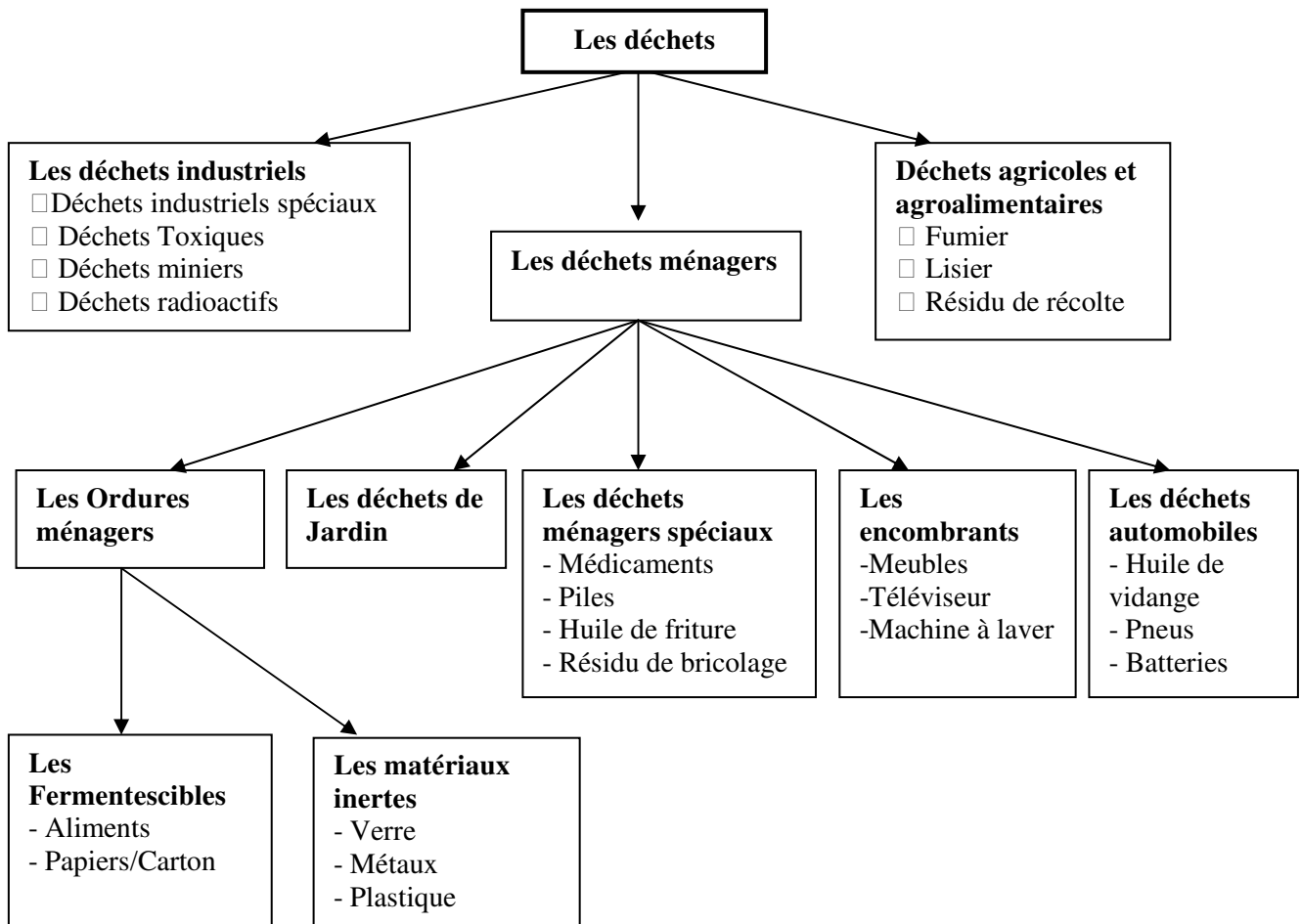
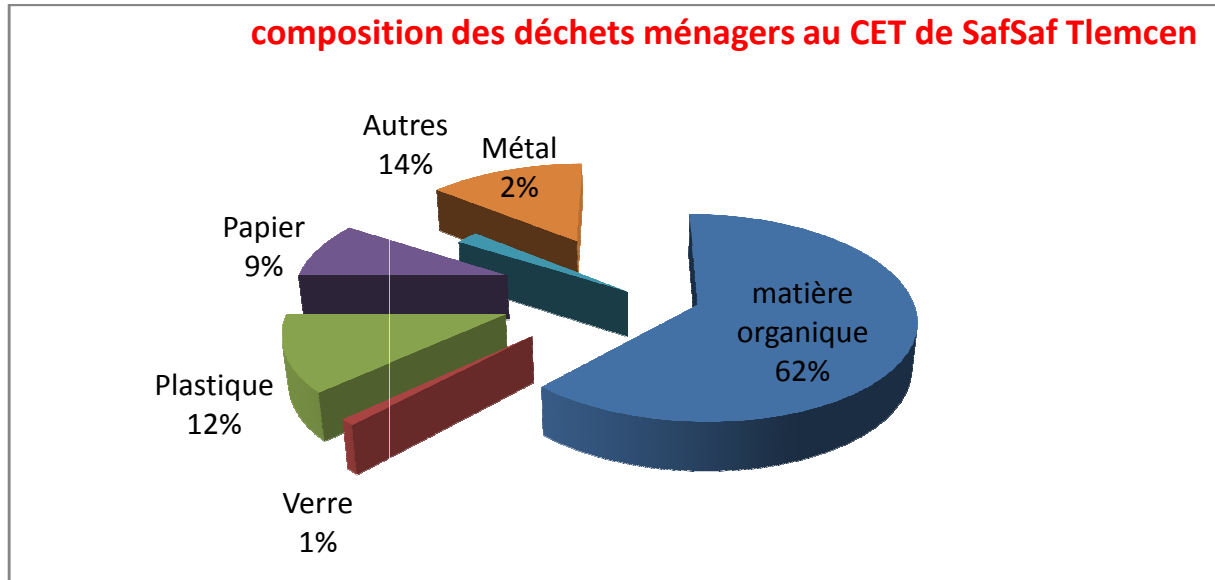


Figure II. 1 : les différents types des déchets (Redjal, 2005)

### II.3.1 Gisement des déchets, cas des déchets du Grand Groupement de Tlemcen (GGT)

Les données de la composition qualitative et quantitative des déchets existent dans le Centre d'Enfouissement Technique de Saf Saf (CET) sont comme suit :



**Figure II. 2 :** La composition des déchets du GGT pendant la période 2009-2014.

Nous avons procédé à une classification par type de déchets pour en déduire le pourcentage de déchet recyclable ou réutilisable pour confirmer ainsi l'intérêt du triage et du recyclage dans le CET de Saf Saf. Les résultats des tris des déchets des communes de GGT montrent que la matière biodégradable générée pendant la période 2009-2014 est 62%, suivi la matière plastique 12%, le carton-papier 9%, les métaux 2%, le verre 1% et les Autres compositions 14% (Kihel, 2015).

### II.4 Gestion des déchets

La gestion des déchets correspond à la collecte, le transport, le traitement, la réutilisation ou l'élimination des déchets. Elle concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux et chacun possède sa filière spécifique.

#### II.4.1 La collecte

Ensemble des opérations consistant à enlever les déchets et à les acheminer vers un lieu de transfert ; de tri ; de traitement ou un centre de stockage.

## **Chapitre II : Le compostage des déchets organiques**

---

### **a. Collecte porte à porte**

Cette technique est utilisée dans les pays développés. Elle concerne surtout les centres administratifs, les quartiers résidentiels d'un certain standing (Raharijhon, 1999).

Les ménages entreposent leurs ordures dans une poubelle conçue à cet effet. La collecte s'effectue par camion qui s'arrête devant chaque ménage abonné. Un manœuvre verse le contenu de la poubelle dans le camion et laisse la poubelle devant la porte de l'abonné. Une fois le camion plein, déverse les ordures dans une décharge ou un site de transfert.

### **b. Collecte centralisée par poubelle**

Chaque ménage regroupe ses ordures dans une poubelle familiale. Un membre de la famille va ensuite les déverser dans la poubelle publique du quartier. Le service de ramassage va se charger de la suite.

### **c. Collecte sélective**

Elle s'effectue porte à porte et concerne des types de déchets bien ciblés.

Elle peut être faite sur tous les types de déchets par apports volontaires des citoyens.

Ces derniers doivent trier au préalable leurs déchets et les portent ensuite aux points de regroupement (Moindze, 2003).

## **II.4.2 Tri des déchets**

Le tri des déchets ou tri sélectif est une méthode de tri qui permet de séparer les déchets en fonction de leur composition. Il est effectué par les particuliers et les industriels, puis affiné dans des centres de tri spécialisés. Le tri conditionne la valorisation des déchets où il permet notamment de séparer les déchets recyclables des autres déchets (Anonyme, 2000).

### II.4.3 Traitement et valorisation des déchets

#### II.4.3.1 Traitement par élimination

##### a. L'incinération

C'est la technique choisie par de nombreux syndicats intercommunaux en raison d'avantages majeurs. L'usine d'incinération occupe moins d'espace que la décharge et elle permet la valorisation des ordures, en produisant de la chaleur pour fin utile comme la distribution de l'en eau chaude alimentant le réseau de chauffage urbain ou la production de l'électricité via des une turbine à chaleur (Belaïb, 2012).

##### b. La mise en décharge

Les décharges à ciel ouvert ont été remplacées par les décharges contrôlées, encore appelées centres d'enfouissement technique CET (Berg et *al.*, 2009). La mise en décharge contrôlée des déchets urbains est une méthode de gestion des déchets dans toutes les situations concernant d'importants tonnages, car elle est choisie pour sa facilité et son faible coût (Miquel, 1998).

Les CET sont différents des décharges à ciel ouvert car les déchets sont compactés dans un trou et recouverts d'une fine couche de terre chaque jour.

#### II.4.3.2 La valorisation matérielle (recyclage)

Il est possible de récupérer et de réutiliser de nombreux matériaux que l'on trouve dans les déchets pour fabriquer des nouveaux produits du même type ou d'un type différent (Berg & *al.*, 2009). Le recyclage permet des économies de matière première et d'énergie tout en diminuant les frais de traitement des déchets (Belaïb, 2012).

De nombreux déchets sont recyclés tels que le papier, le carton, le verre, l'aluminium le plastique et les pneus.

#### II.4.3.3 Traitement biologique

Entre autre la particularité de la matière organique, présente la propriété d'être une substance biodégradable, sous une action bactérienne, soit naturelle ou induite. Elle se décompose assez

## Chapitre II : Le compostage des déchets organiques

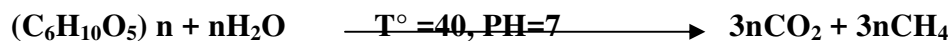
---

rapidement en molécules simples utilisables par les plantes. Cette dégradation peut se dérouler en milieu aérobie ou anaérobie, la mise à disposition d'air lors de cette dégradation induit une réaction de fermentation aérobie : c'est le principe du compostage (Lopez, 2002).

Dans ce cadre, Le traitement des ordures ménagères par fermentation biologique peut se faire de deux manières : la méthanisation et le Compostage.

### a. La méthanisation

Il s'agit d'un procédé de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène. Cette fermentation (dans un digesteur) produit du biogaz ainsi qu'un résidu solide appelé digestat.



Le bio gaz, essentiellement constitué de méthane (CH<sub>4</sub>) 50% à 65% et 33% à 48% de CO<sub>2</sub> peut être valorisé de différentes façons :

- La production d'électricité et de chaleur combinée dans une centrale en cogénération
- La production de chaleur qui peut être consommé à proximité du site,
- L'injection dans les réseaux gaziers après une étape d'épuration qui transforme le biogaz en biométhane,
- La transformation en carburant sous forme de gaz naturel véhicule (GNV).

Pour les résidus, le digestat composé d'éléments fertilisants, de matière minérale et de matière organique résistante, destinés à l'agriculture. Il peut être soit utilisé directement pour l'épandage des terres agricoles, soit il est retraité pour être transformé en compost (Ademe, 2014).



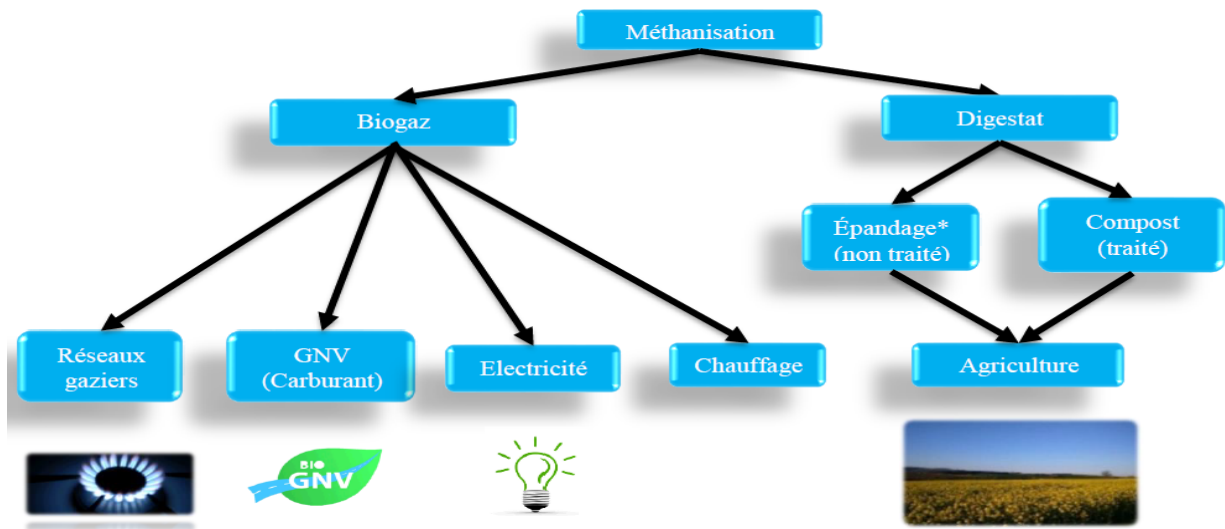


Figure II. 3 : La méthanisation et digestat selon (Adame, 2014)

### b. Le compostage

Contrairement à la méthanisation, on distingue le compostage qui est un processus naturel de «dégradation» ou décomposition de la matière organique par les micro-organismes dans des conditions aérobies. Les matières premières organiques, telles que les résidus de culture, les déchets alimentaires, restes animaux, certains déchets urbains et les déchets industriels appropriés peuvent être appliquées aux sols en tant que fertilisant, une fois le processus de compostage terminé (Misra et *al.*, 2005).

C'est à travers l'action des micro-organismes qui entraînent une réaction d'oxydation accompagnée d'une libération de chaleur. L'équation de compostage suit le parcours suivant :



### II.5 Processus du compostage

Il y a pratiquement deux processus de compostage: aérobie et anaérobie (Moindze, 2003).

#### II.5.1 Compostage en anaérobie

Dans une fosse d'un mètre de profondeur, les matières fermentescibles sont posées couche par couche de 20 cm d'épaisseur, alternativement avec des excréments d'animaux.

## Chapitre II : Le compostage des déchets organiques

---

Elles sont couvertes avec de la terre. Et on ajoute assez d'eau pour accélérer l'opération. La décomposition des matières premières est lente et dure à peu près six mois.

### II.5.2 Compostage en aérobie

Il consiste à ranger toutes les matières dans un composter. La condition d'aérobie est obtenue en effectuant plusieurs retournements et en arrosant fréquemment suivant le taux d'humidité des tas.

#### II.5.2.1 Différentes phases du processus aérobie

**a. La fermentation aérobie** : la fermentation aérobie de la matière organique est réalisée par une succession de consortiums microbiologiques qui s'accumulent en fonction de la température du taux de composés organiques fermentescibles. Il est possible de distinguer plusieurs phases de transformation au cours de la fermentation aérobie en fonction de la température et du temps (HUMEAU&LE CLOIREC, 2006).

\* **phase mésophile** des microorganismes dont la croissance est optimale entre 20 et 45°C se multiplient en présence de sucre et acides aminés libres, cette phase est exothermique conduisant donc à une production de chaleur.

\* **phase thermophile** durant cette étape, la température monte à 50 à 75°C. Elle s'accompagne d'une dégradation très active de la matière organique avec dégagement de CO<sub>2</sub>, perte en azote minéralisé sous forme ammoniacale et assèchement du compost par évaporation d'eau. La production de chaleur détruit les germes.

#### \* **phase refroidissement**

La stabilité du milieu correspond à un équilibre entre la production interne et la dissipation externe de chaleur. Ainsi, le ralentissement de l'activité microbiologique par épuisement du gisement de nutriments entraîne une diminution de la production de chaleur.

