



Royaume des Pays-Bas

Gestion des déchets organiques en Algérie

Analyse sectorielle et opportunités d'affaires

Une étude de LONO

Auteur(s) : Noel N'guessan, Louise Bijleveld, Annemarijn Nijmeijer

Une étude réalisée en collaboration avec l'Ambassade des Pays-Bas et l'Agence Nationale des Déchets



Une étude commandée par Agence Néerlandaise pour les Entreprises (RVO)
Réalisée par LONO

Décembre 2021

Table des matières

1	Contexte	5
1.1	Dépôt total de déchets organiques dans les zones urbaines	5
1.1.1	Composition des déchets	5
1.1.2	Système de tri	5
1.1.3	Gestion des déchets organiques dans les zones urbaines	6
1.2	L'agriculture en Algérie	6
1.2.1	Cultures de base	7
1.2.2	Horticulture	8
1.2.3	Vergers	8
1.2.4	Bétail	9
1.3	Transition vers un modèle d'économie circulaire	10
1.3.1	Modèle linéaire actuel de produits agricoles et animaux	10
1.3.2	Le modèle alternatif de l'économie circulaire	11
1.4	Compostage de fumier et OMSW pour la production de biofertilisant comme fruits à portée de main	12
1.4.1	Fermentation aérobie (processus de compostage)	13
1.4.1.1	Phase thermophile	14
1.4.1.2	Phase de maturation	14
1.4.1.3	Paramètres de processus	14
1.4.1.4	Compostage en plein air (aération passive)	15
1.4.1.5	Compostage en tas (aération forcée)	16
1.4.1.6	Compostage en tunnel (aération forcée)	16
1.4.2	Fermentation anaérobie (processus de digestion anaérobie)	18
1.4.2.1	Paramètres de processus	18
2	Possibilités de valorisation des déchets organiques dans l'agriculture	20
2.1	Potentiel de biomasse des chaînes de valeur agricole	20
2.1.1	Production de palmier dattier	20
2.1.2	Production de légumes (taille)	21
2.2	Cadre réglementaire	22
2.2.1	Déchets urbains domestiques et industriels	22
2.2.2	Soutien dédié aux entreprises en phase d'amorçage	24
2.2.3	Rôle du Centre d'Enfouissement Technique (CET) dans la gestion des déchets municipaux	24
2.3	Demande du marché	24
2.4	Pratiques actuelles	25
2.5	Disponibilité de la matière première	25
2.6	Maturité de l'écosystème	26
3	Analyses de rentabilisation viables	26
3.1	Analyse de rentabilisation 1 : Collecte et prétraitement des déchets de palmier dattier destinés à être utilisés comme matière première dans la production de compost ou comme substrat pour la pépinière	27
3.1.1	Modèle d'affaires	27
3.1.1.1	Investissement recommandé	29

3.1.2	Compétences requises et création d'emplois potentiels	29
3.2	Analyse de rentabilisation 2 : Collecte et distribution de la fraction organique des déchets solides municipaux aux producteurs de compost	29
3.2.1.1	Modèle d'affaires	29
3.2.1.2	Investissement recommandé	30
3.2.1.3	Compétences requises et création d'emplois potentiels	31
3.3	Analyse de rentabilisation 3 : Collecte et prétraitement du fumier destiné à être utilisé comme matière première pour la production de compost	31
3.3.1	Modèle d'affaires	31
3.3.1.1	Investissement recommandé	32
3.3.1.2	Compétences requises et création d'emplois potentiels	33
3.4	Analyse de rentabilisation 4 : La production de compost comme processus de stabilisation du fumier	33
3.4.1	Modèle d'affaires	33
3.4.1.1	Investissement requis	35
3.4.1.2	Compétences requises et création d'emplois potentiels	35

1 Contexte

1.1 Dépôt total de déchets organiques dans les zones urbaines

1.1.1 Composition des déchets

La quantité totale de déchets ménagers produits en Algérie en 2020 est estimée à environ 13,5 millions de tonnes. La croissance démographique et le développement urbain contribuent dans une large mesure à l'augmentation de la quantité de déchets produits ; entre 2016 et 2035, la production de déchets ménagers pourrait doubler, passant de plus de 11 MT en 2016 à 23 MT en 2035 (AND 2020) ¹. D'où le souci des pouvoirs publics de mettre en place les systèmes les plus adaptés pour une gestion plus efficace des déchets.

La part de la fraction organique dans la quantité totale de déchets produits dépasse 50%. Les résultats d'une étude réalisée en 2014 ont confirmé la prédominance de la fraction organique, qui représentait 54,40 % à cette période, ce qui justifie la récupération biologique (compostage et digestion anaérobie) comme solution pour réduire les quantités arrivant dans les décharges ou Centres d'Enfouissement Technique (ET 2014) ². Une autre étude a révélé que le contenu des matières organiques jusqu'à 62% confirmait le potentiel de réduction des coûts significatif offerts par les méthodes de biotraitement (GIZ 2014) ³. Ces résultats ont été confirmés par une plus récente étude de terrain en 2018/2019 notamment que la fraction organique reste la fraction la plus importante des déchets solides municipaux, représentant 53,61%, suivie du plastique (15,31%) et du papier/carton (6,76%).

Ces données excluent les déchets provenant d'activités agricoles et d'élevage qui sont constitués à plus de 95 % de matière organique et gérés en dehors du cadre formel de gestion des déchets actuellement en place.

1.1.2 Système de tri

Le traitement et le recyclage des déchets sont des questions importantes en Algérie depuis 2001. Cette année-là, le ministère de l'Environnement a été fondé et le programme national PROGDEM (Programme national de gestion intégré des déchets ménagers) a été lancé. L'objectif du programme était de mettre fin aux déversements incontrôlés et à la prolifération des décharges et de mieux organiser l'ensemble du secteur de la gestion des déchets.

Depuis lors, des progrès substantiels ont été réalisés, le pays étant passé d'une collecte et d'un déversement non réglementés à un système dans lequel les villes urbaines collectent plus de 85% des déchets et les villes secondaires rurales entre 65 et 70% pour la gestion dans les décharges sanitaires (Centre d'Enfouissement Technique).

¹ AND – Rapport sur l'état de la gestion des Déchets en Algérie – 2020

² AND – Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie - 2014

³ GIZ - Rapport sur la gestion des déchets solides en Algérie, D-waste, consultant pour Sweep-Net en coopération avec GIZ - 2014

Bien que des progrès soient évidents, le système n'atteint pas encore ses objectifs car les décharges sanitaires se remplissent plus rapidement que prévu et de nombreuses villes n'ont toujours pas bénéficié du programme et, par conséquent, continuent de déverser les déchets dans des décharges non contrôlées, souvent à quelques dizaines de mètres de proximité des ménages.

Le tri des déchets solides municipaux mélangés en leurs fractions organiques et autres fractions recyclables n'a pas encore été mis en œuvre autant que nous l'avons vu au cours de l'étude.