#### **b. La Maturation**

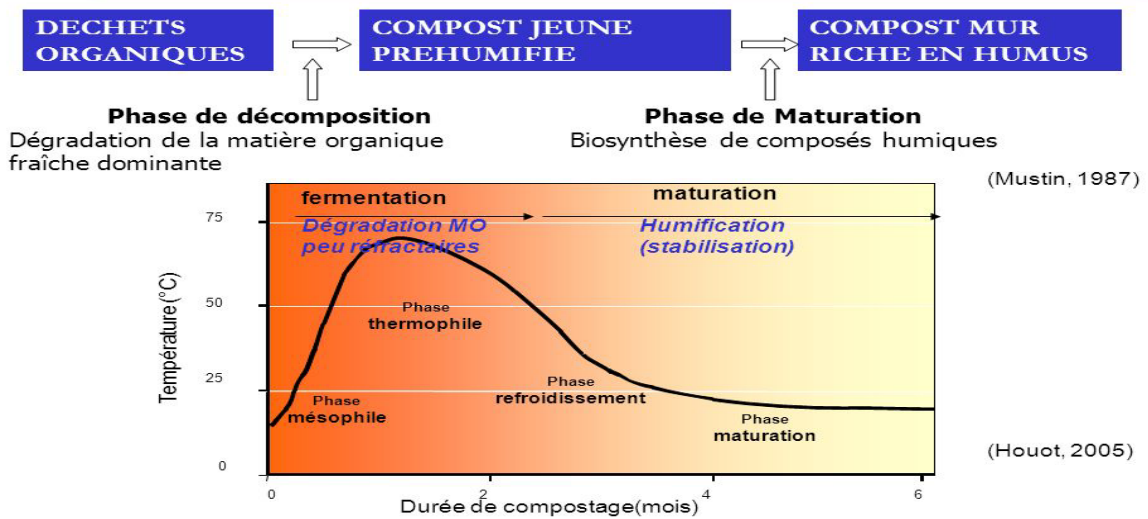
La température décroît durant cette phase comprise entre 20 et 30°C. Les microorganismes mésophiles colonisent à nouveau le composte ; les éléments de l'humus apparaissent progressivement jusqu'à la constitution du compost mature.

## Chapitre II : Le compostage des déchets organiques

Ces processus d'humification sont lents et peuvent durer plusieurs mois (de 1 à 3 mois).



### Différentes phases



10

Figure II. 4 : L'évolution de la température au cours de compostage (Martin, 1987)

### II.5.2.2 Les paramètres du compostage (Vanai, 1995).

#### - Le carbone

Le carbone contenu dans les matières organiques est utilisé par les micro-organismes comme source d'énergie à travers des oxydations métaboliques. Cette oxydation du carbone en dioxyde de carbone contribue à la perte de masse et à la production de chaleur observée dans les andains en compostage.

#### - L'azote et le rapport C/N

L'azote est essentiel pour toute activité biologique. Il se trouve dans les déchets organiques. Le rapport C/N est un facteur nutritionnel important. Sa valeur optimale pour le compostage se situe entre 19 et 30.

Si le C/N est supérieur à 30, l'activité microbienne est ralentie par manque d'azote et s'il est inférieur à 19, l'excès d'azote est perdu par volatilisation sous forme d'ammoniac.

#### - Les autres éléments

Il s'agit notamment du soufre, du phosphore et des oligo-éléments qui sont des éléments indispensables pour les biosynthèses cellulaires.

#### - L'oxygène

## Chapitre II : Le compostage des déchets organiques

Dans la conduite du compostage, il est indispensable de contrôler la teneur en oxygène des milieux lacunaires. Cet élément est essentiel parce qu'il assure l'oxydation du carbone des matières organiques en dioxyde de carbone.

La teneur optimale en oxygène des milieux lacunaires, assurant une dégradation rapide de la matière organique, se situe entre 8 et 19% quand la température de la masse est maintenue entre 45°C et 65°C.

### **- La température**

L'activité de dégradation des matières organiques par les micro-organismes se traduit par une augmentation progressive de la température des tas en compostage.

Selon **Jeris et Regan**, la température optimale pour la dégradation des déchets urbains se situerait aux environs de 60°C.

Le contrôle de la température des andains en compostage peut être réalisé, soit par des retournements de la matière, soit par la ventilation. C'est la technique du soufflage forcé qui permet le meilleur contrôle de la température et par conséquent, la diminution du temps nécessaire à la maturation et la production d'un compost de bonne qualité.

### **- L'humidité**

La teneur en eau de la matière compostée est un paramètre essentiel pour le déroulement des activités de dégradation. Elle conditionne, d'une part, le développement et les déplacements des micro-organismes et, d'autre part, l'aération de la matière.

Conditions opératoires	Fermentation aérobie	Maturation
Température	60 à 70 °C	20 à 30°C
Teneur en eau	60 à 80 % de la masse brute	40 à 60% de la masse brute
Ph initial de la matière	6 à 8	7 à 8
Le rapport carbone azote C/N	20 à 30	-
Temps de biodegradation	4 à 6 semaines	1 à 3 mois
Besoins en air	0.1 à 1 Nm <sup>3</sup> /min	< 0.1 N m <sup>3</sup> / min

**Tableau II. 1** : Conditions opératoires nécessaires pour une mise en œuvre optimale d'un procédé de compostage (HUMEAU ET LECLOIREC, 2006).

### **II.5.2.3 Densité ou masse volumique spécifique (T/m<sup>3</sup>)**

La connaissance de la densité ou de la masse volumique des déchets est très importante, pour le choix, d'une part des moyens de pré-collecte, collecte ou transport des déchets et d'autre part du type de traitement à préconiser. La densité des déchets ménagers brutes diffère d'une

## **Chapitre II : Le compostage des déchets organiques**

---

ville à une autre, celle d'Alger varie entre  $0,49 \text{ T/m}^3$  à  $0,55 \text{ T/m}^3$  par contre celle des déchets de Biskra est de  $0,33 \text{ T/m}^3$  (Mezouari, 2011).

La masse volumique des déchets alimentaires organiques a un ratio moyen  $0.6 \text{ kg/litre}$ , équivalent à  $600 \text{ kg/m}^3$  (source Ademe), avec la formule : poids en kg =  $0,6 * \text{volume de la poubelle en litres}$ .

La densité des déchets alimentaires plus la sciure est en moyenne de  $0.5 \text{ T/m}^3$  dans les poubelles, dans la benne tasseuse en moyenne  $0.6 \text{ T/m}^3$ , ensuite au décharge revient  $0.5 \text{ T/m}^3$ , après un mois de fermentation cette densité devient  $0.6 \text{ T/m}^3$ , la masse volumique attendus du compost final est d'environ  $1.1 \text{ T/m}^3$  (Koledzi, 2012).

### **II.5.2.4 Rendement en compost de la plateforme**

$R = \text{compost obtenu} / \text{quantité de déchets mise à composter}$

Selon une expérience faite par (Belaid, 2012), la composition de sa composte est de 60% épiluchures entières, 20% coquilles d'œufs et 20% sciure du bois. Le rendement en compost est 61.6%

Pour DEBRIL 2005, le compostage conduit à une réduction des quantités. La perte de matière sèche est de l'ordre de 40%.

### **II.6 Différents procédés de compostage**

Les différents procédés de traitement biologique par compostage des déchets organiques sont:

- Bioréacteur-stabiliseur;
- Compostage par andain à l'air libre;
- Compostage avec aération forcée ou par retournement des andains ;
- Co-compostage en plein air avec retournement;
- Compostage en sac ventilé;
- Compostage avec aération forcée sous bâtiment ou compostage en casier;
- Compostage individuel.

## Chapitre II : Le compostage des déchets organiques

Procédé et durée du processus	Capacité (T/an)	Avantages	Inconvénients
-Bioréacteur-stabilisateur -1 à 3 jours dans le réacteur et 3 à 6 mois de fermentation et maturation	9 à 25 000	-déchets entrants: ordures ménagères brutes -préparation du flux en un à trois jours -pas d'odeurs	-nombreuses étapes pour obtenir un flux de qualité; -collecte en amont des déchets toxiques et des déchets d'emballages ménagers; -ne permet pas la récupération de toute la fraction organique; -qualité aléatoire en raison des entrants.
-Compostage en andains à air libre -3 à 6 mois selon le degré de maturation souhaité et la fréquence des retournements	quelques tonnes à plus de 100000	-faibles besoins techniques -Faible coût -exploitation aisée de l'unité -capacité de traitement élevée -utilisation de matériel mobile -extension facile si place disponible	-émission éventuelles d'odeurs et de composés organiques volatils -Impact visuel -besoin d'un lieu d'implantation sans voisinage (ou voisinage industriel) -problème de bruit -besoin de grandes aires de stockage -besoin d'une infrastructure de récupération des lixiviats
-Compostage avec aération forcée et retournement sous bâtiment -4 semaines de fermentation et 3 mois de maturation	6000 à 20000	-aspect esthétique -pas ou peu d'odeurs -pas ou peu de bruit -automatisation du procédé -faible besoin d'espace -accélération du procédé et donc réduction du stockage	-agrandissement nécessitant des travaux et modification du bâtiment -coût supérieur à un procédé de compostage en andains à l'air libre -entretien important de la partie mécanique
-Co-compostage en plein air avec retournement -1 à 2 mois de fermentation puis 3 mois de maturation	Environ 25000	-Traitement de plusieurs flux de déchets organiques différents -Faible coût -Impact environnemental presque nul -Besoin de peu de moyens techniques -Rapport C/N idéal	-Si un flux est pollué, les deux le deviennent -Emission d'odeurs
-Compostage en sac ventilé -environ 11 semaines	25000 à plus de 75000	-absence d'odeurs -absence de lixiviats -insensible aux aléas climatiques -coût réduit -matériel mobile -main d'œuvre réduite (pas de retournement, ...)	-peu de retour d'expériences en France -préparation préalable du mélange -aucune manipulation ne peut être faite une fois le substrat dans le sac
-Compostage avec aération forcée sous bâtiment ou compostage en casier -4 à 5 semaines de fermentation puis 8 semaines de maturation	40000	-absence d'odeur -absence de lixiviat -aspect esthétique -technologie simple -traçabilité facile par informatisation	-plus long qu'un procédé avec retournement accéléré -présence d'insectes
-Compostage individuel -environ 9 mois	0.3 -0.6	-facile à mettre en place -faible coût -dévie une partie des ordures ménagères brutes -implique l'habitant	-odeurs et insectes si le suivi n'est pas régulier -procédé pour les personnes possédant un jardin

**Tableau II. 2 : Avantages et inconvénients des différents procédés de compostage [II.1]**

### II.7 Déroulement du compostage

#### A. Compostage en andain à l'air libre

La méthode de compostage en andain aéré a été choisie dans plusieurs pays industrialisés (Espagne, France, Royaume Uni, Italie, Allemagne) et même dans les pays en développement (Inde, Sri Lanka, Mexique,...). Elle consiste à faire plusieurs retournements successifs avec apport éventuel d'eau (Tahraoui, 2013).

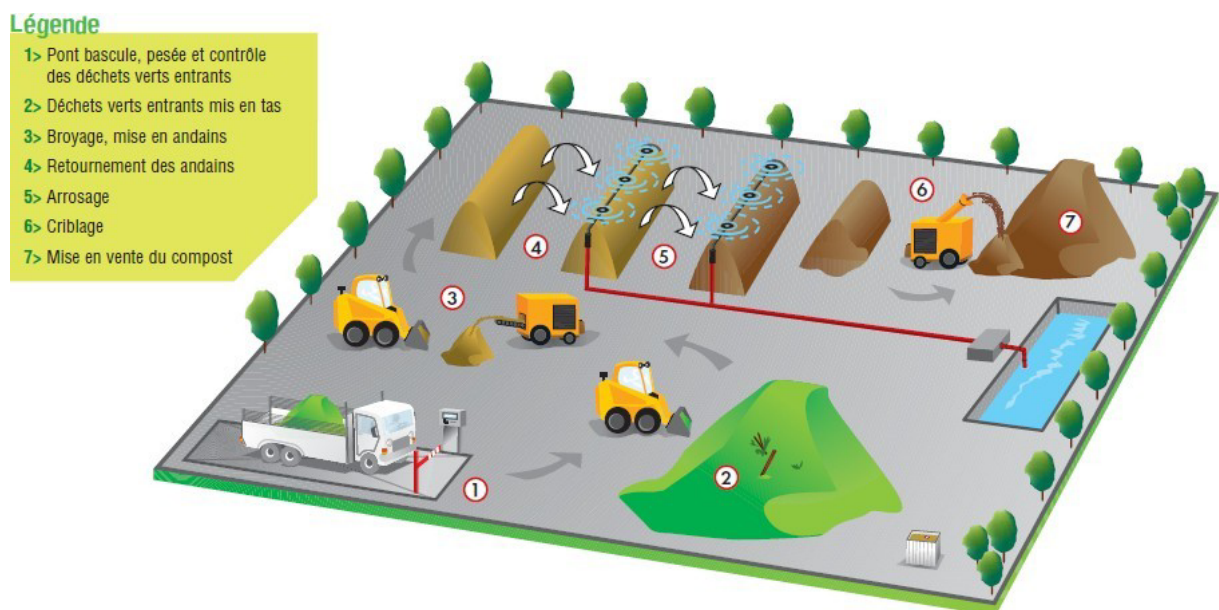
**Etape 1:** préparation du substrat: déchets bruts ou prétraités par tri de certaines catégories;

**Etape 2:** construction des andains;

**Etape 3:** fermentation avec aération par retournement, deux fréquences de retournements ont été choisis: -Aération par jour (2èmeJ; 4èmeJ; 8èmeJ; 15èmeJ; 30èmeJ) et aération par semaine (1erS; 2èmeS; 3èmeS; 4èmeS; 7èmeS; 9èmeS; 11èmeS).L'arrosage a été appliqué pendant la phase de dégradation de telle sorte de maintenir l'humidité de l'andain entre 40 et 60 %.

**Etape 4:** maturation pendant 3 mois;

**Etape 5:** affinage final par criblage sur mailles de 40 mm et de 10 mm.



**Figure II. 5 :** compostage en andain à l'air libre.

## Chapitre II : Le compostage des déchets organiques

### B. Compostage en casier à aération forcée

Les déchets broyés se mettent dans des casiers. Ils sont généralement pourvus de sondes électroniques disposées régulièrement et reliées à un système informatisé pour la lecture ou même le contrôle automatique de l'aération et l'humidité (système d'arrosage), cette phase dure 4 semaines.

Afin de pouvoir être opérés à l'année et d'éviter une importante lixiviation, les casiers doivent être à l'abri des variations climatiques. En plus le lixiviat est réutilisé à l'arrosage pour avoir un bon compost.

Un système d'aération permanent, constitué de tuyaux perforés est situé à la base des andains. Ainsi de préférence à déplacer les déchets d'un casier à un autre 2 fois/mois, pour éviter la formation des insectes aux zones non aérées.

Un système de ventilation et de biofiltre pour le captage d'une partie des odeurs.

La phase de maturation dure 8 semaines qui nécessite le déplacement du compost d'un casier à un autre (2 fois/mois) pour l'aération, ensuite passe au criblage pour avoir un compost normalisé prêt à la commercialisation dans le cadre de la norme NFU 44051 (les amendements organiques).

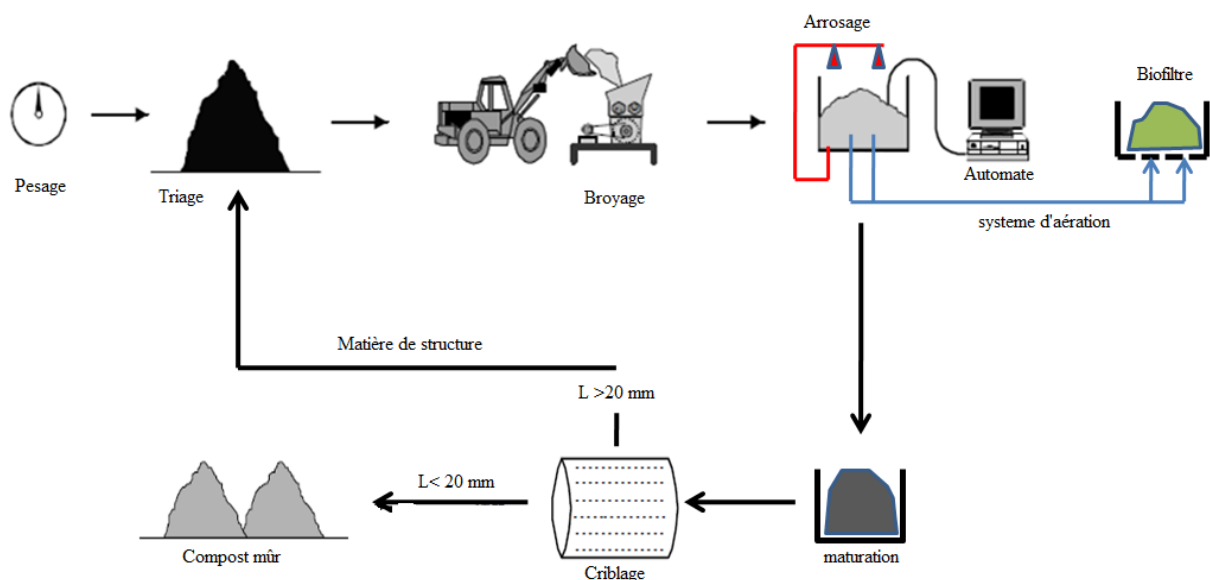


Figure II. 6 : compostage en casier à aération forcée (Cercle National du Recyclage, 2000)



### II.8 Avantages du compost

Le compostage est une technique très ancienne visant à valoriser les déchets organiques pour les réutiliser sous forme d'humus. Cette valorisation permet de boucler les cycles naturels et d'améliorer la productivité du sol. L'épandage d'un amendement organique laisse espérer des effets positifs sur le sol.

-Il permet l'amélioration de **la structure et de la stabilité structurale du sol**. En effet, parmi les différents éléments minéraux présents dans le sol, les argiles s'associent à la matière organique du sol (l'humus) et aux micro-organismes pour former, sous l'action stabilisatrice du calcium, le complexe argilo-humique.

Sa structure en feuillet lui confère une puissante charge négative permettant à une certaine quantité de cations libres de la solution du sol de s'y fixer ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$  etc.). En plus le complexe argilo-humique est un véritable réservoir d'éléments nutritifs pour la culture.

- **La rétention d'eau et la porosité**. L'eau disponible pour les végétaux grâce à l'utilisation d'un compost correspond au double du volume d'eau pouvant être retenue par un sol minéral. Ainsi en augmentant le taux d'humus du sol de 0,2 %, la quantité d'eau disponible pour la plante croît de 0,5 % et la porosité du sol de 1%. L'amélioration de la porosité entraîne également une meilleure aération du sol et ainsi le développement de l'activité biologique.

- **L'influence sur la chimie du sol**. Les substances basiques du compost et les substances humiques sont bénéfiques contre l'acidification du sol et le stabilisent chimiquement. Une revitalisation des sols fortement dégradés et un développement de la végétation sont favorisés.

- **L'effet phytosanitaire** décrit la faculté fongicide du compost. D'une manière générale le compost contient des substances donnant plus de vigueur aux végétaux et augmentant ainsi leur résistance vis à vis de certains pathogènes (Charnay, 2005).

## Chapitre II : Le compostage des déchets organiques

---

### II.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé sur les différents types de déchets générés par l'être humain, dont plus de 60 % sont des déchets biodégradable, dans les pays développés ces déchets sont valorisés pour devenir un bénéfice.

Le compostage est l'une des techniques de valorisation pour transformer les déchets organiques à des engrais naturels riches en matières fertilisantes des sols.

Après avoir établi un tableau comparatif entre les différentes techniques du compostage, nous avons choisi d'utiliser le compostage à aération forcée en casiers car il est considéré comme une technique simple, moins chère et sans impact sur l'environnement.

Ce modèle sera étudié dans notre projet en prenant en considération l'aspect technique, économique et financier.

Le chapitre suivant est destiné pour exposer la problématique de notre mémoire.

# **Chapitre III :**

Présentation de problématique

et état de l'art

### III.1 Introduction

Les problèmes liés à la gestion des déchets ménagers est l'augmentation de la production des déchets sous le triple effet (de la croissance économique, démographique et du niveau de vie), nous ont amené à penser à ce projet de valorisation des déchets organiques. Pour cela les notions de la chaîne logistique inverse sont nécessaires pour réussir les opérations de la collection et le transport dans une vision stratégique à moindre coût.

Ce chapitre est destiné pour exposer notre problématique de la chaîne logistique inverse dédiée à la collecte et la valorisation des déchets organiques. Il s'agit d'un problème de localisation des points de collecte puis leurs affections aux centres de traitement en prenant en considération la capacité limitée de camion, et le problème de la distance des chemins. Suivant le gisement de la matière obtenu ce problème de localisation allocation sera suivi par une étude technique et économique de projet de récupération des déchets ménagers par la méthode de compostage en casier.

### III.2 Le recyclage des déchets alimentaires

L'état des chiffres montre qu'en Algérie, la quantité d'ordures ménagères en milieu urbain peut être évaluée à 328kg/hab./an (**Kehila, 2010**) pour une politique à la réalisation et la mise en exploitation de plus de 50 CET (Centre d'enfouissement Technique) sur l'ensemble du territoire national. Malheureusement, leurs principes de fonctionnement est d'enterrer les déchets sans leurs valorisation. Sachant que ces déchets contiennent plus de 62% de déchets alimentaires organiques équivalent à 200kg/habitant/an, une grande perte à des fins agricoles n'est pas exploitée.

### III.3 Facteurs de motivation

Si le secteur de recyclage des déchets organiques est presque absent en Algérie, la croissance démographique, la hausse de consommation suite à l'amélioration du niveau de vie, l'expansion urbains et le développement des activités socio-économiques nous fait penser à réagir pour un environnement sain et propre.

L'une des issues de valorisation des déchets ménagers alimentaires organiques c'est leurs exploitation pour la production de compost naturel où du point motivant c'est que son coût en produit fini est 6 fois moins chère que les engrais chimiques importer de l'étranger.

### III.4 Description du projet de revalorisation des déchets organiques :

#### III.4.1 Le cycle

Ces déchets alimentaires organiques sont dégradables et peuvent être valorisée soit pour faire le compost un engrais naturel riche en azote nécessaire pour le secteur agricole, soit pour extraire le biométhane par la technique de méthanisation.

Si notre option du choix d'étude est celle du compostât, la réalisation de tels projet passe par une étape très importante ce qu'on l'appelle la conception de la chaîne logistique inverse qui baser sur la classification optimales des agrégeras des points de collecte des déchets puis l'optimisation du problème de transport entre les points de collectes et les unités de compostage pour qu'en fin réduire le coût de compostât compost en tenant en compte les affinités du soutien logistique et des processus de transformation.

Ces mouvements de collecte, de transport et de transformation en compost entre dans un cycle répétitif dont il faut bien planifier chaque niveau d'opération. En premier dans ce chapitre on présente un état de l'art sur la chaîne logistique inverse inspiré de quelques revues de littérature.

#### III.4.2 Les points de collecte (gisement de la matière valorisable)

Etape cruciale : l'opération de collection ou le ramassage des déchets alimentaires dans la ville de Tlemcen se fait après avoir localisé sur la carte géographique les endroits les plus riches de se type de déchets. Au départ et pour lancer cette chaîne inverse, notre choix s'est visé sur la collecte porte à porte dont les points de collecte sont :

- Les cités universitaires
- les cités militaires
- les cantines des écoles (primaires, secondaire et lycée)
- Les marchés des légumes et fruits
- L'Hôpital
- Les menuiseries

La raison pour choisir ces point de collecte est que nous réfléchissons à créer au départ une chaîne logistique inverse pilote de revalorisation des déchets ménagers qui peut être étendue dans la suite dans l'espace et dans le nombre des points de collecte. Notons que le secteur de

valorisation des déchets alimentaires organiques en compostât est absent sur territoire national où l'élimination des déchets se fait au centre d'enfouissement technique épuisés par la quantité des déchets déversés quotidiennement. Alors pour quoi présenter dans ce projet un autre modèle de valorisation des déchets via une chaîne logistique inverse et durable. Pour cela nous présentons dans la suite un résumé de travaux liées au problème de conception et pilotage des chaînes logistiques.

### **III.5 État de l'art sur la reconfiguration de chaîne logistique inverse:**

Etat de l'art : [M.Bennekrouf, L.Benyoucef, Z.Sari, 2010]

Pour concrétiser le concept de la logistique inverse, nous avons établi au préalable une littérature du domaine lié à notre problème.

Le modèle proposé par [Cruz-Revera et Ertel, 2009] est considéré comme un des modèles les plus simples dans sa formulation mathématique. Il est utilisé pour résoudre le problème de récupération des véhicules en fin de vie en Mexique. Son objectif est de déterminer le nombre minimum de centres de collectes à localiser afin de minimiser la distance totale de transport lors de la collecte des véhicules avec un maximum de couverture des zones desservies. En utilisant une analyse par scénario et un simulateur SITATION, proposé initialement par [Daskin, 2006], les auteurs ont pu faire des pronostics de localisation des centres de collecte à l'horizon 2025.

Dans le même contexte, [Si-bo et Wei-Lai 2008], ont présenté un travail similaire à [Cruz-Revera et Ertel, 2009], regroupant plusieurs coûts opérationnels. Ce travail concerne l'optimisation du problème de localisation des sites et l'allocation du flux de matière dans un réseau logistique inverse. Son but est de résoudre un problème multi-objectifs qui consiste à minimiser les coûts d'installation des points de collectes initiaux en tenant compte de la maximisation des revenus des produits retournés. Par le soutien des algorithmes génétiques, la localisation des centres de collecte ainsi que les centres de retours centralisés ont été optimisés.

[Lu et al, 2008] ont abordé un autre cas multi-objectifs de conception d'un réseau logistique inverse à deux échelons. Il s'agit de chercher les localisations optimales de deux centres principaux du réseau appelés respectivement, centre de transit et centre de processus. Comme de nouveau dans la conception du modèle, on remarque une importance offerte à

### Chapitre III : Présentation de problématique et état de l'art

---

l'environnement et est considérée dans la réduction des impacts négatifs sur l'environnement au niveau du centre de processus. Pour soulever le problème d'analyse combinatoire, les auteurs ont utilisé des algorithmes génétiques, en tenant, en compte de la minimisation des coûts fixes d'installation et opérationnels des différents centres (facteur de recyclage des déchets, qualité, quantité, fréquence,...., etc.).

[Hang et Chen, 2008] considèrent un autre cas de construction d'un réseau logistique inverse avec la prise en compte de capacités des centres de traitement. Ce réseau comprend un ensemble de points de collectes, d'usines de traitement, d'usines qui demandent des produits réutilisables et d'usines qui demandent de la matière première. Une formulation en un modèle mathématique linéaire en variables mixtes (entières et réelles) est proposée et relaxée par la relaxation Lagrangienne.

[Yin et Wang, 2008] ont utilisé une approche hybride couplant logique floue et relaxation Lagrangienne pour résoudre un problème de conception d'un réseau logistique inverse. L'approche est appliquée dans le cas du traitement et le recyclage des batteries de portable usées en Chine. Dans ce même pays, [He et al, 2007] abordent un problème analogue relatif à la récupération des déchets municipaux solides. Par un soutien des algorithmes génétiques en couplage avec des algorithmes de logique floue, l'analyse combinatoire du problème localisation allocation est optimisée.

Un cas d'étude très passionnant proposé par [Wang et Yang, 2007] qui traite le problème de conception et pilotage d'une chaîne logistique inverse complexe. Vu l'intérêt porté au recyclage et au traitement d'une série de classe de produits électroniques, la structure de la chaîne proposée se compose de points de collecte, de centres de stockage, d'usines de recyclage et des sites de traitement. Aussi sachant qu'au niveau stratégique l'analyse combinatoire à partir des outils d'optimisation classique tels que le Cplex ou le Lingo prend beaucoup de lenteur, surtout quand il s'agit de traiter un problème de localisation- allocation des entités multi-configuration. Afin de surmonter ce problème, les auteurs ont proposés de nouveaux algorithmes d'optimisation. Pour un maximum de couverture, ils ont introduit la possibilité de créer de nouvelles entités de la chaîne aux configurations multiples comme une décision stratégique.

### III.6 Présentation de problème :

Les déchets organiques non recyclés font perdre à l'Algérie près de 300 millions d'euros par an (Kehila, 2010). Cette situation actuelle est marquée par quatre facteurs :

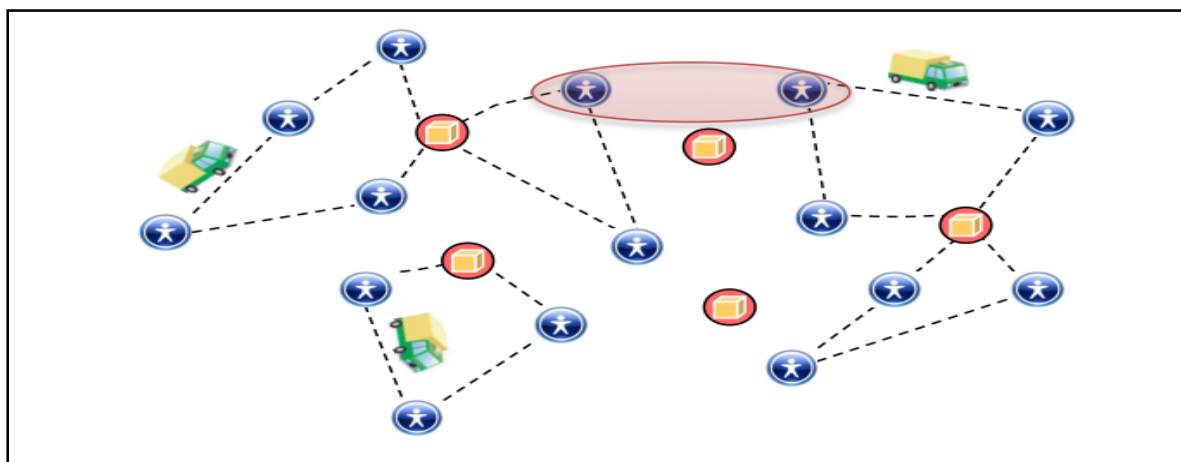
- Absence d'une politique claire de gestion des déchets.
- Insuffisance de moyens matériels et financiers.
- Pas de sensibilisation aux risques.
- Augmentation des coûts d'élimination

Notre souci actuel est de valoriser ces déchets pour transférer les charges d'élimination en un bénéfice pour l'investisseur, l'état, les citoyens et l'environnement.

Le coût de transport représente un pourcentage de 30 à 60% de la logistique, pour confronter ces charges dans la logistique inverse nous devons localiser les points de collecte qui sont reliés à un centre de traitement (compostage).

Chaque point de collecte appartient à un amas (ensemble de point de collecte) ; Nous nous limitons en cas ou une seule connexion de transport relai chaque couple de point de collecte.

Le problème étudié est un problème de localisation /affectation dont la question est: où placer le centre de traitement afin que chaque amas (ensembles de clients) soit associé à l'un d'entre eux à moindre coût ?



**Figure III. 1 :** présente la structure globale de la chaîne logistique



## Chapitre III : Présentation de problématique et état de l'art

---

En suite on doit faire un dimensionnement d'une station de compostage avec un coût d'investissement rationalisé afin de voir si la valorisation des déchets organiques est bénéfique ou pas pour l'investisseur.

### III.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons révélés les causes réelles devant le choix de ce type de projet.

Beaucoup des chercheurs dans le monde entier ont fait des travaux basés sur la chaîne logistique inverse pour récupérer les différents types de produits recyclables en créant des nouveaux marchés.

Aussi notre problématique est visée sur la configuration de la chaîne logistique inverse dédiée à la valorisation des déchets ménagers. Cette configuration n'est efficace que si les barrières de la chaîne logistique inverse à savoir : les points de collectes sont bien considérés. La localisation de ces points de collecte et leurs groupement en agrégat pour les affecter au centre de traitement des déchets tout en respectant les contraintes de capacité limité , et le plus court chemin fait le but de l'étude du prochain chapitre.

A decorative scroll graphic with a grey grid pattern background and white scroll edges, containing the chapter title.

# **Chapitre IV :**

Résolution de problématique

## Chapitre IV : Résolution de problématique

---

### IV.1 Introduction :

Les objectifs annoncés au début de ce mémoire étaient de proposer une structure optimale de la chaîne logistique inverse pour la collecte et le compostage des déchets alimentaires organique dans la ville de Tlemcen.

Dans ce chapitre nous élaborons des modèles qui sont basés sur un modèle de localisation et allocation des points de collecte et l'affectation de ces derniers au centre de traitement ; on distingue le terme localisation qui fait référence à la détermination des emplacements des sites qui peuvent être des sites de production ou de distribution ou de collecte de l'entreprise, et le terme allocation qui fait référence à l'affectation des activités aux sites de production ou des clients aux centres de distribution.

Par la suite, nous résolvons le problème de transport par la tournée de véhicule

### IV.2 Hypothèse de résolution du problème de conception et pilotage de la chaîne logistique inverse dédiée à la collecté des déchets ménagers :

Afin de concevoir cette chaîne logistique inverse, nous avons proposé un modèles mathématique en entier mixte MILP et utilisé le modèle de littérature du voyageur du commerce. Le premier modèle CCCP (capacitated centered clustering problem) ou nous allons regroupez les points de collecte les plus proches en terme de distance. Dans Le deuxième modèle On cherche à prendre des décisions d'affectation afin de minimiser les couts de transport tout en respectant une répartition quotidienne, qui tient compte des quantités récupéré auprès des amas.

Alors deux stratégies de résolution de ce problème sont proposées  $P_1$  et  $P_2$ .

Le but de la première partie( $P_1$ ) consiste a localisé et faire le regroupement des points de collecte (formation des amas)

la dexieme partie( $P_2$ ) consiste a trouver la plus courte chemin dans chaque amas

#### IV.2.1 Regroupement des points de collecte (formation des amas) :

Dans cette partie nous allons définir les différents amas de clients (ensemble de client) de la ville de Tlemcen. En se basant sur le choix des endroits riches en déchets ménagers dans la willaya de Tlemcen. Plus en détail, notre objectif porte sur les critères de minimisation des

## Chapitre IV : Résolution de problématique

distances entre les clients et le centre de gravité des amas où chaque amas est limité par la capacité d'un véhicule de collecte,

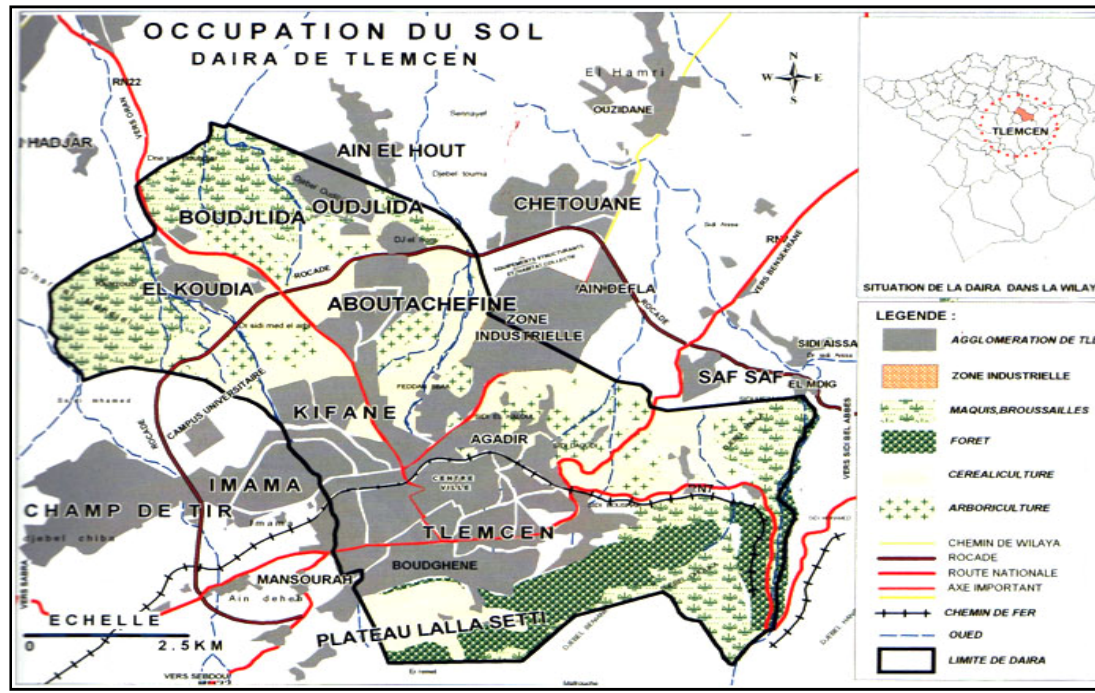


Figure IV. 1 : Carte géographique de la ville de TLEMCCEN

Pour une vision géographique plus claire et à jour, nous avons tracé la carte d'aménagement de la ville de Tlemcen en s'appuyant sur GOOGLE MAPS. Pour plus de détails sur les coordonnées géographiques de 104 positions représentant les points de collecte, les tableaux suivants représentent les positions géométriques  $(x_i, y_i)$  et les quantités moyennes des déchets alimentaires organiques ( $q_i$ ) qui se trouvent dans chaque point de collecte.