1.1.3 Gestion des déchets organiques dans les zones urbaines

Le potentiel de la fraction organique des déchets solides municipaux est démontré depuis longtemps, bien que sa séparation et sa valorisation n'aient pas encore été mises en œuvre à grande échelle en Algérie. Chaque année, à peine 1 % de la fraction organique des déchets solides municipaux est enregistrée comme se retrouvant dans un processus de compostage. Le domaine de la valorisation des déchets verts en Algérie se limite à quelques projets pilotes et expérimentations menés par des opérateurs, des citoyens et des associations environnementales.

Par exemple, le traitement et le compostage des déchets organiques à Alger impliquent le traitement des déchets verts des parcs et autres espaces publics. Le projet est géré par un « EPIC », Établissement Public à Caractère Industriel et Commercial, nommé EDEVAL (Établissement de Développement des Espaces Verts de la Wilaya d'Alger) et qui est mandaté par la Wilaya (la subdivision administrative comprenant le centre de la ville d'Alger et ses quartiers) pour cette activité commerciale.⁴ Cette entreprise, responsable des déchets verts produits dans toute la ville, a accès à des milliers de tonnes de branches, feuilles et fleurs qu'elle convertit en compost pour une utilisation dans ses propres pépinières et pour la vente. Le prix du compost a récemment été ramené de 40 000 Dinar / tonne à 25 000 Dinar / tonne.

1.2 L'agriculture en Algérie

L'agriculture est un secteur important de l'économie algérienne. Il couvre la majeure partie du territoire du pays et occupe plus de 90% des 1 541 municipalités existantes. Il fournit des emplois (directs ou indirects) à 13 millions d'Algériens vivant dans des zones rurales. En outre, le secteur fournit également des emplois dans les secteurs des transports et du commerce.⁵ Au total, l'Algérie compte plus de 41 millions d'hectares de terres agricoles.⁶

Au cours des deux dernières décennies, il y a eu une croissance notable de l'activité agricole allant des pommes de terre irriguées au développement d'un secteur horticole florissant produisant des tomates, du piment et d'autres légumes dans des serres. Non seulement la superficie agricole utilisée (SAU) totale a augmenté, mais la production par hectare montre également une forte

⁴ <https://edeval.dz/index.php/nos-missions/compostage-des-dechets-verts>

⁵ <https://www.fao.org/family-farming/countries/dza/en/>

⁶ <https://www.g-fras.org/en/world-wide-extension-study/africa/northern-africa/algeria.html>

augmentation. Cela correspond à une augmentation de l'utilisation du fumier (entre 400 000 et 600 000 T / an dans les wilayas d'El Oued et de Biskra), qui est appliqué directement sur les terres.

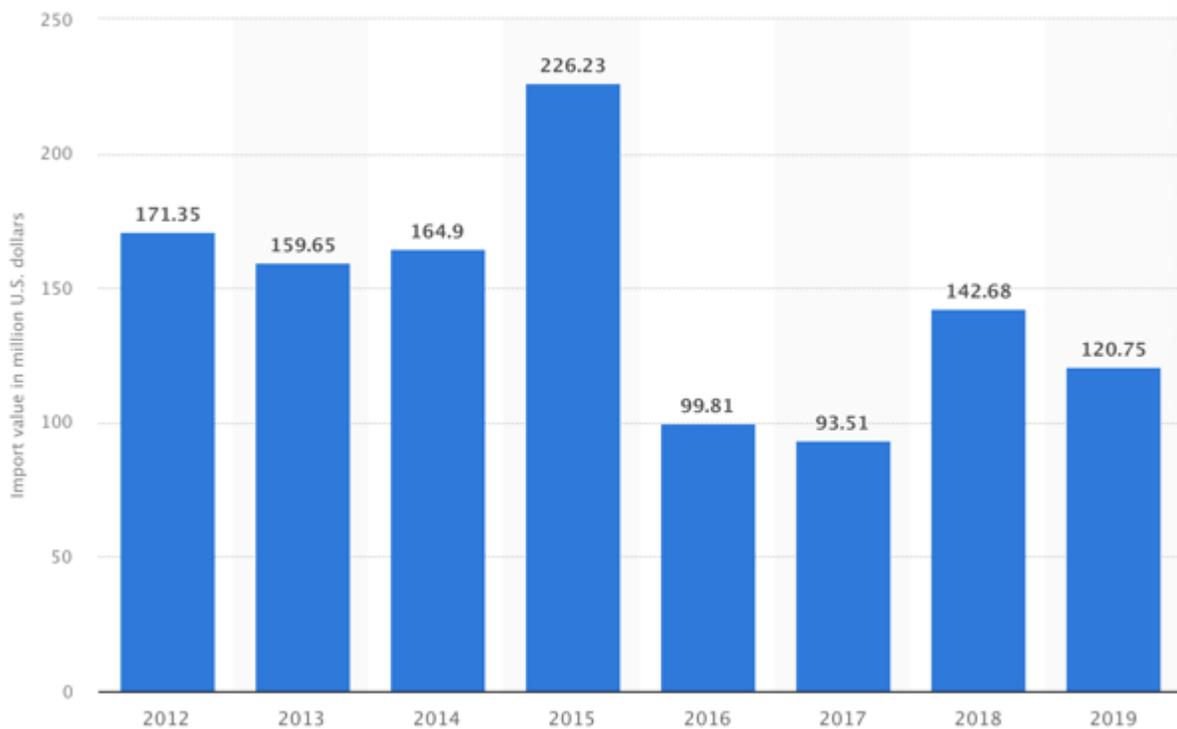


Figure 1 Évolution des importations annuelles d'engrais chimiques (N-P-K) en millions USD

Malgré l'augmentation de la production agricole, le pays reste un important importateur sur le marché mondial des céréales, du sucre et des produits laitiers principalement du lait concentré. Les politiques du gouvernement actuel mettent l'accent sur l'augmentation de la part de la production locale de produits alimentaires. En conséquence, la consommation d'engrais devrait augmenter.