Mais la question qui nous parvient c'est comment nous avons estimé cette quantité moyenne  $q_i$  ?

Pour les points potentiels relatifs aux cités universitaires, nous avons considéré notre cité universitaire **BACHIR El ebrahimi** située à **Bouhanak**. La méthodologie d'enquête et l'interview nous a permis d'obtenir les résultats sur un échantillon de 2000 personnes dans un délai d'une semaine. Pour enfin estimer, la quantité moyenne des déchets organiques dans cette cité universitaire par étudiant. De la même manière, nous avons pu évaluer les quantités moyennes des déchets pour les autres cités universitaires.

Ainsi, un échantillon d'individu par établissement auquel est considéré comme point de collecte est établi pour savoir le nombre de déchets par individu par groupe. Les groupes sont

## Chapitre IV : Résolution de problématique

notre cas les hôpitaux, les restaurants, les marchés des légumes et les comptines...etc. C'est à partir de ce groupe d'individus qu'on peut tirer des conclusions des statistiques des chiffres de déchets par point de collectes qui sont valables pour les autres populations de même classe.

Points de collecte	Positions ( $x_i, y_i$ )	La quantité Des déchets Collectés (kg) ( $q_i$ )	Points de collecte	Positions ( $x_i, y_i$ )	La quantité Des déchets Collectés ( $q_i$ )
C1	(34.920552,-1.2995449)	1350	C53	(34.882234, -1.350055)	1005
C2	(34.9213569,-1.2966159)	51	C54	(34.883934, -1.346074)	420
C3	(34.9197954,-1.297324)	33	C55	(34.882262, -1.343735)	117
C4	(34.9187309,-1.2900928)	51	C56	(34.880810, -1.346364)	36
C5	(34.9215636,-1.2919596)	72	C57	(34.879587, -1.345044)	42
C6	(34.914055, -1.291144)	58	C58	(34.879464, -1.342866)	208
C7	(34.897729, -1.357309)	2700	C59	(34.889193, -1.335335)	867
C8	(34.896592, -1.349160)	1800	C60	(34.888568, -1.336944)	88
C9	(34.894614, -1.355570)	2025	C61	(34.889606, -1.334315)	27
C10	(34.888568, -1.355034)	87	C62	(34.889456, -1.331837)	31
C11	(34.888440, -1.363660)	450	C63	(34.892703, -1.328715)	316
C12	(34.885738, -1.364207)	405	C64	(34.894912, -1.329306)	12
C13	(34.873130, -1.366310)	225	C65	(34.893821, -1.332160)	154
C14	(34.879410, -1.361428)	900	C66	(34.882474, -1.303691)	310
C15	(34.880114, -1.359368)	4500	C67	(34.880212, -1.302130)	218
C16	(34.882041, -1.360591)	315	C68	(34.881152, -1.304222)	157
C17	(34.879146, -1.356868)	225	C69	(34.883299, -1.305794)	101
C18	(34.875212, -1.326945)	1125	C70	(34.876529, -1.305260)	28
C19	(34.877871, -1.314114)	2250	C71	(34.875070, -1.310576)	78
C20	(34.876480, -1.315305)	2557	C72	(34.877702, -1.309750)	64
C21	(34.878856, -1.316185)	546	C73	(34.875116, -1.317217)	71
C22	(34.879974, -1.317472)	112	C74	(34.873109, -1.316981)	109

## Chapitre IV : Résolution de problématique

---

C23	(34.878874, -1.321592)	26	C75	(34.873241, -1.320060)	69
C24	(34.878988, -1.309286)	1000	C76	(34.871261, -1.319719)	73
C25	(34.881162, -1.307333)	1350	C77	(34.865827, -1.318565)	254
C26	(34.883406, -1.306121)	85	C78	(34.866056, -1.316484)	54
C27	(34.882068, -1.303782)	45	C79	(34.864172, -1.317830)	168
C28	(34.884946, -1.300907)	86	C80	(34.905351, -1.323237)	107
C29	(34.885289, -1.309801)	92	C81	(34.906917, -1.321692)	32
C30	(34.882926, -1.309436)	26	C82	(34.909477, -1.320855)	85
C31	(34.877575, -1.310037)	97	C83	(34.910392, -1.323044)	46
C32	(34.875348, -1.309061)	55	C84	(34.911896, -1.324492)	117
C33	(34.874899, -1.310756)	119	C85	(34.911808, -1.318291)	363
C34	(34.872971, -1.312279)	30	C86	(34.918424, -1.323366)	190
C35	(34.872901, -1.317097)	459	C87	(34.919172, -1.324868)	71
C36	(34.873517, -1.320005)	65	C88	(34.920060, -1.327733)	415
C37	(34.875137, -1.317076)	74	C89	(34.925461, -1.331392)	15
C38	(34.875489, -1.320402)	1245	C90	(34.923139, -1.333634)	96
C39	(34.874961, -1.324779)	61	C91	(34.921718, -1.292242)	82
C40	(34.873649, -1.320134)	387	C92	(34.933767, -1.285644)	56
C41	(34.874837, -1.324704)	36	C93	(34.935536, -1.284879)	103
C42	(34.873279, -1.324522)	85	C94	(34.936992, -1.287282)	28
C43	(34.873878, -1.326711)	32	C95	(34.935809, -1.290544)	184
C44	(34.880558, -1.332633)	474	C96	(34.933940, -1.289514)	59
C45	(34.882054, -1.331485)	67	C97	(34.883605, -1.292870)	70
C46	(34.883304, -1.333760)	82	C98	(34.889299, -1.314499)	29
C47	(34.881544, -1.335745)	49	C99	(34.889528, -1.313426)	43
C48	(34.888083, -1.336464)	570	C100	(34.888210, -1.318528)	201

## Chapitre IV : Résolution de problématique

C49	(34.889517, -1.334318)	64	C101	(34.888254, -1.320577)	53
C50	(34.888813, -1.337472)	27	C102	(34.886177, -1.322122)	176
C51	(34.887220, -1.340347)	74	C103	(34.885350, -1.321264)	97
C52	(34.883335, -1.346293)	339	C104	(34.886512, -1.323925)	92

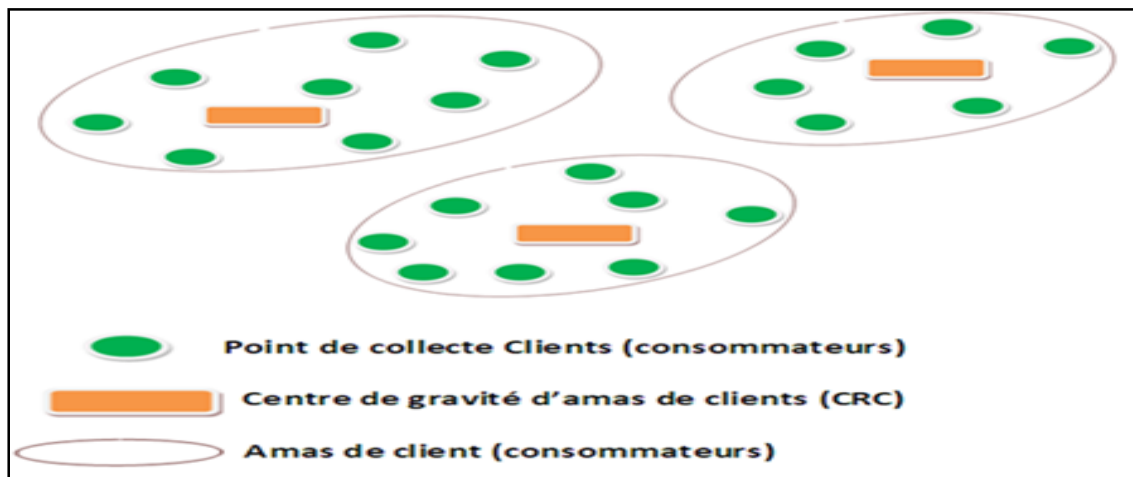
**Tableau IV. 1 :** la quantité des déchets alimentaires organique  $q_i$  et les positions  $(x_i, y_j)$

### IV.3 Résolution de problème :

#### P 1 : Capacitated centred clustering problem (CCCP)

La localisation des sites (installations) est un problème majeur pour les décisions stratégiques. Ce modèle est utilisé dans des nombreux domaines tels que les télécommunications, le transport et la distribution industrielle, les zones de collecte des ordures...

Le problème "capacitated centred clustering problem" (CCCP) est le problème p-médian qui est très connu. Le problème de CCCP consiste à partitionner un ensemble de  $n$  points en  $p$  groupes appelé amas, avec une capacité connue. Chaque amas est spécifié par un centre de gravité. L'objectif de (CCCP) est de minimiser la distance totale au sein de chaque groupe (amas), de telle sorte qu'une limite de capacité donnée à un amas ne soit pas dépassée.



**Figure IV. 2:** exemple d'un amas de client

#### P 1.1) Les paramètres du sous problème

$i$  : indice des clients (consommateur);  $i \in I$ ,

$j$  : indice des amas de clients;  $j \in J$

## Chapitre IV : Résolution de problématique

---

$I = \{1, \dots, r\}$  pour les clients.

$J = \{1, \dots, t\}$  pour les amas de clients.

$x_i, y_i$  : Position géométrique de client  $i$ .

$x'_j, y'_j$  : Position géométrique de l'amas de clients  $j$ .

$n_j$  : Nombre des clients affecté à l'amas de clients  $j$ .

$q_i$  : Quantité de déchets récolté au point  $i$

$Q_j$  : Capacité du véhicule du transport affecté vers l'amas de clients  $j$ .

### P 1.2) La fonction objective :

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left\| (x_i - x'_j) + (y_i - y'_j) \right\|^2 Y_{ij} \quad (1.1)$$

### P 1.3) Ensembles des contraintes :

$$\sum_{i \in I} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I} Y_{ij} = n_j \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_i Y_{ij} \leq n_j x'_j \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^t y_i Y_{ij} \leq n_j y'_j \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^t q_i Y_{ij} \leq Q_j \quad (5)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \forall j \in J \quad (6)$$

### P 1.4) Les variables de décision:

$$Y_{ij} \begin{cases} 1 & \text{si le client est affecté a l'amas de client } j \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$



## Chapitre IV : Résolution de problématique

**L'équation (1.1) :** présente la fonction objective du problème (1.1)

**Contrainte (1) :** impose que chaque client est affecté à un seul amas de clients.

**Contrainte (2) :** donne le nombre de clients dans un amas de clients.

**Contrainte (3) et (4) :** limite le nombre de clients par rapport à chaque centres de gravite de l'amas de clients.

**Contrainte (5) :** impose que la taille d'un amas de client ne dépasse pas la capacité du camion de transport

**Contrainte (6) :** définit les bornes des variables de décisions.

Les entrés du problème CCCP sont :

1. Les coordonnés (position géographique) des différents points de collecte  $i (x_i, y_i)$
2. Les quantités des déchets a collecté dans chaque point de collecte. Après le calcul sur le solver LINGO, les résultats obtenus sont groupés dans le tableau ci-dessous.

Amas $j$	$n_j$	l'ensemble des clients $i$ affecté à l'amas $j$	$Q_j$
<b>A1</b>	21	C17 C25 C26 C28 C29 C38 C45 C46 C47 C49 C50 C53 C59 C61 C62 C97 C98 C99 C102 C103 C104	5809
<b>A2</b>	8	C7 C8 C9 C64 C65 C80 C81 C82	6915
<b>A3</b>	11	C14 C15 C16 C22 C23 C44 C56 C57 C58 C67 C68	6988
<b>A4</b>	25	C13 C18 C20 C31 C32 C33 C34 C35 C36 C37 C39 C40 C41 C42 C43 C48 C70 C71 C72 C73 C75 C76 C77 C78 C79	6836
<b>A5</b>	19	C10 C11 C12 C19 C21 C24 C27 C30 C51 C52 C54 C55 C60 C63 C66 C69 C74 C100 C101	6937
<b>A6</b>	20	C1 C2 C3 C4 C5 C6 C83 C84 C85 C86 C87 C88 C89 C90 C91 C92 C93 C94 C95 C96	3440

**Tableau IV. 2 :** résultat obtenu (l'ensemble des clients  $i$  affecté à l'amas  $j$ )

1. Nous remarquons que le nombre des points de collecte affectés aux amas sont presque identique sauf l'amas 2 et 3 qui regroupe les cité universitaire avec une quantité elever .

## Chapitre IV : Résolution de problématique

2. Nous constatons que les quantités des déchets ménagers dans chaque amas sont presque équilibrées.

### P 1.5) Localisation de $C_0$ (centre de traitement):

L'endroit d'implantation de centre de traitement est choisi selon deux critères : il doit être un peu loin de la ville de Tlemcen et dans une zone forestière comme elle montre la figure IV. 3 où ses coordonnées sur google map sont : (34.929410, -1.281593) .



Figure IV. 4 : Vue aérienne du site : centre de traitement

## P 2 .Problème de transport

### P 2.1 Introduction

Les problèmes de tournées de véhicules sont très répandus en logistique. Les études en transport ont beaucoup évoluée au cours des dernières décennies, il en existe une multitude de variantes dont plusieurs sont apparus dans la littérature et on fait l'objet d'étude intensive.

### P 2.2 Problème de voyageur de commerce(TSP)

Le plus connu des problèmes de tournées (routing) est le Problème du Voyageur de Commerce (Traveling Salesman Problem ou TSP), c'est un problème d'optimisation combinatoire appartient à la catégorie NP-complet, c'est-à-dire, il est dans la classe de complexité NP (Non déterministe Polynomial) et ses domaines d'application sont très nombreuses : problème de logistique, de transport aussi bien de marchandises que de personnes, et plus encore des problèmes d'ordonnancements qui consiste à calculer une tournée d'un vendeur visitant un ensemble de villes et retournant à la ville de départ. Ce

## Chapitre IV : Résolution de problématique

---

vendeur doit visiter une et une seule fois chaque nœud (la tournée correspond à un cycle Hamiltonien) dans un graphe non orienté complet et value. L'objectif pour le TSP est de minimiser la distance totale parcourue.

### P 2.3 Formulation du modèle :

Traveling Salesman Problem (TSP) consiste à trouver la plus courte tournée permettant de visiter n clients de l'amas et de revenir au point de départ qui est le centre de traitement en ne visitant chaque client qu'une seule fois.

### P 2.4 Les paramètres du sous problème 2

$D_{ii'}$  : Distance entre le client  $i$  et  $i'$  qui appartient aux même amas  $j$  (calculé par google maps)

La formulation mathématique de P 2 est défini par les relations ci-dessus :

#### ✓ La fonction objective

$$MIN Z2 = \sum_i^r \sum_{i'}^r D_{ii'} Z_{ii'} \dots \dots \dots (2)$$

#### ✓ Les contraintes

$$\sum_{i'=1}^r Z_{ii'} = 1, \quad i' = 1, 2, \dots, r; i' \neq i \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^r Z_{ii'} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, r; i' \neq i \dots \dots \dots (2.2)$$

$$u_i - u_{i'} + rZ_{ii'} \leq r - 1; i, i' = 2, 3, \dots, r; i' \neq i \dots \dots (2.3)$$

$$u_{i'} \geq 0, u_i \geq 0 \dots \dots \dots (2.4)$$

#### ✓ Les variables de décision

$Z_{ii'} = 1$  si le lien est utilisé entre le client  $i$  et le client  $i'$

0 sinon

**Les contraintes (2.1) et (2.2)** imposent au moins d'un lien en amont et lien en aval d'un client.

## Chapitre IV : Résolution de problématique

Les contraintes (2.3) et (2.4) déterminent le classement d'un client pendant la tournée dans un amas de client.