1.2.1 Cultures de base

Les céréales occupent une place stratégique dans le système alimentaire et l'économie nationale. De 2000 à 2009 ainsi que de 2010 à 2017, la superficie occupée par les céréales représentait 40% de la SAU totale. De 2000 à 2009, la superficie totale a été estimée à 3 200 930 ha. Le blé dur et l'orge occupent la majeure partie avec 74% de la superficie céréalière totale et représentent respectivement 51% et 29% de la production céréalière totale en moyenne pour 2010-2017. De 2010 à 2017, cette superficie a augmenté de 6 % et a atteint une moyenne de 3 385 560 ha. La production au cours de la période 2010-2017 est estimée à 41,2 millions de quintaux en moyenne, soit une augmentation de 26% par rapport à la décennie 2000-2009 pour laquelle la production est estimée à 32,6 millions de quintaux en moyenne. Une grande partie de la consommation nationale est importée pour compléter la production locale.⁷

⁷ <http://madrp.gov.dz/agriculture/statistiques-agricoles/>

1.2.2 Horticulture

La superficie totale réservée à l'horticulture a augmenté de 44 % au cours de la période 2010-2017, comparativement à la période 2000-2009. Dans le même temps, une augmentation significative, 121%, de la productivité par hectare a été mesurée. Par exemple, la zone de production de pommes de terre et d'oignons, qui représentent plus de 36% et 12% de la production de légumes, a enregistré une augmentation de 68% et 35% respectivement. La production totale de pommes de terre et d'oignons a augmenté de 143% et 102% respectivement. De plus, la production de tomates a connu une forte augmentation, les rendements étant passés de près de 20 t/ha entre 2000 et 2009 à plus de 50 t/ha en 2010-2017.⁸

Tableau 1 Différents systèmes de production de légumes pratiqués dans les régions d'El Oued et de Biskra

Système maraîcher	Mobile « front pionnier »	« Fixe intensif »	« Hyper intensif »
Caractéristiques			
Type de serre	100 à 240 serres tunnel (400 m ²)	40 à 50 serres tunnel (400 m ²)	Serres canariennes (1 à 6 ha)
Systèmes de culture	Maraîchage sous serre sans rotation pendant 3 ans, puis conversion en palmier dattier par le propriétaire	Maraîchage sous serre en rotation avec cultures de plein champ irriguées (fèves, maraîchage, céréales)	Maraîchage sous serre à forte densité (palissage) sans rotation
Acteurs	Production confiée à des locataires, qui investissent dans des serres et s'associent à des métayers	Les serres appartiennent aux propriétaires qui s'associent à des métayers	Les serres appartiennent au propriétaire ou au locataire ; ceux-ci s'associent à des métayers
Région	Ouest	Est et Ouest	Est
Revenu brut/ha/saison	Propriétaire : 5 400€ Locataire : 54 000€ Métayers : 13 500€	Propriétaire : 54 000€ Métayer : 13 500€	Propriétaire ou locataire : 90 000€ Métayers : 22 500€

Trois systèmes d'horticulture en serre à Biskra.⁹

1.2.3 Vergers

La superficie couverte par les vergers comptait ± 400 000 ha au cours de la période 2000-2009. La production d'olives couvrait 39% de cette superficie, les arbres fruitiers 30%, les plantations de dattes 23% et les agrumes 8%. Cette superficie a augmenté de 47% au cours de la période 2010-2017, avec la plus forte augmentation des vergers d'oliviers.¹⁰

Les autres cultures cultivées dans les vergers comprennent les noix, telles que les amandes et les pistaches, et les fruits, tels que la pomme, qui reçoivent également des engrais et génèrent une valeur élevée par hectare pour les producteurs.

⁸ <http://madrp.gov.dz/agriculture/statistiques-agricoles/>

⁹ <https://agritrop.cirad.fr/578839/1/2015%20Daima%20Naouri%20et%20al.pdf>

¹⁰ <http://madrp.gov.dz/agriculture/statistiques-agricoles/>

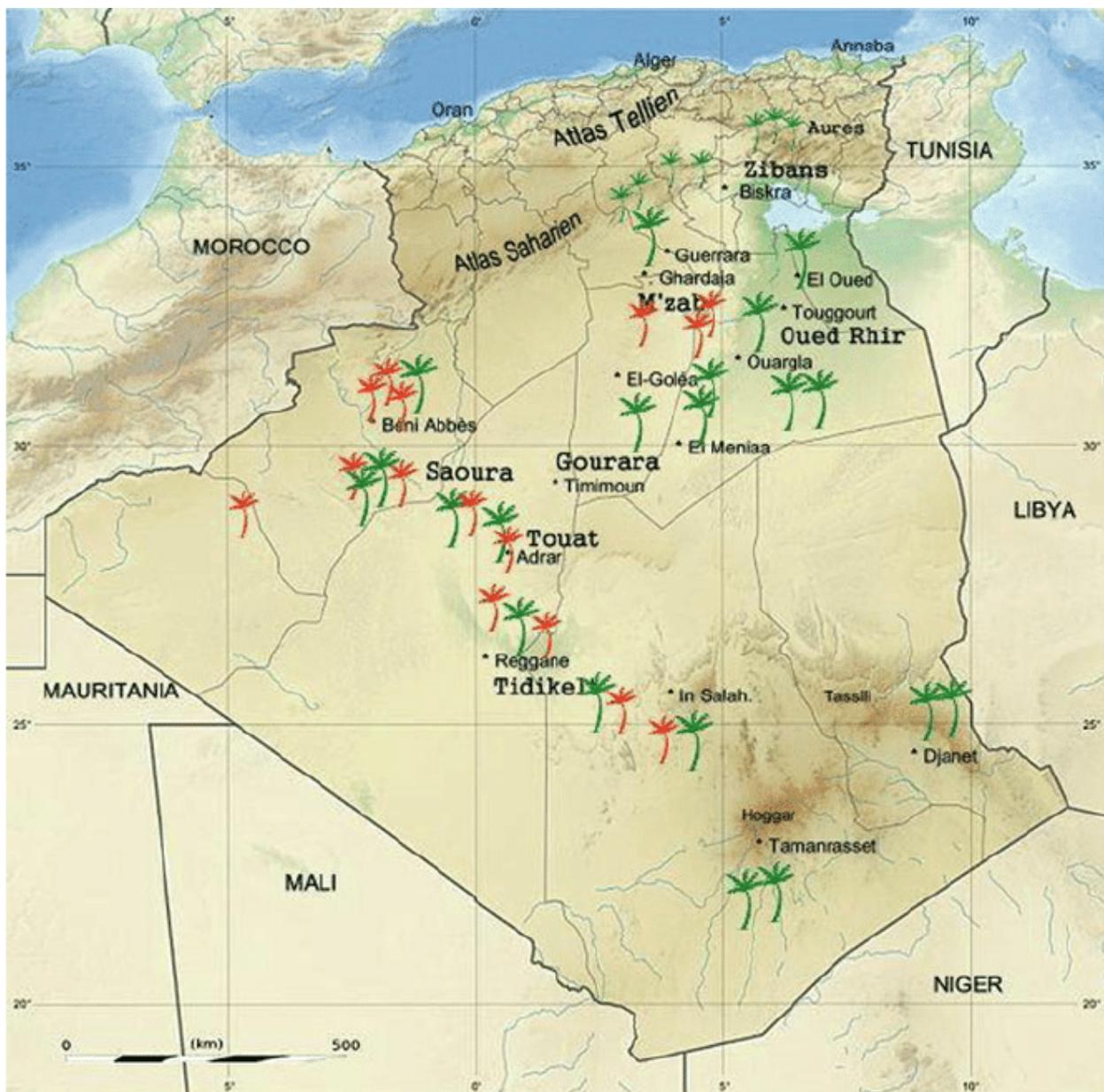


Figure 2 Carte de l'Algérie indiquant les différentes zones avec des palmiers dattiers ; celles en rouge sont infestées de bayoud, celles en vert non infestées¹¹

1.2.4 Bétail

Le bétail (à l'exclusion de la volaille) comprend cinq espèces principales : les bovins, les ovins, les caprins, les chameaux et les chevaux. Le nombre total de têtes de bétail, au cours de la période 2000-2009, a été estimé à 24,5 millions de têtes (sur le total des 10 années), pour 2010-2017, ce nombre est passé à 33,6 millions de têtes, soit un taux de croissance de 37%. Les moutons sont le bétail le plus commun (78%), suivis des chèvres (14%).