Les résultats de P 2 sont :

Les distances parcourus dans chaque amas à un temps :

Amas	Distance parcourue	Temps de parcoure	Temps de charge décharge	Temps total
A1	64.68 km	2 h 24 mn	31 mn	2 h 55 mn
A2	24.7 km	55 mn	12 mn	1 h 7 mn
A3	33.88 km	1 h 15 mn	16 mn	1 h 31 mn
A4	77 km	2 h 51 mn	37 mn	3 h 28 mn
A5	58.52 km	1 h 10 mn	28 mn	1 h 38 mn
A6	61.6 km	1 h 17 mn	30 mn	1 h 47 mn

Tableau IV. 3 : temps de tournée estimé pour chaque amas

L'interprétation des résultats du tableau IV. 4, nous informe sur le temps total qui est 12 h 26 mn.

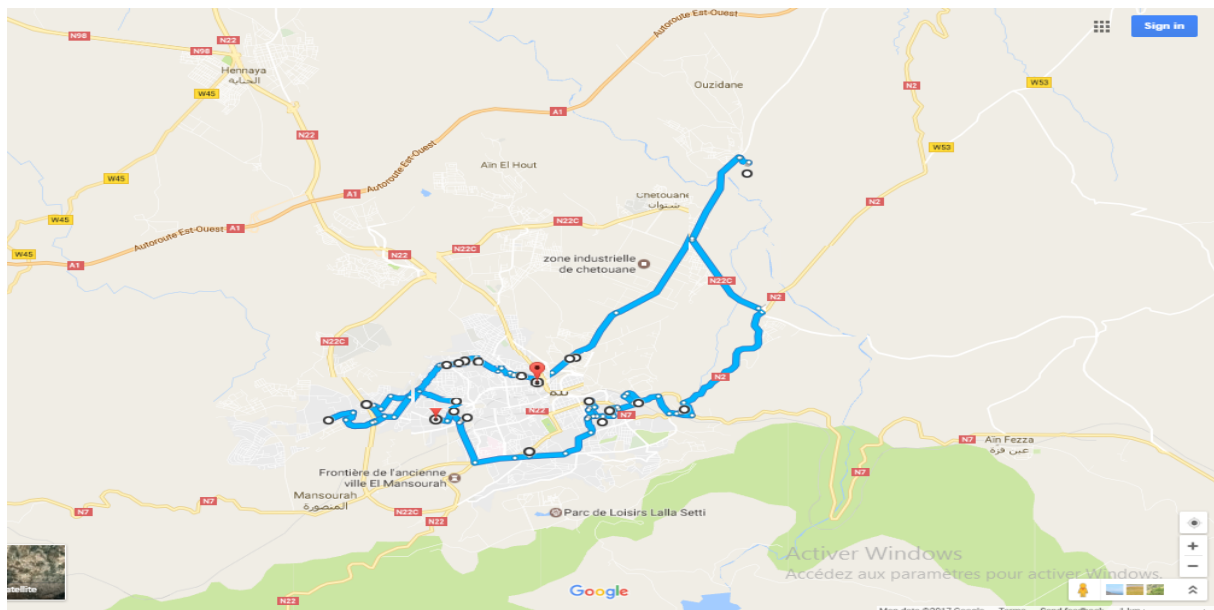


Figure IV. 5 : La tournée de véhicule pour l'amas de clients 1



Figure IV. 6 : La tournée de véhicule pour l'amas de clients 2



Figure IV. 7 : La tournée de véhicule pour l'amas de clients 3

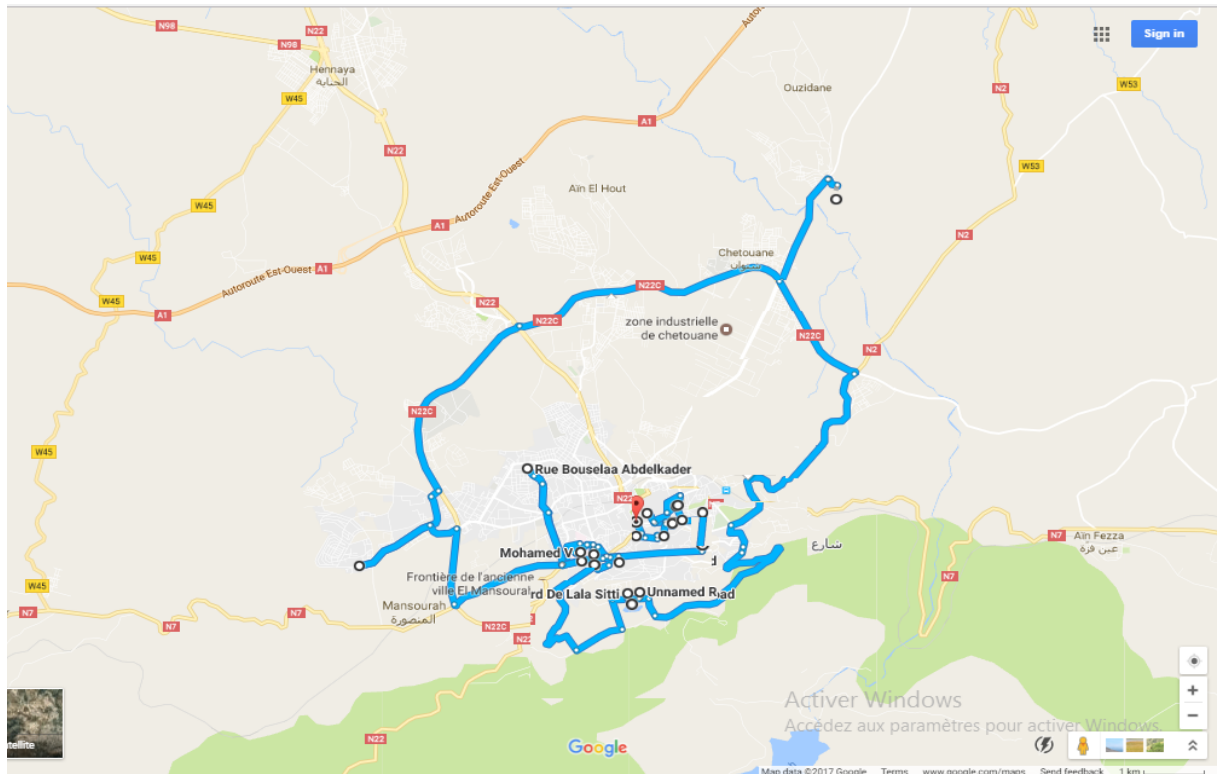
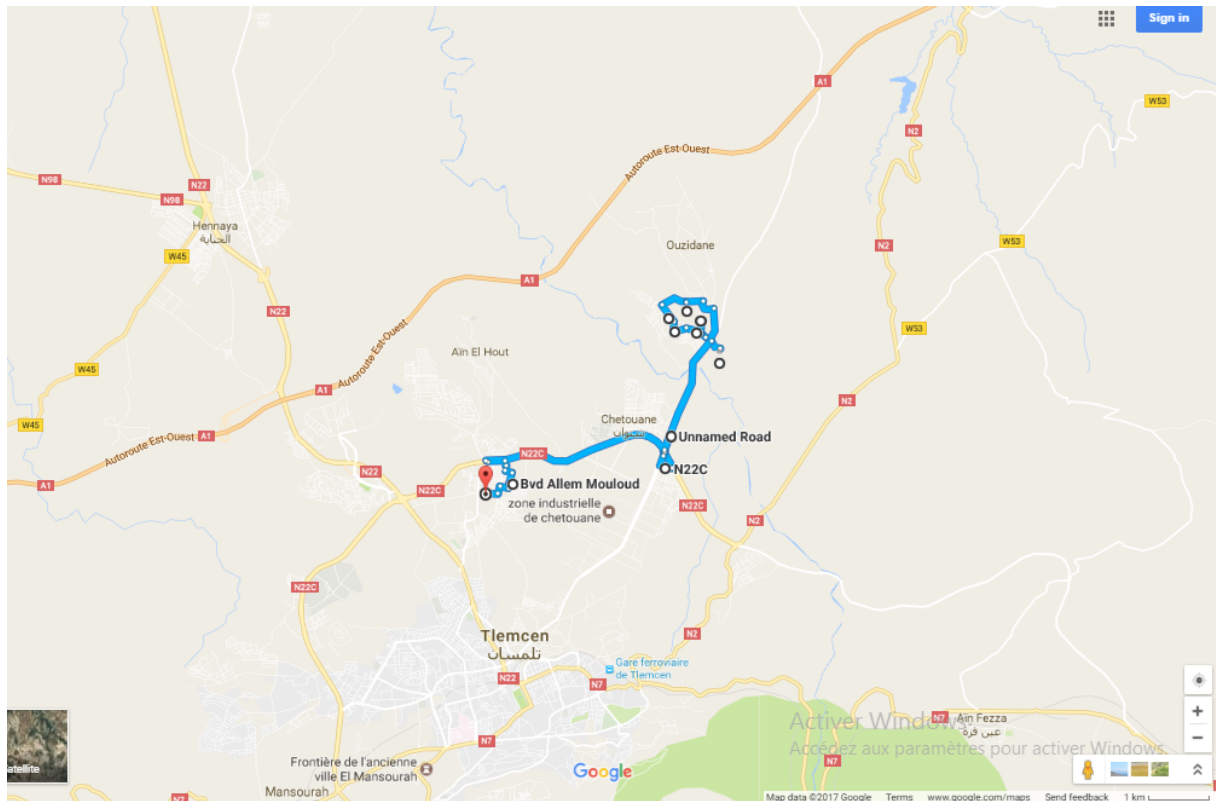


Figure IV. 8 : La tournée de véhicule pour l'amas de clients 4



Figure IV. 9 : La tournée de véhicule pour l'amas de clients 5



**Figure IV. 10 :** La tournée de véhicule pour l’amas de clients 6

### IV.4 Conclusion

Dans cette partie d’optimisation, nous avons pu localiser les points de collecte et les affecter aux différents amas de clients (P1). Ensuite nous avons résolu le problème de routage ou encore problèmes de tournées (P2) à travers les différents clients (amas des clients). Rappelons que nous nous sommes limité au départ à 104 points de collectes regroupant les hôtels, les restaurants, les cités universitaires et les comptines scolaires, mais nous pouvons aller vers une taille plus large en encourageons d’autres sources de déchets ménagers à collaborer dans l’extension de la taille de la chaîne logistique inverse.

Le chapitre suivant va parler sur le dimensionnement d’une station de compostage, faire une analyse technico économique et financière pour connaître la rentabilité de ce projet.

# **Chapitre V :**

Implantation d'une station de  
compostage



## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

---

### V.1 Introduction

Après avoir vu les différents procédés de compostage, nous préconisons à faire un dimensionnement d'une station de compostage avec aération forcée en casiers, pour les meilleures caractéristiques qu'elle représente : faible impact sur l'environnement, coût réduit et moins d'espace pour sa réalisation. nous utiliserons le logiciel architectural **Sweet Home 3D version 5.4** pour concevoir tous les plans du centre de compostage.

Nous allons ainsi dans ce chapitre estimer le cout d'investissement pour un tel projet et étudier la rentabilité afin de voir si la valorisation des déchets organiques est bénéfique ou pas pour l'investisseur.

### V.2 Etude technico-administrative

Représente l'ensemble des opérations administrative à mener au préalable du lancement de l'entreprise ;

#### V.2.1 Le registre de commerce

Une inscription au Centre National du Registre de Commerce par abréviation CNRC est obligatoire avant d'entamer toute activité économique à but lucratif.

#### V.2.2 Type de l'entreprise

La petite et moyenne entreprise (PME) est définie, quel que soit son statut juridique, comme étant une entreprise de production de biens et de services employant de 1 à 250 personnes, dont le chiffre d'affaires annuel n'excède pas 2 milliards de DA ou dont le total du bilan annuel n'excède pas 500 millions de DA, qui respecte le critère d'indépendance.

La petite entreprise (PE) est définie comme une entreprise employant de 10 à 49 personnes et dont le chiffre d'affaires annuel n'excède pas 200 millions de Dinars ou dont le total du bilan n'excède pas 100 millions de Dinars (Kacel B, 2014).

#### V.2.3 Partenariat avec l'A.N.D.I : [V.1]

Le partenariat avec l'Agence Nationale du Développement de l'Investissement (A.N.D.I) à pour but de faire bénéficier l'entreprise de la franchise TVA et des facilités d'accès au prêt bancaire sans intérêt.

### **Présentation de l'A.N.D.I :**

Créée dans le cadre des réformes de 1ère génération engagées en Algérie durant les années 1990, l'Agence en charge de l'investissement a connu des évolutions visant des adaptations aux mutations de la situation économique et sociale du pays. Initialement APSI, Agence de Promotion, de Soutien et de Suivi de l'Investissement de 1993 à 2001, puis ANDI, Agence Nationale de Développement de l'Investissement, cette institution gouvernementale s'est vue confier la mission de facilitation, de promotion et d'accompagnement de l'investissement.

### **Régimes d'avantages dédiés à l'investissement**

Les projets d'investissement peuvent bénéficier d'exonération et réduction fiscale selon la localisation et l'impact des projets sur le développement économique et social (Kacel B, 2014).

#### **a. Phase de réalisation :**

- Exonération des droits de douanes sur les équipements non exclus, importés et entrant directement dans la réalisation de l'investissement
- Franchise de TVA sur les biens et services non exclus, importé ou acquis localement, entrant directement dans la réalisation de l'investissement ;
- Exemption du droit de mutation à titre onéreux pour toutes les acquisitions immobilières, effectuées dans le cadre de l'investissement concerné ;

#### **b. Phase d'exploitation:**

Pour une durée de trois (3) ans pour les projets créant jusqu'à cent (100) emplois au moment du démarrage de l'activité et après constat d'entrée en activité établi par les services fiscaux à la diligence de l'investisseur:

- exonération de l'Impôt sur les Bénéfices des Sociétés (IBS).
- exonération de la Taxe sur le Chiffre d'Affaires (TAP).

Cette durée est portée à cinq (05) ans pour les projets créant cent un (101) emplois, au moment du démarrage de l'activité, et/ou pour les investissements dans les filières stratégiques dont la liste est fixée par le conseil national de l'investissement.

### V.3 Etude dimensionnelle de la station de compostage :

#### V.3.1 Evaluation de la production des déchets à composter

Dans l'optique de création d'une filière de valorisation des déchets alimentaires organiques ainsi que la sciure de bois par compostage, nous avons estimé dans notre étude la quantité de déchets collectée à 37 Tonnes/j soit 13505 T/an, pour une densité moyenne  $0.5T/m^3$ . Cette estimation est issue d'une petite enquête sur terrain que nous avons effectué auprès de quelques cités universitaires et de quelques institutions (écoles, restaurants,...).

Pour des raisons environnementales (émission des odeurs olfactives) ainsi, la ventilation naturelle est inadaptée au traitement des déchets plus humide que sont les déchets de cuisine, nous allons faire un dimensionnement d'une plateforme de compostage en casiers à aération forcée qui reçoit 40 T/j soit 15000 T/an.

Ainsi on obtient par calcul un volume de déchets bruts journalier nécessaire au compostage de  $80 m^3$

#### V.3.2 Dimensionnement de l'unité de compostage en casiers à aération forcée

##### V.3.2.1 Réception des matières premières

Il est indispensable de procéder à une pesée des produits entrants. Cette pesée se fait au niveau d'un pont-basculé.

##### V.3.2.2 Stockage de déchets bruts

Une aire de stockage qu'elle soit couverte permet de stocker les déchets bruts, nous nous basons sur un flux d'entrée de 40 T/j, soit d'une capacité de  $80 m^3$

Il est recommandé de former des andains de taille (2 hauteur, 4 largeur) et en prenant en compte la surface à réserver pour les manœuvres et la circulation,

Le volume des andains à base rectangulaire et tranche triangulaire :

$$\frac{\text{Longueur} \cdot \text{Largeur} \cdot \text{Hauteur}}{2} = \text{Volume de l'andain en } m^3$$

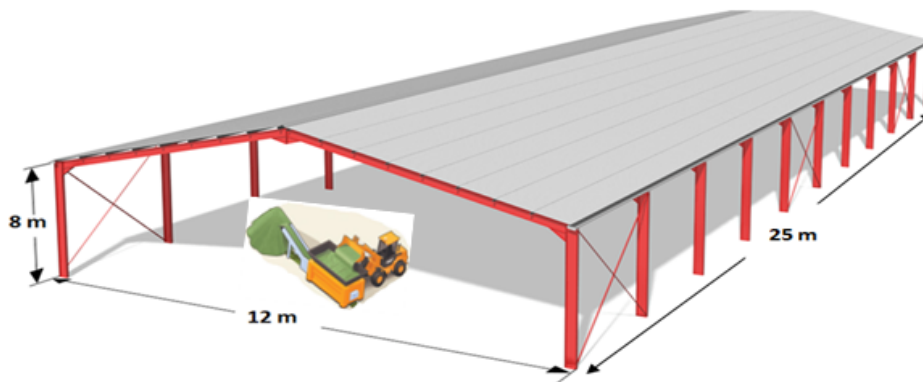
$$V=(B \cdot H \cdot L)/2 \rightarrow L=(80 \cdot 2)/(2 \cdot 4) = 20 \text{ m ; on obtient } 200 \text{ m}^2 \text{ environ.}$$

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

Pendant le stockage, des ouvriers font le triage en éliminant les déchets non dégradables, ce qui représente un pourcentage minime parce que la collecte vise essentiellement les déchets organiques qui ont été préalablement triés.

### V.3.2.3 Broyage des déchets

Une aire est réservée au broyat dont il occupe une surface de **100 m<sup>2</sup>**, en respectant les mêmes dimensions pour les andains.