¹¹ N. Bouguedoura Laboratoire de recherche des zones arides (LRZA)

Une deuxième source estime le cheptel ovin d'environ 19 millions de têtes, occupant une place importante en Algérie. Outre sa contribution de plus de 50 % à la production nationale de viande rouge et de 10 à 15 % au produit intérieur brut agricole, l'élevage ovin joue un rôle socioculturel important. Il est pratiqué dans les différentes zones climatiques de l'Algérie, de la côte méditerranéenne aux oasis du Sahara. Cette diversité pédoclimatique offre à l'Algérie une extraordinaire diversité de races ovines, avec huit races caractérisées par une rusticité remarquable, adaptées à leurs environnements respectifs.¹²

Les vaches et les moutons produisent respectivement 30 et 3 kg de fumier par jour. Le poulet, en revanche, produit environ 80 à 120 g par jour. Le fumier de ces animaux est souvent vendu par des intermédiaires pour être utilisé comme intrants pour la production de fruits et légumes. La production annuelle totale de fumier d'ovins et de caprins est estimée entre 19 et 30 millions de tonnes par an. Une partie de l'élevage de ce bétail, comme l'orge et le pâturage, est produite localement. Une partie de l'orge requise est importée.

Le pays compte environ 12 millions de têtes de volaille pour lesquelles la plupart des aliments pour animaux, principalement des moulins à maïs et à soja, sont importés. Cette protéine importée, riche en azote, est actuellement recyclée dans le sol sous forme de fumier.

1.3 Transition vers un modèle d'économie circulaire

Le modèle actuel est ancré sur l'importation de minéraux sous forme d'engrais N-P-K ou d'aliments pour le bétail qui nourrissent les filières agricoles et d'élevage. Les produits de ces filières sont ensuite consommés localement ou exportés. Les déchets de ces chaînes de valeur finissent dans les décharges et une partie du fumier animal est recyclée pour la production de légumes. Cependant, les biodéchets issus de l'agriculture ne sont pas recyclés et, par conséquent, les minéraux importés ne sont pas réutilisés.

La transformation des déchets en nouvelle matière première alimentant la chaîne permet une circularité qui augmente les capacités d'un système à se développer sans impacter négativement d'autres systèmes.

1.3.1 Modèle linéaire actuel de produits agricoles et animaux

Dans l'approche actuelle, les minéraux nécessaires comme engrais pour le secteur agricole proviennent de deux sources :

1. Imports de N-P-K (100 000 T / an)
2. Fumier animal (d'abord par l'alimentation animale)
 - Importations de maïs, tourteau de soja et d'orge (>5 000 000 T /an)
 - Production locale d'orge
 - Pâturage

La production agricole est principalement destinée au marché local :

¹² <http://madrp.gov.dz/agriculture/statistiques-agricoles/>

- Pomme de terre
- Dattes (>90% pour le marché local) ¹³¹⁴¹⁵
- Légumes (tomates, courgettes, concombre, piment, poivrons, oignons)
- Céréales (blé, orge)
- Olives

Dans un modèle linéaire, une nouvelle matière première est continuellement nécessaire pour alimenter le système de production. Figure 3 illustre les flux d'éléments nutritifs provenant des sources importées et locales vers le secteur agricole et leur fin de vie sous forme de déchets solides mis en décharge ou de boues d'épuration. Les minéraux contenus dans les déchets sont perdus et ne retournent jamais dans le cycle de production.

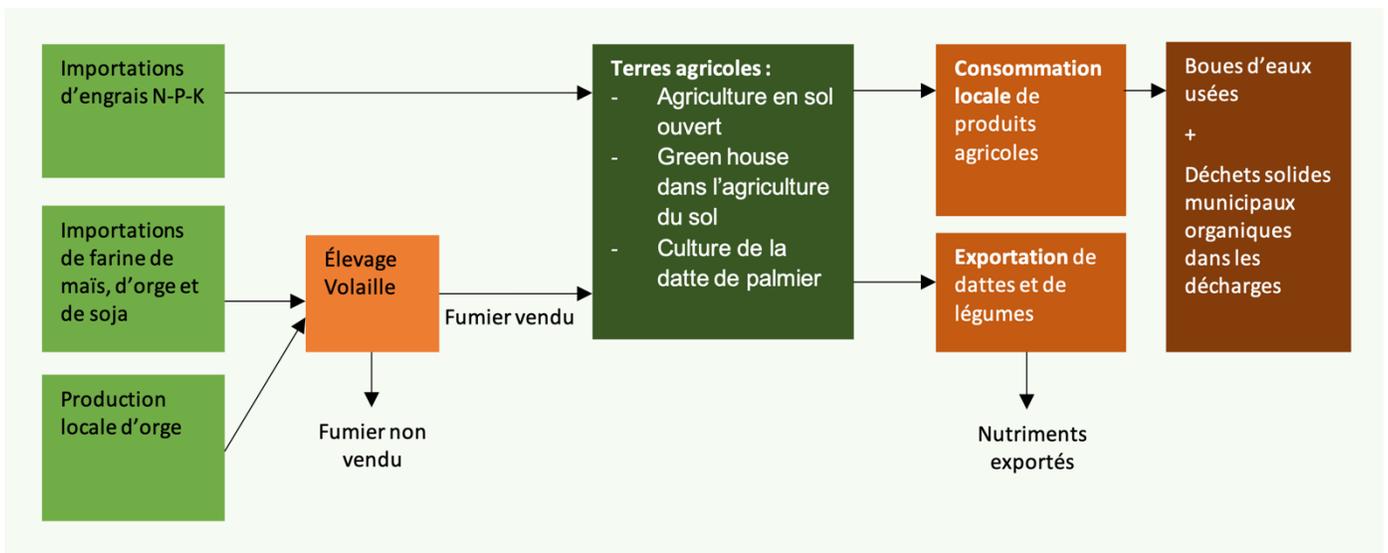


Figure 3 Illustration des flux de nutriments entre les sources locales et importées pour devenir un intrant pour l'agriculture pour la fertilisation et finalement les déchets

1.3.2 Le modèle alternatif de l'économie circulaire

Une alternative au modèle d'économie linéaire prédominant est le modèle d'économie circulaire dans lequel les fractions réutilisables des déchets sont récupérées et renvoyées dans le système de production en tant que matière première.

L'une des principales priorités du gouvernement néerlandais est de promouvoir et de soutenir une transition vers un secteur agricole circulaire, qui vise à fermer les cycles des nutriments en recyclant les minéraux contenus dans les déchets organiques. Cette approche présente des avantages supplémentaires tels que l'amélioration des sols et de la qualité de l'eau et la réduction

¹³ <https://www.statista.com/statistics/1182035/production-volume-of-dates-in-algeria/>

¹⁴ <https://www.iraqi-datepalms.net/assets/uploads/2019/06/المصدرة-الجزائرية-للتمر-تحليلية-دراسة.pdf>

¹⁵ <https://maghrebemergent.net/exportation-de-la-datte-pourquoi-lalgerie-subit-encore-laffront-tunisien/>

des émissions et des polluants. Cette circularité a été ¹⁶illustrée par l'Agence néerlandaise d'évaluation environnementale (PBL), comme le montre la Figure 2. La figure montre les cours d'eau après la consommation passant par un processus pour récupérer les nutriments et nourrir les systèmes naturels qui soutiennent l'agriculture.

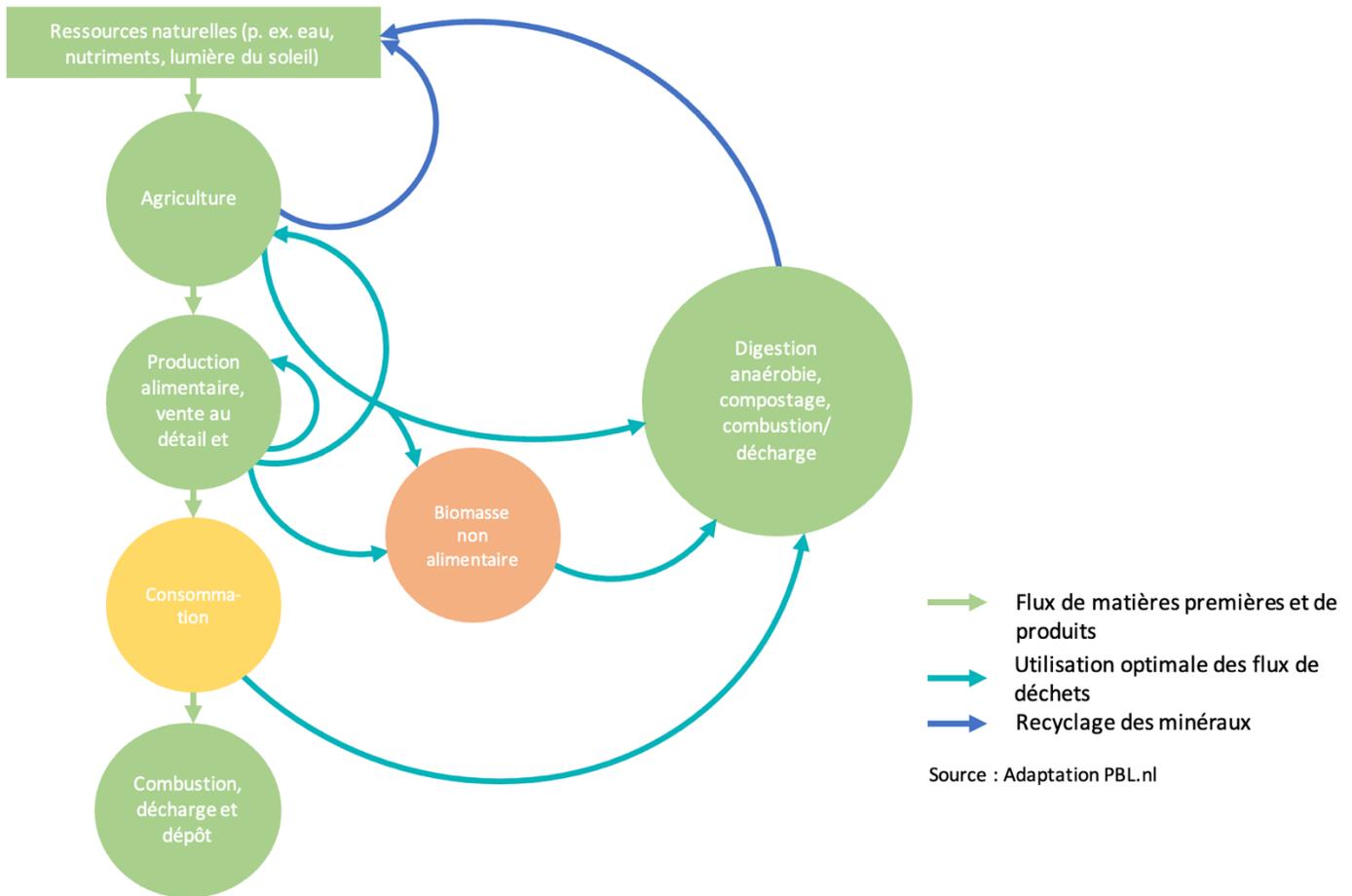


Figure 2 Diagramme illustrant un modèle d'économie circulaire utilisant les déchets organiques comme ressource

1.4 Compostage de fumier et OMSW pour la production de biofertilisant comme fruits à portée de main

La section 1.3 présente le modèle linéaire actuel et le modèle circulaire ciblé. Compte tenu de la dépendance à l'égard des engrais N-P-K importés et des aliments pour animaux, le recyclage local des minéraux contenus dans les déchets de l'agriculture et de l'élevage est un premier pas réalisable pour la transition vers une économie circulaire.

Les chiffres qui sous-tendent ce potentiel sont les suivants :

¹⁶<https://www.government.nl/ministries/ministry-of-agriculture-nature-and-food-quality/documents/policy-notes/2019/11/30/plan-of-action---supporting-transition-to-circular-agriculture>

- Le pays importe environ 100 000 T chaque année d'engrais N-P-K
- Seulement 1% des déchets organiques se retrouve pour se retrouver dans des activités de compostage
- Rien que dans les wilayas d'Eloued et de Biskra, plus de 400 000 T de fumier animal sont utilisés chaque année comme sources d'engrais dans l'horticulture et la production de palmiers
- Le fumier animal est transporté jusqu'à 800 km de l'endroit où le fumier est produit vers les régions agricoles

1.4.1 Fermentation aérobie (processus de compostage)

Le processus le plus élémentaire pour stabiliser et préparer les déchets organiques à ajouter au sol est le compostage ou la fermentation aérobie. Le produit est une matière stable riche en matière organique (entre 20 et 45% de matière organique) contenant jusqu'à 7% de macronutriments composés de N-P-K-Ca-Mg. La concentration des différents nutriments dépend de la composition de la biomasse initiale mais une composition moyenne des 5 macronutriments est respectivement (1,2 – 0,3 – 0,9 – 1,5 – 0,4).