**Figure V. 1:** les dimensions du hangar réservé pour le triage et broyage des déchets

### V.3.2.4 Gestion du compostage

#### V.3.2.4.1 Gestion en lots

Chaque lot représente la production de 7 jours des déchets, le compost subit les opérations suivantes :

- 🚧 La phase fermentation de 4 semaines en casiers à ventilation forcée.
- 🚧 La phase de maturation de 8 semaines en casiers

On construit un casier pour chaque semaine du processus, de telle sorte que l'on puisse suivre facilement l'évolution de chaque lot.

Pour la phase de fermentation, il y aura 4 casiers parce qu'il faut attendre 4 semaines pour que le casier devienne disponible à nouveau.

Pour la phase de maturation qui dure 8 semaines, c.à.d. le double de la phase de fermentation, il y aura 8 casiers.

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

Aussi, pour confronter les fluctuations de la commercialisation, il est prévu de construire 3 casiers d'une capacité de 3 mois pour le stockage du compost final.

La gestion sera comme démontré dans le tableau ci-dessous :

Semaine	Casiers de fermentation				Casiers de maturation								Casiers de stockage		
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3
1	A														
2	A	B													
3	A	B	C												
4	A	B	C	D											
5	E	B	C	D	A										
6	E	F	C	D	A	B									
7	E	F	G	D	A	B	C								
8	E	F	G	H	A	B	C	D							
9	I	F	G	H	A	B	C	D	E						
10	I	J	G	H	A	B	C	D	E	F					
11	I	J	K	H	A	B	C	D	E	F	G				
12	I	J	K	L	A	B	C	D	E	F	G	H			
13		J	K	L	I	B	C	D	E	F	G	H	A		
14			K	L	I	J	C	D	E	F	G	H	A+B		
15				L	I	J	K	D	E	F	G	H	A+B+C		
16					I	J	K	L	E	F	G	H	A+B+C+D		
17					I	J	K	L		F	G	H	A+B+C+D	E	
18					I	J	K	L			G	H	A+B+C+D	E+F	
19					I	J	K	L				H	A+B+C+D	E+F+G	
20					I	J	K	L					A+B+C+D	E+F+G+H	
21						J	K	L					A+B+C+D	E+F+G+H	I
22							K	L					A+B+C+D	E+F+G+H	I+J
23								L					A+B+C+D	E+F+G+H	I+J+K
24													A+B+C+D	E+F+G+H	I+J+K+L
25														E+F+G+H	I+J+K+L
26														E+F+G+H	I+J+K+L
27														E+F+G+H	I+J+K+L
28														E+F+G+H	I+J+K+L
29															I+J+K+L
30															I+J+K+L
31															I+J+K+L
32															I+J+K+L
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3

Tableau V. 1: gestion de stockage dans les casiers

Dans ce tableau on explique la gestion des déchets qui arrivent quotidiennement à la station de compostage de telle sorte que chaque casier sera dimensionné pour avoir une capacité de stockage de 7 jours,

Les lettres (A,B,C,D...) représentent chacune les déchets d'une semaine (un lot), au démarrage pour la première semaine le lot « A » occupe le premier casier, qui demeure 4 semaines « AAAA », ensuite le deuxième lot « B » démarre à la deuxième semaine pour occuper le deuxième casier pendant 4 « BBBB » semaines est ainsi de suite.

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

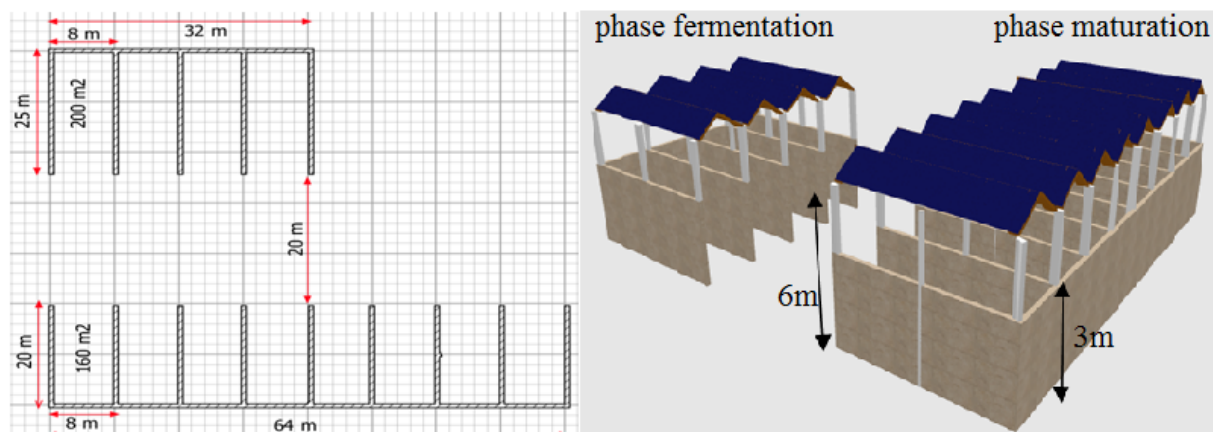
Après la phase de fermentation le lot « A » est transporté vers un casier de maturation qui va rester 8 semaines « AAAAAAAA », ensuite, il passe au tamisage pour avoir le compost mûr, ce dernier se range dans l'un des casiers de stock final (le stockage est prévu pour 3 mois), la même chose pour les autres lots.

Les casiers de fermentation sont dimensionnés pour recevoir des volumes de **560 m<sup>3</sup>** ( $80\text{m}^3 \times 7\text{j} = 560\text{m}^3$ ). Les andains ne devront pas dépasser 3 m de hauteur, les casiers ont une capacité de **600 m<sup>3</sup>** (**25 m \* 8 m \* 3 m**), le couvert des casiers doit être à la hauteur de 3 m pour permettre la manipulation des andains (la hauteur de casier soit 6 m).

On construit 4 casiers d'une surface **800 m<sup>2</sup>**

Parallèlement, on construit 8 casiers pour la phase de maturation, ils accueillent des andains dont le volume a diminué de 20% selon les résultats de la modélisation. Pour accueillir les andains de 448 m<sup>3</sup>, ils ont donc une capacité de **480 m<sup>3</sup>** avec (**20 m \* 8 m \* 3 m**).

Leur surface totale est **1280 m<sup>2</sup>**



**Figure V. 2:** les casiers de la fermentation et de la maturation

### V.3.2.4.2 Système d'aération des andains et suivis du taux d'O<sub>2</sub>

Il est recommandé de prendre un débit d'aération massique moyen en continue de 0,5 m<sup>3</sup>/tMSO/min d'air et que la pompe délivre un débit horaire de 3200 m<sup>3</sup>/h. D'après la bibliographie (cf Mustin, 1999), en conséquence on installe pour chacun des 4 casiers de phase active un ventilateur centrifuge HP de 4 kw de puissance. [V.3]

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

A l'intérieur de chaque casier, 7 lignes de tube PVC perforé sont installées, distancées de 1 m pour aspirer l'air à travers le compost en assurant l'aération continue.

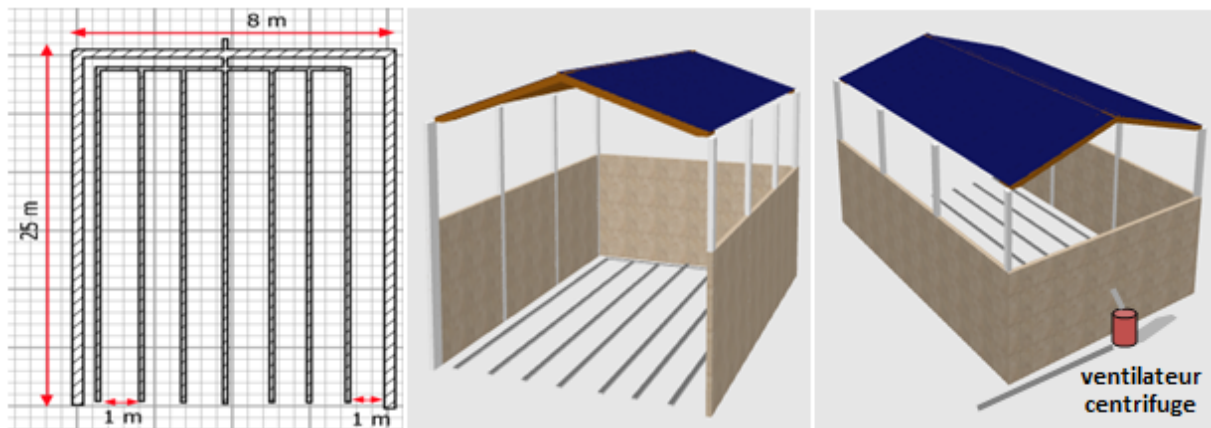


Figure V. 3: le système d'aération forcée par aspiration

### V.3.2.4.3 Criblage et ensachage

Il est nécessaire de cribler le compost afin de séparer les éléments grossiers ( $\phi > 20 \text{ mm}$ ) du compost final. Une fois séparé, le refus qui représente moins de 2% du volume de l'andain est renvoyé vers le broyeur, le crible choisi est un cribleur de **16 kW** criblant à un débit variant de 20 à 35  $\text{m}^3$ .

Une aire de 200  $\text{m}^2$  couverte est réservée pour le criblage.

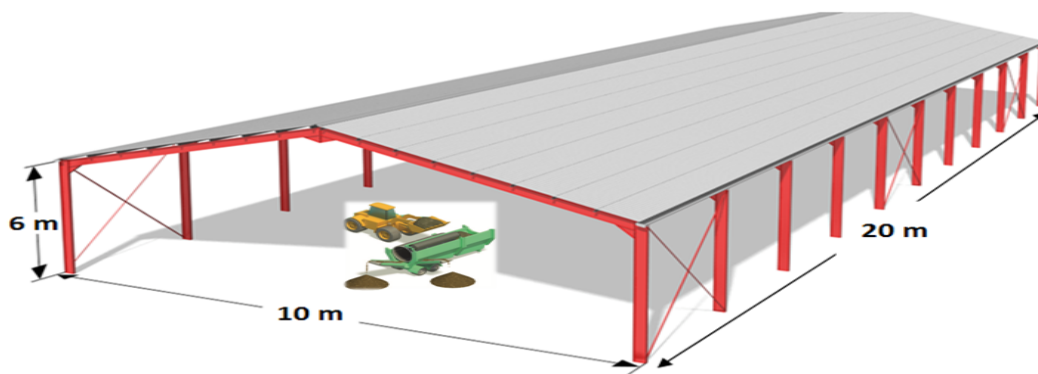


Figure V. 4 : les dimensions du hangar réservé au broyage

Aussi une aire de 200  $\text{m}^2$  couverte (6 m haut) réservée pour l'ensacheuse. Son rôle consiste à mettre le compost dans des sachets.

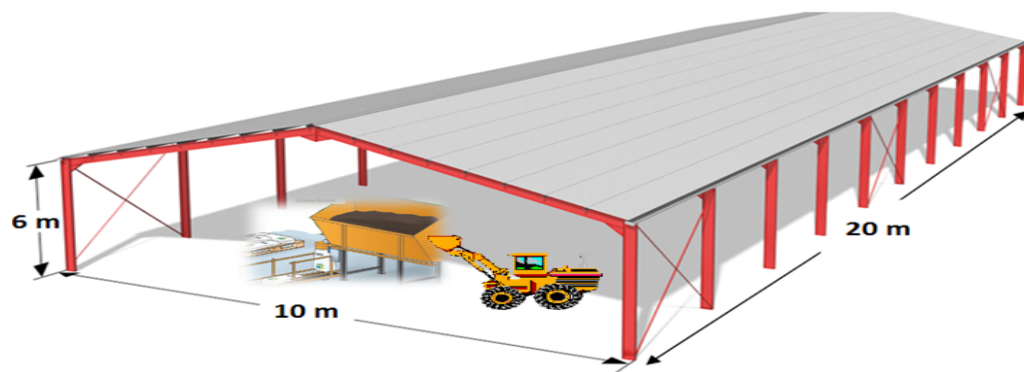


Figure V. 5 : les dimensions du hangar réservé à l'ensachage

### V.3.2.4.4 Stockage du compost

Le stockage du compost fini se fait dans trois casiers de dimension (25L\*8L\*3H) pour un volume de  $600 \text{ m}^3$ , sachant que la densité du compost final est en moyenne de  $1.1 \text{ T/m}^3$  et le rendement 60%, chacun possède une capacité de **672 T**. Le pouvoir de stockage est 3 mois.

Ainsi, un autre casier (15\*8\*3) de surface  $120 \text{ m}^2$  est réservé pour le stockage de compost en sac.

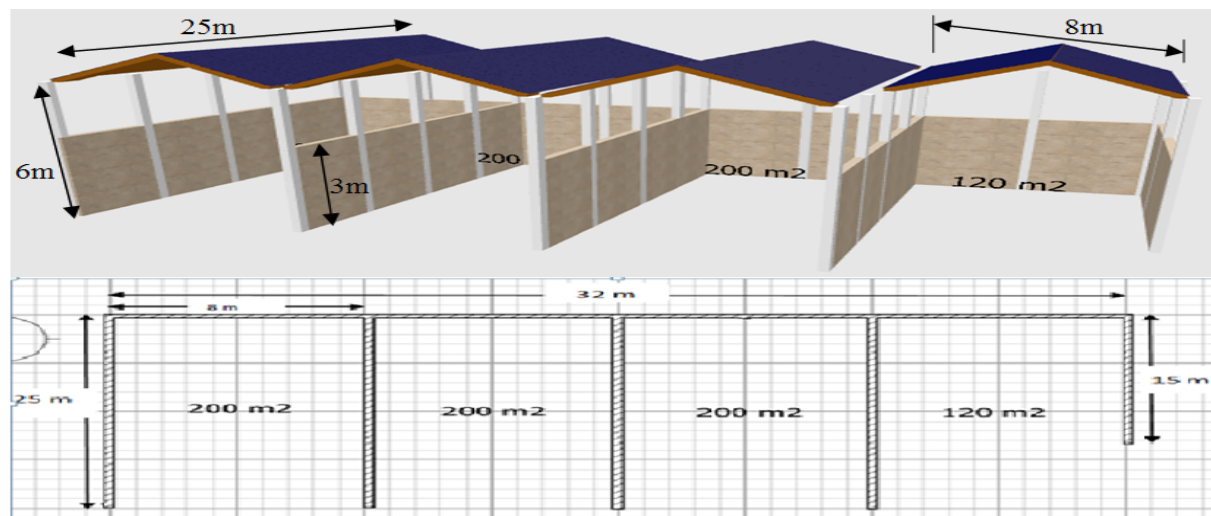


Figure V. 6 : les casiers de stockages du compost final



### V.3.2.4.5 Conditionnement du compost

Le mode de conditionnement du compost est également lié à l'aspect commercialisation, le compost peut être vendu en vrac ou emballé dans des sacs de différents volumes. L'emballage améliore la présentation du produit, mais exige un investissement supplémentaire. L'emballage en sacs de 25 litres peut être très adapté pour les pépinières et pour les plantes ornementales, mais exige un compost mûr et de bonne qualité.

### V.3.2.5 Le contrôle des odeurs

Il s'agit d'un point particulièrement important que l'on ne doit pas négliger. En théorie, la maîtrise et le respect des cinq principaux paramètres que sont la température, l'humidité, le ratio carbone/azote, le pH et l'oxygénation assurent l'absence d'odeurs désagréables tout au long du processus de compostage.

#### V.3.2.5.1 Le lixiviat

L'absence de lixiviation représente au départ un important facteur réduisant la génération d'odeurs et garantissant évidemment le maintien de 100% de ces matières dans le compost.

Les jus de la plate-forme sont collectés par les caniveaux dans un bassin de rétention  $200 \text{ m}^3$  ( $20\text{m} \times 5\text{m} \times 2\text{m}$ ) sur une surface de  $100 \text{ m}^2$ , munie d'une pompe de relevage.

Ils sont ensuite repris pour l'arrosage des andains en phase de fermentation afin de garder le taux d'humidité à 60%.

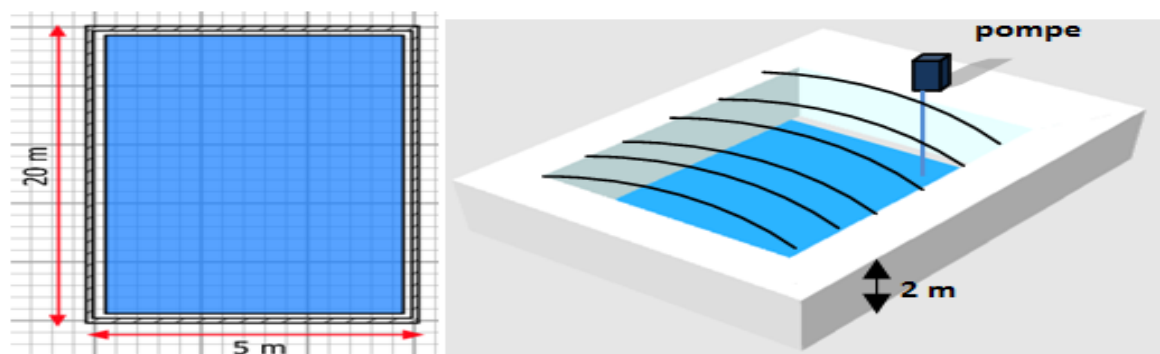
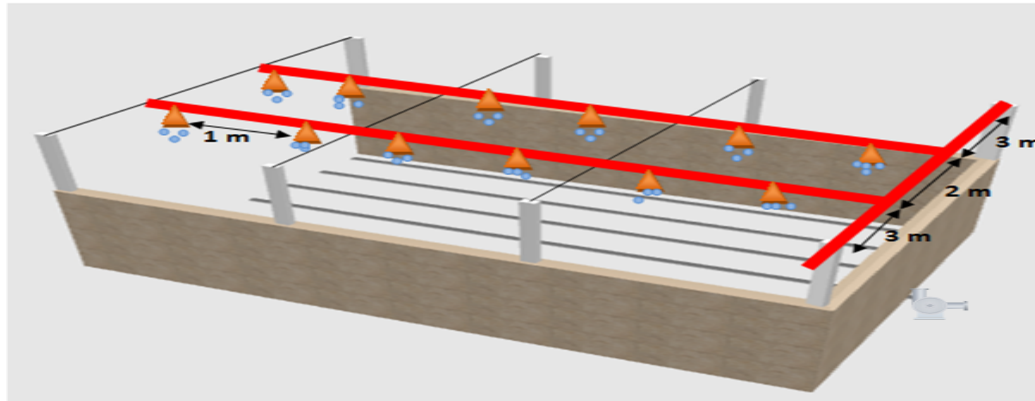


Figure V. 7 : Bassin de rétention du lixiviat(

### V.3.2.5.2 Système d'arrosage

Pour assurer un taux d'humidité de 60% à la phase de fermentation une canalisation d'eau installée dans chaque casier, composée de deux tubes en acier distancée de 2m l'une de l'autre et elles sont munies par des douchettes (entre deux douchettes une distance de 1m).