Le compostage est un processus dans lequel les micro et macroorganismes décomposent les molécules organiques en présence d'oxygène et d'humidité. Le résultat est le compost, une matière organique stable qui se décompose lentement pour former de l'humus. En raison de cette teneur élevée en matière organique stable, le compost sert d'amélioration de la qualité de la structure du sol et fournit des nutriments qui se minéralisent lentement sur 6 à 36 mois en fonction du climat et des conditions du sol telles que le pH et la biodiversité du sol.

Les micro-organismes tels que les bactéries, les champignons, les protozoaires, convertissent la matière organique en CO₂ et en eau par oxydation. Selon la matière première (p. ex., les composés N et S présents) et les conditions aérobies, plusieurs gaz résiduels sont produits, comme l'ammoniac et les composés volatils contenant du soufre. Les fractions organiques et minérales non biodégradables restent inchangées dans le matériau final. Sous forme simplifiée :

Déchets organiques (C-H-O-N-S-P-K-Ca-Mg) + O₂ → CO₂ + H₂O + Compost (C-H-O-N-S-P-K-Ca-Mg) + gaz résiduels (NH₃, H₂S, CH₄, CO) + énergie

L'énergie libérée au cours du processus de décomposition va en partie aux processus métaboliques des micro-organismes et à la création d'une nouvelle biomasse. Cependant, la plus grande partie est libérée sous forme de chaleur augmentant la température dans la matière en fermentation. Cette augmentation provoque l'évaporation de l'eau ainsi que la mort d'agents pathogènes indésirables et la désactivation des graines de mauvaises herbes.

La masse et le volume de la matière organique utilisée comme matière première pour le compostage sont réduits à environ un tiers de la quantité initiale en raison de l'évaporation de l'eau et de la décomposition de la matière organique. Outre la dégradation microbiologique de

la matière, des réactions chimiques pures se produisent pendant le processus de compostage. Par exemple, les produits de décomposition microbienne sont transformés en acides humiques. Ceux-ci donnent au compost sa couleur brun foncé typique et contribuent de manière significative aux qualités d'amélioration du sol du compost formé.

Le processus de compostage se compose de 2 phases qui se croisent progressivement : la phase thermophile et la phase de maturation. La durée de l'ensemble du processus de compostage dépend de la matière première, des caractéristiques souhaitées du compost et des caractéristiques techniques de l'installation. Il peut varier de quelques jours ou semaines à plusieurs mois.

1.4.1.1 Phase thermophile

Dans la première phase du processus de compostage, les fractions facilement dégradables telles que les graisses, les solubles et les sucres sont converties rapidement en molécules plus simples. En conséquence, le processus de décomposition microbienne est rapide et la température monte rapidement à 70 ° C et plus. Lorsque l'activité microbienne diminue à des températures supérieures à 65 °C, la décomposition ralentit et la température se stabilise à un maximum de 55 à 65 °C.

1.4.1.2 Phase de maturation

Lorsque la fraction de matériau facilement dégradable diminue, le processus de décomposition ralentit et la température chute progressivement jusqu'à environ 40 à 45 ° C. C'est à ce moment-là que le compost entre dans la phase de maturation où des micro-organismes spécialisés, principalement des champignons et des actinomycètes, prennent le relais. Ces organismes décomposent les fractions lentement digestibles, telles que les matériaux riches en cellulose et ligneux. À la fin de ce processus, la température tombe à 35 ° C.

1.4.1.3 Paramètres de processus

Le but du compostage industriel est de créer des conditions telles que la dégradation microbienne se déroule de manière optimale afin de réduire la durée et améliorer la qualité du produit. Pour ce faire, la teneur en oxygène, la teneur en humidité, la structure, la température, le rapport C/N et le pH doivent être régulés.

1. **Teneur en oxygène** : L'oxygène est consommé par les micro-organismes pendant le compostage et doit donc être remplacé. Si la concentration d'oxygène dans le tas de déchets compostés tombe trop bas, le processus de fermentation ralentit, ce qui entraîne une oxydation incomplète des composés carbonés. Des acides gras et d'autres acides organiques à faible masse moléculaire se forment, provoquant une baisse du pH et augmentant la décomposition anaérobie. La proportion de gaz résiduels indésirables tels que l'ammoniac et le méthane augmente.
2. **Teneur en humidité** : Toute l'activité microbienne impliquée dans le compostage a lieu dans l'humidité de l'espace interstitiel entre les particules de déchet. Une teneur en humidité trop élevée entraîne une carence en oxygène, une teneur en humidité trop

faible réduit l'activité microbienne. L'humidité optimale se situe entre 35 et 65% dans les espaces interstitiels. Les flux de boues qui sont mélangés doivent donc être déshydratés au préalable et les flux de fumier minces épaissis ou séchés.

3. **Structure** : Pour un bon apport en oxygène, il est important que la matière à composter ait une porosité suffisante, de 25 à 35%. L'ajout de matériaux structurels grossiers, par exemple des copeaux de bois, de l'écorce, de la paille, du fumier de cheval, etc. peut améliorer cette structure. Dans le fumier, du gypse est parfois ajouté pour flocculer les substances colloïdales et améliorer l'accessibilité du mélange à l'air.
4. **Température** : Le processus de compostage génère sa propre chaleur et se déroule de manière optimale à une température de 50°C à 65 °C. Une température trop élevée inactive une grande partie des micro-organismes. D'autre part, une température suffisamment élevée est nécessaire pour tuer les germes et les graines de mauvaises herbes. Dans la plupart des cas, cela nécessiterait une température de 55-60 °C pendant 1 à 3 semaines. Par conséquent, dans le compostage intensif, on contrôle généralement le processus à une température de 50-65°C, par aération forcée. Pour les agents pathogènes hautement résistants à la chaleur tels que le virus de la mosaïque du tabac (TMV), une période de compostage plus longue est nécessaire pour une éradication complète. Pour le TMV, il s'agit par exemple de 3 à 7 semaines en cas de compostage organique et de 6 à 11 semaines en cas de compostage vert. Le règlement européen sur les sous-produits animaux exige un minimum de 1 heure à 70 °C pour le fumier. Pour le compostage professionnel, la température doit être surveillée tout au long du processus.
5. **Rapport C / N** : Un rapport C / N de 25-35/1 au début du processus de compostage est généralement considéré comme optimal. Lorsque le rapport C/N est trop faible, il y a une carence en carbone et l'azote peut être perdu sous forme de gaz ammoniac ou de sel d'ammonium ou de nitrate dans le lixiviat. Pour cette raison, il est important d'ajouter des matériaux riches en carbone tels que la paille, les copeaux de bois, l'herbe en bordure de route lors du compostage du fumier. En outre, des additifs tels que la bentonite ou la zéolite peuvent être ajoutés pour réduire l'émission d'ammoniac par absorption. Un rapport C/N trop élevé, en revanche, limite la croissance des micro-organismes en raison d'une carence en azote, ce qui empêche à son tour un compostage complet.
6. **pH** : La phase initiale du processus de compostage s'accompagne de la formation d'acides organiques et d'une baisse du pH. Plus tard dans le processus, le pH augmentera à nouveau en raison de la décomposition des acides organiques et de l'effet alcalin des sels inorganiques. Le pH du compost mature est généralement neutre ou légèrement alcalin.