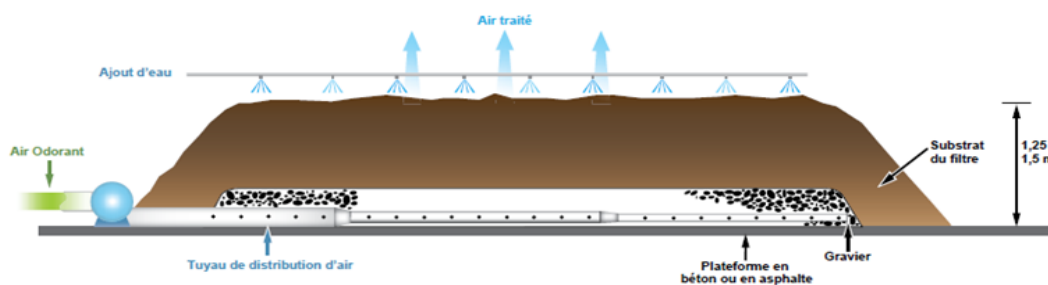


**Figure V. 8 :** le système d'arrosage dans un casier à la phase de fermentation

### V.3.2.5.3 Biofiltres ouverts [V.3]

Le principe du biofiltre consiste à forcer le passage du gaz à traiter à travers un matériau de garnissage colonisé par des micro-organismes qui dégradent les contaminants, réduire les composés sulfurés, l'ammoniac et les odeurs en maintenant un taux d'humidité constant. Le choix du compost comme matériau garnisseur a été motivé par plusieurs raisons. Tout d'abord, son coût d'achat faible puisqu'il est produit directement sur place.

La durée de vie du biofiltre est inférieure à 5 ans due au phénomène de tassement.



**Figure V. 9 :** une représentation schématique d'un système à biofiltre ouvert type

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

L'estimation des dimensions du biofiltre est ensuite résumée dans le tableau ci-dessous :

Paramètres du biofiltre	Valeurs calculées	Intervalles de référence
CE : capacité d'élimination (g/m <sup>3</sup> /h)	50	1-100
Qgm : débit de gaz à traiter par masse de MS (m <sup>3</sup> /min/tMS0)	1	/
Qg : débit de gaz en entrée (m <sup>3</sup> /h)	29988	50-300 000
Sge : concentration en polluant en entrée (g/m <sup>3</sup> )	0,759	0,01-1
Sgs : concentration en polluant en sortie (g/m <sup>3</sup> )	0,076	/
Vr : Volume du biofiltre (m <sup>3</sup> )	409,4	100-3000
Re : rendement du biofiltre (%)	90	90-99
U : vitesse du gaz dans le biofiltre (m/h)	73,2	100-500
S : section du biofiltre (m <sup>2</sup> )	409,4	100-3000
H : hauteur du biofiltre (m)	1	0,5-2,5

**Tableau V. 2 :** Résultats du dimensionnement de la biofiltration des effluents gazeux issus de la phase active du compostage [V.2]

Selon le tableau, les quatre pompes de notre système injectent 12 800 m<sup>3</sup>/h d'air, le volume du biofiltre sera de 175 m<sup>3</sup>. Les dimensions du biofiltre (25m\*4m\*2m) pour une surface de 100m.

### V.3.2.6 Bâtiment et génie civil

La réalisation du projet nécessite ; un bâtiment administratif de 80m<sup>2</sup>, un laboratoire de 12m<sup>2</sup>, une salle de séjour +vestiaire+douche+ WC de 40m<sup>2</sup>, un magasin de 40m<sup>2</sup> et une cabine de contrôle de 9m<sup>2</sup>.

La surface totale prévue pour ce projet est 10153 m<sup>2</sup> (143m \* 71m) dont des espaces pour la circulation.



**Figure V. 10 :** les dimensions de l'administration, laboratoire, salle de séjours et magasin

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

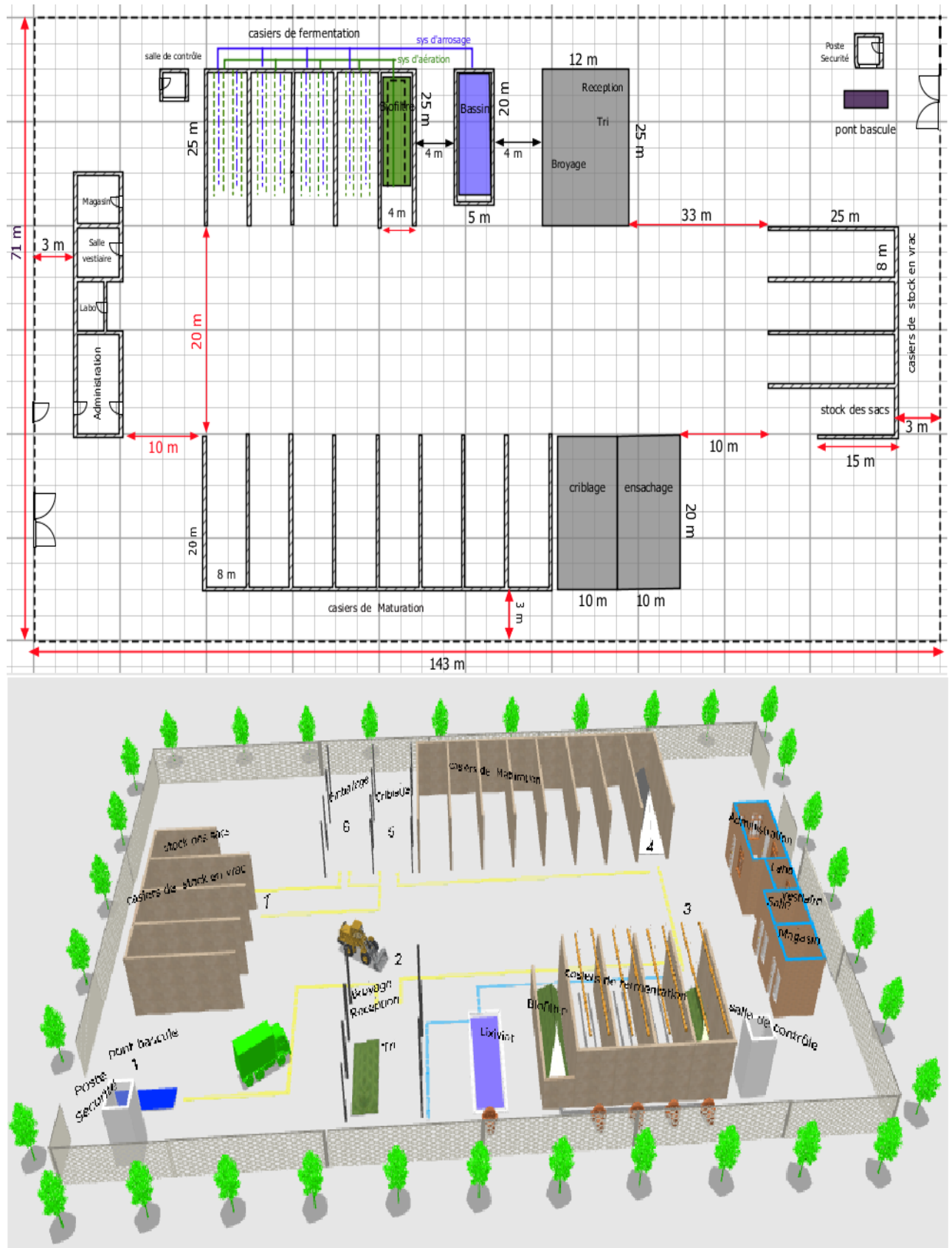


Figure V. 11 : Schéma architectural de la station de compostage (Sweet Home 3D)

### V.4 Etude techno-économique

Les principaux coûts financiers en investissement qui sont liés à l'implantation d'une station de compostage peuvent être décomposés selon certaines rubriques à savoir :

- Coût relatif terrain
- Coût relatif au bâtiment et génie civil
- Coût relatif aux équipements de production et outillage
- Coût relatif aux Matériels de Bureau et informatique
- Coût relatif aux matériels roulants

#### V.4.1 Terrain

L'endroit d'implantation de la station de compostage est choisi selon deux critères : il doit être un peu loin de la ville de Tlemcen et dans une zone forestière.

La superficie nécessaire pour implanter la station de compostage est estimée à 10153 m<sup>2</sup> (soit 1 Hectare 153 m<sup>2</sup>) et de dimension « **143 m\*71 m** », alors que l'achat du terrain concerne une superficie de 4 hectares afin de garder une zone forestière autour du site et la possibilité d'agrandir la plate-forme en cas de besoin. Le prix du terrain est de 1 000 000 DA/hectare, Ce prix est celui des terrains loin du centre ville de Tlemcen vendu par un propriétaire, le prix total est 4 000 000 DA



**Figure V. 12 :** Vue aérienne du site : zone d'implantation de la station de compostage

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

### V.4.2 Bâtiment et génie civil

Ces couts sont estimés selon le plan d'implantation architectural que nous avons réalisé et le dimensionnement de toutes les bâtisses, en calculant la surface nécessaire pour le projet.

Pour les casiers on a calculé la surface des murs, la surface du toit couvrant, le métrage du tube PVC destiné au système d'aspiration d'air et le métrage des tubes en acier requis pour le système d'arrosage

L'entreprise sera clôturé (barrières et grille), afin d'empêcher l'accès aux gens et aux animaux, le périmètre est calculé à partir du plan architectural.

Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	P.U (DA)	Montant (DA)
Etudes géotechniques et devis				150 000
Terrassement (143m*71m)	M <sup>2</sup>	10 153	800	8 122 400
Plateforme 10 cm en béton de propriété dosé 150 kg/m <sup>3</sup>	M <sup>2</sup>	10 153	1200	12 183 600
Bassin (5m*20m)+un couvercle	M <sup>3</sup>	200		2 000 000
Les murs 25 cm	M <sup>2</sup>	1 696	2500	4 240 000
Les Hangars en charpente métallique (CGIM ROUIBA)	M <sup>2</sup>	3 200	6645.5	21 265 600
Clôture en grille et barrière (2.5 m haut)	M	428	3200	1 369 600
Cabine de salle de contrôle	M <sup>2</sup>	9		600 000
Magasin	M <sup>2</sup>	40		1 400 000
Laboratoire	M <sup>2</sup>	12		800 000
2 douches, WC, vestiaire, salle de séjour	M <sup>2</sup>	40		2 000 000
Administration + sanitaire	M <sup>2</sup>	80		3 500 000
Installation électrique				2 000 000
Tube pvc φ90, PN6	M	950	200 (+30%)	247 000
Tube pvc φ200, PN10	M	50	1000 (+30%)	65 000
Tube acier φ90	M	270	1400 (+30%)	491 400
Douchettes		56	500 (+30%)	36 400
Electrovanne 24v		6	3900 (30%)	30 420
<b>TOTAL</b>				<b>60501 420 DA</b>

Tableau V. 3 : le cout d'investissement à l'implantation des immobiliers

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

### V.4.3 Equipements de production et outillage

Le tableau suivant présente le détail des équipements prévus pour la station de compostage ;

Désignation	Quantité	P U (DA)	Montant (DA)
Broyeur à cisaillement (55 kW), 30 m <sup>3</sup> /h	01	3600 000	3 600 000
Ventilateur centrifuge HP 4 kW	04	460 000	1 840 000
Pompe d'eau 11.5 kW, 50 m <sup>3</sup> /h	01	260 000	260 000
Crible 16 kW, 35 m <sup>3</sup> /h	01	1 970 000	1 970 000
Ensacheuse 5 kW, 120 sac/h	01	860 000	860 000
Pont bascule métallique 8*3m, 30 T	01	2 620 000	2 620 000
Bac de 1100 L	56	20 000	1 120 000
Bac de 660 L	19	15 500	294 500
Bac de 240 L	64	8 000	512 000
Fourches	10	400	4 000
Pelles	10	500	5 000
Brouettes	6	3 500	21 000
Gants	10	200	2 000
Combinaison de travail	6	2 500	15 000
Botte	6	600	3 600
Divers matériel labo			500 000
Thermomètre	04	3 000	12 000
Sonde PT100, L=2 m	04	17 000	106 000
Balance (100 kg)	01	42 000	42 000
Tuyaux 100 m	02	3 000	6 000
<b>TOTAL</b>			<b>13 93 100 DA</b>

**Tableau V. 4** : les équipements de production et outillage

NB : Le transport est assuré par le fournisseur

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

### V.4.4 Matériels de Bureau et informatique

Le matériel de bureau et informatique nécessaire pour cette entreprise est résumé dans le tableau suivant :

Composantes	Quantité	P U (DA)	Montant (DA)
Bureau 160cm	6	16000	96 000
Chaise de bureau	6	3000	18 000
Chaise normal	20	1000	20 000
Armoire métallique (220*200*40)	6	16 000	96 000
PC	07	32 000	224 000
Imprimante	02	9000	18 000
Fax	01	20000	20 000
Appareil telephone	06	2200	13 200
Automate de la gestion des casiers	01	400 000	400 000
<b>TOTAL</b>			<b>905 200 DA</b>

**Tableau V. 5 :** matériel de bureau et informatique

NB : tous les achats sont exonérés des taxes

### V.4.5 Matériels roulants

L'entreprise aura à sa disposition un camion benne tasseuse destiné pour la collecte des déchets, un chargeur sur pneus nécessaire pour la manipulation des déchets et le compost à l'intérieur de la station.

Composantes	Quantité	P U (DA)	Montant (DA)
Benne tasseuse Foton 12 m <sup>3</sup> , 7 T	01	6 500 000	6 500 000
Chargeuse sur Pneus 924 Hz	01	17 000 000	17 000 000
<b>TOTAL</b>			<b>23 500 000 DA</b>

**Tableau V. 6 :** les matériels roulants nécessaires

### V.4.6 Les frais du personnel :

Le nombre de salariés a été choisi de telle sorte que le processus de production sera assuré pendant toute la semaine, les agents de contrôle (le contrôle permanent de la phase active) et les agents de sécurité travaillent sur le régime 3\*8, en revanche, les autres salariés travaillent 8 heures.

Nous estimons les besoins du projet en matière de main d'œuvre à 19 personnes réparties comme suit :



## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

Catégorie	Tâche	N°	Salaire mensuel	Salaire annuel
DG	Prendre en charge les Démarches administrative et de la gestion de l'unité	01	50 000	600 000
Ingénieur de qualité	Analyse et assure la conformité du compost.	01	40 000	480 000
Agent de contrôle	Assure le bon fonctionnement de l'automate contrôlant la phase active	03	30 000	1 080 000
Technicien	L'entretien des machines	02	35 000	840 000
Ouvriers	Agents polyvalent	04	27 000	1 296 000
Chauffeur	Conduire la benne tasseuse et chargeuse	02	30 000	720 000
Agent de sécurité	Gardiennage de l'installation	03	20 000	720 000
Comptable	Gérer la trésorerie	01	30 000	360 000
Magasinier	Gestion du stock	01	30 000	360 000
Agent commercial	Recevoir les clients et faire la vente	01	30 000	360 000
<b>TOTAL</b>		<b>19</b>	<b>568 000</b>	<b>6 816 000 DA</b>
Assurance 25%		19	142 000	<b>1 704 000 DA</b>

**Tableau V. 7 : le nombre d'employés et les charges salariales annuelles**

### V.4.7 Fonds de roulement

Le fonds de roulement correspond à trois mois des charges en attendant que le compost soit prêt pour la vente, il comprend :

Désignation	Montant (DA)
Carburant, électricité, eau (10000 DA/J)	900 000
Main d'œuvre	2 130 000
Assurance	500 000
Autre	1 000 000
<b>TOTAL</b>	<b>2 530 000 DA</b>

**Tableau V. 8 : calcul de fonds de roulement**

### V.4.8 Le coût du projet

Le coût total du projet est résumé dans le tableau suivant :

Désignation	Montant (DA)	(%)
Frais d'établissement	150 000	0.14
Terrain	4 000 000	3.72
Bâtiment et génie civil	60 501 420	56.34
Equipements de production et outillage	13 793 100	12.84
Matériels de Bureau et informatique	905 200	0.84
Matériels roulants	23 500 000	21.88
Fonds de roulement	4 530 000	4.22
<b>TOTAL</b>	<b>107 379 720 DA</b>	<b>100 %</b>

**Tableau V. 9 : le cout total du projet**

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

### V.5 Evaluation économique et financière

#### V.5.1 Le cout de revient

La quantité des déchets journalière est 37 T/j dont 5% représente un rejet non dégradable sélectionné par les agents de triage (les rejets seront renvoyé vers le CET), sachant aussi que pendant sa transformation en compost il perd 40 % de son poids, le compost qui en résulte est alors de 20.35 T/j, alors un lot de **142.45 T** sera prêt à vendre a la fin de semaine, soit **7407.4 T/an**

Le cout de revient pour 1T de compost sera calculé selon l'année croisière :

$$\text{cout de revient} = \frac{\text{charge direct et indirect}}{\text{quantité produite}}$$

Désignation	Quantité	P U (DA)	Montant annuel
Main d'œuvre	19		6 816 000
divers assurances			3 000 000
Electricité, carburant, eau			3 640 000
Sac de compost 25kg (30% de compost)	88888	50	4 444 400
<b>Total</b>			17 900 400 DA
<b>Cout de revient</b>			<b>2416.5 DA/T</b>

**Tableau V. 10** : le cout de revient pour une tonne de compost

#### V.5.2 Le chiffre d'affaire

Le marché algérien est presque vierge à la commercialisation du compost, on trouve seulement le compost de fumiers d'ovins qui se vendent à un prix de 2000 DA/T, en Tunisie le prix du compost arrive jusqu'à 9000 DA/T qui dépend de la composition du compost et de sa qualité.