1.4.1.4 Compostage en plein air (aération passive)

Il s'agit de la technique la plus courante pour le compostage des déchets verts et les initiatives de compostage à petite échelle telles que le compostage agricole. La matière d'entrée est installée à l'air libre en tas de 1,5 à 4 mètres, sur une surface en béton, y restant pendant

plusieurs mois. L'eau de lixiviation et l'eau de pluie polluée sont collectées dans un bassin de rétention. L'aération dans ce type de systèmes est passive sans aérateur mécanique.

- Des tas triangulaires d'environ 2,5 m de haut et 2,5 à 3 m de large, avec des chemins de circulation entre les deux. La surface extérieure relativement grande assure une bonne aération, bien qu'un tournage régulier soit nécessaire pour exposer tout le matériau à des températures suffisamment élevées. L'influence des intempéries peut être limitée en recouvrant les tas de tissus semi-perméables.
- Tas trapézoïdaux d'environ 3 m de haut et d'une largeur de pied de 10 m ou plus. Ils prennent moins de place et la surface extérieure est plus petite, ce qui les rend moins sensibles aux intempéries.

Le niveau d'oxygène est augmenté en retournant fréquemment la pile d'une fois par semaine à une fois toutes les 8 semaines. Habituellement, la fréquence de tournage diminue davantage dans le processus de compostage. Le but du tournage est :

- Approvisionner en oxygène
- Améliorer la structure
- Mélanger les matières humides/sèches, pauvres en nutriments/riches en nutriments
- Nettoyer le compost et tuer les graines de mauvaises herbes sur tout le tas de compost

Le moment de l'humidification du tas de compost est basé sur l'expérience, une mesure de la teneur en humidité ou un « test de compression ». Pour hydrater la matière en fermentation de manière homogène, il est conseillé de pulvériser pendant la phase de retournement. Les eaux usées, y compris l'eau de lixiviation, l'eau de condensat ou l'eau de pluie polluée provenant du processus de compostage, sont le plus souvent utilisées. Dans la phase finale du processus, l'humidification n'est plus nécessaire car l'objectif est d'atteindre un maximum de 30 à 45% d'humidité dans le produit final.

1.4.1.5 Compostage en tas (aération forcée)

Les tas d'une hauteur d'environ 2 à 4 m se trouvent dans un hall fermé et sont aérés par un plancher d'aération. Les tas sont retournés chaque semaine, humidifiés en plus de l'aération forcée. Le plancher d'aération peut être constitué d'un réseau de tubes perforés ou d'une grille avec une cellule d'aération en dessous. Le matériau d'entrée est généralement installé dans un tas de table allongé, composé de plusieurs « champs ». À chaque rotation, le matériau de compostage passe au « champ » suivant. L'air de la salle est extrait et partiellement réutilisé pour l'aération.

Il est possible aussi de réaliser le compostage aéré dans des andains statiques.

1.4.1.6 Compostage en tunnel (aération forcée)

Le compostage a lieu dans des tunnels rectangulaires en béton d'une longueur de 30 à 40 m et d'une hauteur et d'une largeur de 3 à 5 m. Le remplissage s'effectue à l'aide d'une chargeuse sur pneus ou d'un système de convoyeur automatique à bande. Pendant le compostage, le matériau est humidifié et aéré de manière intensive via un système d'aération, avec contrôle automatique

du climat. La conversion du matériau n'a pas lieu pendant le séjour dans le tunnel. Cependant, 2 cycles de compostage ou plus peuvent être effectués. Le matériau est ensuite sorti du tunnel et, après mélange et éventuellement humidification, est emmené dans un autre tunnel (re-tunnelling).



Photos 1 en tas à l'aide de retourneurs de compost tirés par tracteur



Photos 2 en tas à l'aide de chargeuses pour déplacer les andains



Photos 3 de compostage fermée où les émissions de gaz peuvent facilement être capturées et nettoyées

1.4.2 Fermentation anaérobie (processus de digestion anaérobie)

La fermentation anaérobie, est entièrement réalisée par des micro-organismes qui convertissent la matière organique en acide gras volatile et en gaz combustible riche en méthane en 4 étapes :

- Hydrolyse
- Acidogenèse
- Acétogenèse
- Méthanogenèse

Ces quatre étapes aboutissent à un produit digéré organique qui contient presque tous les nutriments contenus dans les déchets d'origine et qui a un potentiel agronomique prouvé. Un autre produit de la digestion anaérobie est le gaz riche en méthane appelé biogaz qui peut être utilisé pour couvrir les besoins énergétiques du processus.

Déchets organiques (C-H-O-N-S-P-K-Ca-Mg) + Bactéries → Méthane (CH₄) + Dioxyde de carbone (CO₂) + Matière organique digérée (C-H-O-N-S-P-K-Ca-Mg) + Gaz résiduels (NH₃, H₂S, CO, H₂O)

1.4.2.1 Paramètres de processus

Le but de la digestion anaérobie est de créer des conditions favorables à la dégradation microbienne. Pour ce faire, le pH et le rapport C/N doivent être régulés.

1. **pH** : La digestion anaérobie nécessite un pH neutre. En conséquence, le pH du mélange alimentaire doit être connu afin d'ajuster la quantité totale ajoutée quotidiennement et d'éviter une chute excessive du pH dans le digesteur.
2. **Rapport C / N** : Un rapport C / N de 25-35/ 1 au début du processus de fermentation anaérobie est généralement considéré comme optimal. Lorsque le rapport C/N est trop

faible, il y a une carence en carbone et un excès d'ammoniac dans la solution pour inhiber la fermentation. Un rapport C/N trop élevé, en revanche, limite la croissance des micro-organismes en raison d'une carence en azote.

3. **Présence de bactéries actives** : Avoir suffisamment de bactéries actives pour effectuer les différentes étapes de la décomposition est une condition préalable à une digestion anaérobie efficace. Les digesteurs anaérobies sont doncensemencés avec une boue active.



Photos 4 Biodigester pour la fermentation anaérobie des déchets verts en compost



Photos 5 Épandage du digestat (sortie liquide d'un processus de digestion anaérobie) dans la terre

2 Possibilités de valorisation des déchets organiques dans l'agriculture

La promotion d'un secteur du recyclage des déchets organiques prospère dans les conditions suivantes :

- L'excès de biomasse est généré avec des rapports C/N variables
- Demande constante d'engrais organiques avec une politique de régénération des sols
- La présence d'entreprises de logistique et infrastructures qui réduisent le coût du déplacement de grands volumes de matières organiques et de biofertilisants entre les centres de production et les centres de consommation
- Un cadre juridique est en place qui oblige ou encourage la bonne gestion des déchets organiques
- Accès au financement pour les entrepreneurs du secteur vert
- Organismes de certification qui contrôlent la qualité des engrais organiques et étiquettent les produits avec une consommation réduite de produits chimiques

2.1 Potentiel de biomasse des chaînes de valeur agricole

Les principales chaînes de valeur agricole visitées au cours de l'étude en tant que pourvoyeurs de déchets verts sont les filières de palmiers dattiers et les serres de légumes.