Notre produit est composé de 80% de déchets alimentaires organiques, 20% de sciure de bois pour donner un bon rapport Carbone Azote (C/N= 19 à 30) qui contrôle l'équilibre microbiologique du sol, il sera commercialisé à un prix au voisinage du fumier d'ovins.

Ce produit est commercialisé soit en vrac soit en sacs de 25 kg, on préconise de vendre :

- 70 % en vrac destiné aux agriculteurs pour un prix de 4000 DA/T (4 DA/kg)
- 30% en sac de 25 kg pour les pépinières, jardinier et les habitants pour un prix de 250 DA/25kg (10 DA/kg), sachant que le sac vide coûte 50 DA

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

Le compost prend 12 semaines pour qu'il soit prêt, à l'année de démarrage seulement la quantité de 40 semaines sera vendue puisque le compost de 12 semaines juste avant la fin d'année sera prêt au début de l'année suivante (année croisière), cela va être compté avec le compost de la deuxième année (40+12=52 semaines), alors à partir de la deuxième année on aura la quantité de compost prévu 52 semaines.

Le résultat est résumé sur le tableau ci-dessous :

Produits	Année de démarrage		Année de croisière (2 <sup>ième</sup> année)	
	Quantité (T)	Valeur (DA)	Quantité (T)	Valeur (DA)
Compost vrac	3988.6	15 954 400	5185.18	20 740 720
Compost sacs	1709.4	17 094 000	2222.2	22 222 000
<b>TOTAL</b>	5698	<b>33 048 400 DA</b>	7407.4	<b>42 962 720 DA</b>

**Tableau V. 11** : le chiffre d'affaire pour l'année de démarrage et l'année de croisière

### V.5.3 Charge d'exploitation

Il comprend toutes les dépenses prévues pour la production du compost, résumé dans le tableau ci-dessous :

Rubrique	Année de demurrage		Année de croisière (2 <sup>ième</sup> année)	
	Quantité(T)	Valeur (DA)	Quantité (T)	Valeur (DA)
Main d'œuvre	19	6816000	19	6816000
Sac de compost	68376	3418800	88888	4444400
Electricité, carburant, eau		3640000		3640000
Assurance		3000000		3000000
Entretien et maintenance		200000		400000
R&D		500000		500000
Divers		900000		900000
<b>Total</b>		<b>18 474 800 DA</b>		<b>19 700 400 DA</b>

**Tableau V. 12** : le cout relatif à la charge d'exploitation

### V.5.4 Capacité d'autofinancement (CAF)

La capacité d'autofinancement est un facteur nécessaire pour déterminer la capacité de l'entreprise à payer les emprunts bancaires et autres charge, elle se calcule comme suit

- CAF = chiffre d'affaire – charge d'exploitation

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

Rubrique	Année de démarrage	Année de croisière (2 <sup>ème</sup> année)
Chiffre d'affaire	33 048 400	42 962 720
Charge d'exploitation	18 474 800	19 700 400
CAF	<b>14 573 600 DA</b>	<b>23 620 320 DA</b>

**Tableau V. 13 : la capacité d'autofinancement (CAF)**

### V.5.5 L'amortissement technique

Un amortissement des investissements est prévu en fonction de la durée de vie d'utilisation montrée dans le tableau ci-dessus :

Désignation	Montant (DA)	Durée de vie	Type d'amortissement	Amortissement annuel
Bâtiment et génie civil	60501420	20 ans	Linéaire	3 025 071
Equipements de production et outillage	13793100	05 ans	Linéaire	2 758 620
Matériels de Bureau et informatique	905200	05 ans	Linéaire	181 040
Matériels roulants	23500000	07 ans	Linéaire	3 357 142
<b>TOTAL :</b>				<b>9 321 973 DA</b>

**Tableau V. 14 : l'amortissement technique annuel**

NB : après 5 ans l'équipement de production et matériels de bureau seront amortis, le coût d'amortissement devient 6 382 213 DA, pour les 2 années suivantes (matériels roulants seront amortis), au-delà de 7 ans l'amortissement annuel sera seulement 3 025 071 DA jusqu'à 20 ans. Pour les 7 premières années, l'amortissement technique atteindra 60.15%

### V.5.6 Le schéma de financement

Pour un tel projet la Banque National d'Algérie (BNA) peut financer jusqu'à 80% du coût de projet, pour un crédit d'investissement à moyen terme allant de 3 à 7 ans.

Le projet est de **107 379 720 DA** et sera financé à hauteur de 20% sur fonds propres et 80% sur emprunt auprès de la Banque Nationale D'Algérie (BNA).

Le détail du financement se présente comme suit :

- Capitaux propres 21 475 944 DA
- Montant des emprunts 85 903 776 DA
- Taux d'intérêt 5.5%

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

- Durée du prêt 7 ans

Le remboursement de l'emprunt se fera par annuité constante d'un montant de **12 946 926 DA**

Montant du crédit	85 903 776						
Durée du crédit	7 ans						
Taux d'intérêt	5.5 %						
Rubrique	<b>Année 1</b>	<b>Année 2</b>	<b>Année 3</b>	<b>Année 4</b>	<b>Année 5</b>	<b>Année 6</b>	<b>Année 7</b>
Capital à remboursé	90 628 483	77 681 557	64 734 631	51 787 705	38 840 779	25 8938 53	12 946 926
Annuité	12 946 926	12 946 926	12 946 926	12 946 926	12 946 926	12 946 926	12 946 926

**Tableau V. 15 : Amortissement du crédit bancaire**

N.B : Nous pensons à récupérer le cout d'investissement total y compris même les capitaux propres pour une durée de 7 ans, les capitaux propres seront répartis sur 6 ans à partir de la deuxième année, avec une annuité constante d'un montant de **3 579 324 DA**.

### V.5.7 Analyse des résultats et calcul du cash flow

Le cash flow est l'excédent de trésorerie prévu pour la première année d'activité. Après le remboursement d'emprunt, le cash flow est destiné au chef d'entreprise.

Le cash flow est utilisé pour autofinancer le développement de l'entreprise et payer les différentes charges imprévues tels que les impôts, le bénéfice sur le chiffre d'affaire...

- Capacité d'autofinancement (CAF) = chiffre d'affaire – la charge d'exploitation
- Cash flow (CF) = CAF – (remboursement d'emprunt + récupération capitaux propres)

Elément	Année1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7
Chiffre d'affaire	33048400	42962720	42 962 720	42 962 720	42 962 720	42 962 720	42 962 720
Charge d'exploitation	18474800	19700400	19 700 400	19 700 400	19 700 400	19 700 400	19 700 400
CAF	14573600	23262320	23262320	23262320	23262320	23262320	23262320
Remboursement d'emprunt	12946926	12946926	12 946 926	12 946 926	12 946 926	12 946 926	12 946 926
Récupération capitaux propres	0	3579324	3 579 324	3 579 324	3 579 324	3 579 324	3 579 324
<b>Cash flow</b>	<b>1626674</b>	<b>6736070</b>	<b>6736070</b>	<b>6736070</b>	<b>6736070</b>	<b>6736070</b>	<b>6736070</b>

**Tableau V. 16 : calcul du cash flow du projet pour sept ans**

NB : L'amortissement technique appartient à la CAF, il est réservé pour rembourser le crédit bancaire et autres charges.

## Chapitre V : Implantation d'une station de compostage

---

D'après le tableau récapitulatif du Cash flow, on remarque qu'il y'aura un bénéfice pour l'entreprise après la soustraction de toutes les charges d'exploitation et le remboursement d'emprunt de telle sorte que l'entreprise récupère son cout d'investissement pendant les 7 premières années.

Le cash flow moyen pendant les sept premières années estimable à 6 006 156 DA, cela apparait comme un facteur positif pour que l'entreprise autofinancera ses différentes charges imprévues tels que les impôts, taxe sur le chiffre d'affaire, l'achat des nouveaux matériels, la maintenance, recherche et développement...etc.

La première difficulté qui se confronte à l'entreprise est sa capacité à s'autofinancer pour assurer la pérennité, selon les résultats obtenus, cette entreprise a un caractère pérennisable et bénéficiaire.

### V.6 Conclusion

L'étude analytique que nous avons effectué dans ce chapitre sur la valorisation des déchets alimentaires organiques en mélangeant avec la sciure du bois nous a donnée une vue estimable sur la rentabilité d'un tel projet.

Ce projet est bénéfique avec un cash flow annuel moyen de **6 006 156 DA**, ainsi le cout de projet sera rendu dans une durée 7 ans.

Nous avons trouvé que l'investissement dans la valorisation des déchets organiques en les transformant en compost est bénéfique, pour l'entreprise et l'état réciproquement.

L'Algérie dépense pas mal d'argent juste pour éliminer ces déchets aux CET, en revanche, on trouve certains pays en Europe comme le Suède et la Norvège qui importent les déchets des autres pays parce qu'ils savent bien que le recyclage est bénéfique et coûte moins cher que la fabrication d'un nouveau produit.

Il s'avère donc impérieux pour l'état d'adopter une politique de valorisation des différents déchets en collaborant avec des investisseurs.

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

A la première partie nous avons traité le problème de localisation-allocation dans une chaîne logistique inverse. La structure de la chaîne étudiée est conçue de deux principales entités à savoir : points de collecte, centre de retraitements. L'étude du problème de localisation allocation est traitée d'une manière séquentielle en deux niveaux.

Dans le premier niveau nous avons regroupé les clients en amas de clients. Le modèle du problème 1, donne une décision importante qui nous a permis de réduire les frais de transport et gagner le temps. Ensuite nous avons optimisé les coûts variables de transport entre les points de collectes et le centre de traitement.

A la deuxième partie, nous avons dimensionné une station de compostage en casiers à aération forcée grâce au logiciel **Sweet Home 3D version 5.4** qui reçoit 40 T/jours, équivalant à 15 000 T/ans des déchets alimentaires organiques, puis nous avons effectué une étude technico-économique en estimant tous les besoins techniques et humains nécessaires pour créer une entreprise. Pour un tel projet la Banque National d'Algérie (BNA) peut financer jusqu'à 80% de coût de projet, pour un crédit d'investissement à moyen terme allant de 3 à 7 ans.

Le chiffre d'affaires annuel prévu nous a permis de rendre le cout du projet au bout de 7 ans, avec un cash flow important pour rassurer la pérennité de l'entreprise.

Cette étude a prouvé que l'investissement au recyclage des déchets alimentaires organiques, pour les transformer au compost (amendement organique) qui est utilisé pour améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, est rentable.

Comme perspectives plusieurs pistes de recherche peuvent être exploitées par exemple il serait très intéressant d'agrandir la taille du problème en s'intéressant à la collecte de plusieurs déchets organiques, aussi faire une extension au niveau de la station de compostage pour recevoir 3 fois plus la quantité des déchets actuels selon le terrain acheté.

### La bibliographie

**Antoine Landrieu (2001)**. Logistique inverse et collecte des produits techniques en fin de vie. Tournées de véhicules avec contraintes. Automatique / Robotique - INPG. Français.

**Serge Lambert et Diane Riopel (2003)**. Logistique inverse (revue de littérature). Département de mathématiques et de génie industriel école Polytechnique de Montréal. Canada.

**Redjal O (2005)**. vers un développement urbain durable. Phénomène de prolifération des déchets urbains et stratégie de préservation de l'écosystème. Mémoire de magister en urbanisme. Université Mantouri Constantine. 17p

**Belaïb A (2012)**. Etude de la gestion et de la valorisation par compostage des déchets organiques générés par le restaurant universitaire Aicha Oum Elmouminine (willaya de Constantine). Mémoire de Magister en Ecologie. Université de Mentouri Constantine.

**Libreton D (2008)**. les déchets en restauration collective. Licence professionnelle Ingénierie et gestion des systèmes alimentaires. Université de Toulouse. 27p

**Kihel M (2015)**. Contribution à l'étude de décharge de Saf Saf (Tlemcen). mémoire de master En Ecologie végétal et Environnement, Université Abou-Bakr Belkaid, Tlemcen

**Kacel B (2014)**. Création d'une entreprise de production d'électricité à partir de panneaux photovoltaïques. Mémoire de master en sciences de gestion. Université Abou-Bakr Belkaid, Tlemcen

**Glilet R (1985)**. Traité de gestion des déchets solides, programme minimum de la gestion des ordures ménagères et déchets assimilés.

**Anonyme (2000)**. Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement Alger.

**RAHARIJHON (1999)**. Déchets urbains, partie Elimination et gestion des déchets.

**ALI MOUSSA MOINDZE (2003)**. Contribution a la justification de la valorisation énergétique et agronomique des ordures ménagères. Mémoire (DEA) en physique. Université d'Antananarivo

**ADEME (2014)**. Guide pratique des biodéchets ; La méthanisation

**M. Bennekrouf, L. Benyoucef**. Problèmes de conception et pilotage des chaînes logistiques inverses et globales. Université Abou Bekr Belkaid

**Mohammed Bennekrouf (2013)**. Modélisation et Simulation d'Une Chaîne Logistique Inverse en Tenant Compte de La Robustesse. Université de Tlemcen ,Faculté de Technologie Département de Génie Electrique et Electronique.

**Fouad MALIKI, Mustapha Anwar BRAHAMI**. Gestion des indisponibilités des sites intégrée à un problème de conception de chaîne logistique. université Abou Bekr Belkaid (Tlemcen).

**Paino VANAI (1995)**. Valorisation agronomique d'un compost urbain produit par méthanisation : étude en milieu tropical. Centre universitaire de Polynésie française

**CHARNAY F. (2005)**. Compostage des déchets urbains dans les PED : Elaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de doctorat. Université de Limoges.



## Bibliographie

---

**http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2015/dimensionnement de la plate forme de compostage** .....[V.3]

www.andi.dz.....[V.1]

**Source :** Technique de l'ingénieur, 2010, RECORD, 2006..... [V.2]

**Source:** Cercle National du Recyclage, 2000. «Traitement biologique des déchets organiques».....[II.1]

## Glossaire

---

**Aérobic** : En présence d'air ou d'oxygène libre.

**Anaérobic** : En absence partielle ou totale d'air ou d'oxygène libre.

**Andains** : terme professionnel pour désigner la mise en tas longs et hauts des déchets à composter afin de faciliter leur décomposition.

**ADEME** : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise des Energies.

**Biodéchets** : Déchets biodégradables provenant des ménages, d'industries agro-alimentaires, des espaces verts, de commerçants, de restaurants et de cantines.

**Collecte sélective** : Collecte de certains flux de déchets, préalablement séparés en vue d'une valorisation ou d'un traitement spécifique.

**CET** : centre d'enfouissement technique

**Déchets fermentescibles** : Déchets composés de matière organique ayant la propriété de réagir chimiquement en présence ou en l'absence d'air.

**Déchets organiques** : Déchets composés de matière organique caractérisée par la présence d'atomes de carbone issus d'organismes vivants, végétaux ou animaux. De par leur composition chimique, ils peuvent subir un phénomène biologique appelé fermentation.

**Digestat** : Produit décomposé issu d'un procédé de méthanisation (voir Traitement anaérobie).

**DM** : déchets ménagers

**GGT** : Grand Groupement de Tlemcen

**Humus** : Matière organique du sol provenant de la décomposition partielle de matière animale ou végétale.

**Lixiviat** : Jus de percolation issu du traitement biologique.

**Matières fertilisantes** : « Elles comprennent les engrais et les amendements et d'une manière générale tous les produits dont l'emploi est destiné à assurer ou améliorer la nutrition des végétaux, ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. » (Norme NFU 44 095).

**Norme NFU 44 051** : « Amendements organiques » (projet de nouvelle version): décrit 10 catégories d'amendements dont les composts de déchets verts et fermentescibles alimentaires et ménagers. Il est caractérisé par les valeurs de pH, teneur en matières organiques, le rapport C/N, la teneur en azote et des critères physiques.

**PED** : pays en développement

**Recyclage** : Réintroduction directe d'un déchet dans un cycle de production dont il est issu en remplacement total ou partiel d'une matière première vierge.

**Rapport C/N** : ou rapport carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus au moins dans le sol. Le rapport C/N doit être situé entre 15 et 30 pour que le compostage se fasse dans des conditions optimales.