2.1.1 Production de palmier dattier

La production de palmier dattier nécessite une taille annuelle du tronc et des feuilles de palmier. Cette taille produit entre 7 et 10 tonnes par hectare planté. Avec une superficie d'élevage estimée à 169 380 ha, la biomasse totale disponible se situe entre 1 et 1,5 million de tonnes.¹⁷

Malheureusement, cette biomasse abondante a un rapport C / N entre 150 et 200, ce qui la rend inadaptée à la production de biofertilisants sans ajout de déchets riches en minéraux (azote).

¹⁷ Bouguedoura Nadia, et al. 2015, Statut et perspective du palmier dattier en Algérie



Photos 6 Biomasse issue de la taille des dattes de palmier



Photos 7 en poudre de dattes de palmier

2.1.2 Production de légumes (taille)

Réputée pour sa production de dattes de haute qualité (variété Deglet Nour), la région de Biskra a connu un développement rapide de l'horticulture en serre, passant de 1 370 ha en 2000 à 3 524 ha en 2013, à 6000 ha en 2018.¹⁸¹⁹

¹⁸ <https://agritrop.cirad.fr/578839/1/2015%20Daima%20Naouri%20et%20al.pdf>

¹⁹ https://www.agroberichtenbuitenland.nl/landeninformatie/algerije/achtergrond/bedekte-teelten_sp

Avec une production de 2 à 3 tonnes de biomasse végétative par cycle, la biomasse riche en azote disponible peut être estimée à 14 000 tonnes par an en supposant qu'il y ait 2 cycles de production par an.



Photos 8 verts provenant de l'élagage des cultures cultivées dans des serres

2.2 Cadre réglementaire

2.2.1 Déchets urbains domestiques et industriels

Cadre institutionnel

Conformément à la loi 01-19 sur la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets, deux ministères sont directement impliqués dans la gestion des déchets municipaux

1. Le ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables (MEER) à travers ses différents instruments. Les institutions qui relèvent du Ministère de l'Environnement :
 - L'Agence nationale des déchets (AND)
 - Le Conservatoire National de formation à l'Environnement (CNFE)
 - Les directions de l'environnement des 48 Wilayas
2. Le ministère de l'Intérieur et des Autorités locales et de l'Aménagement du territoire (MICLAT) apporte un soutien financier aux wilayas. Le MICLAT est responsable de la mise en œuvre du programme national PROGDEM.²⁰

Les autres ministères impliqués dans le domaine de la gestion des déchets sont le ministère de la Pêche et des ressources halieutiques pour les déchets marins, le ministère de la Santé et de la réforme hospitalière, pour les déchets hospitaliers, le ministère de l'Industrie, pour les déchets spéciaux et dangereux, et le ministère de l'Agriculture pour les déchets phytosanitaires.

²⁰ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/06/Business-opportunities-in-waste-management-in-Algeria.pdf>

Le profil de pays publié par la GIZ sur le secteur de la gestion des déchets en Algérie, bien que datant de 2014, donne un bon aperçu du cadre juridique et institutionnel.²¹

Cadre juridique

- La Loi n° 01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets définit les principes de base qui conduisent à une gestion intégrée des déchets, de leur production à leur élimination ;
- La loi n° 03-10 du 19/07/2003 sur la protection de l'environnement et le développement durable énonce les principes généraux d'une gestion rationnelle de l'environnement ;
- La loi n° 04-20 du 25 décembre 2004 sur la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le contexte du développement durable définit clairement les responsabilités de chaque acteur impliqué dans le domaine de la prévention dans les zones et centres industriels.
- Law n° 85-05 du 16/02/85, telle que modifiée et complétée, relative à la protection et à la promotion de la santé ;
- Law n° 87-17 du 01/08/87 sur la protection des végétaux, y compris le titre IV ;
- La loi n° 01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets définit les principes basic qui conduisent à une gestion intégrée des déchets, de leur production à leur élimination ;
- Law n° 03-10 du 19/07/2003 sur la protection de l'environnement et le développement durable, énonce les principes généraux d'une gestion rationnelle de l'environnement ;
- Law n° 08-16 du 3/8/2008 sur l'orientation agricole ;
- Law n° 09-03 du 25/02/09 relatif à la protection des consommateurs et à la prévention de la fraude ;
- Décret présidentiel n° 95-405 du 2/12/1995 relatif au contrôle des pesticides à usage agricole, tel que modifié et complété par le décret exécutif n° 99-156 du 20/07/1999 ;
- Décret présidentiel n° 06-104 du 28/02/2006 relatif à la nomenclature des déchets (annexe III), il classe les déchets issus de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche ainsi que ceux résultant de la préparation et de la transformation des denrées alimentaires.

Provisions financières et recouvrement des coûts

- Infrastructures financées principalement par l'État ;
- Frais de gestion partiellement financés par la taxe d'enlèvement des ordures, fixée entre 500 et 1000 DA / ménage ;
- Recouvrement des coûts : soutenu par le Fond Commun des Collectivités Locales (FCCL) ;

²¹https://www.retech-germany.net/fileadmin/retech/05_mediathek/laenderinformationen/Algerien_RA_ANG_WEB_0_Laenderprofile_sweep_net.pdf

- Coût moyen du traitement et de l'élimination : entre 1500 et 2000 DA (hors amortissement).

Participation du secteur privé

- Le secteur privé est absent, à l'exception du transport des déchets agricoles (déchets verts et déchets de fruits et légumes) vers les décharges.

Depuis l'installation du nouveau gouvernement en 2019, de nouvelles mesures ont été mises en place pour les start-ups et les investissements étrangers en Algérie. Jusqu'en 2019, la participation d'un investisseur étranger dans une société algérienne était limitée à 49% et les entrepreneurs étrangers sont contraints de trouver des partenaires locaux pour des appels d'offres publics. Aujourd'hui, le gouvernement encourage les investissements privés dans le pays en simplifiant les règles et règlements pour les investissements étrangers. Ce changement a été symbolisé par la première conférence sur l'investissement qui s'est concentrée sur l'attraction des investissements étrangers en Algérie les 6 et 7 novembre 2021.

2.2.2 Soutien dédié aux entreprises en phase d'amorçage

Un ministère dédié aux entreprises en phase d'amorçage a été créé et le gouvernement actuel favorise un environnement dans lequel il est plus facile de créer une nouvelle entreprise. Pour ce faire, trois labels de type entreprises différents ont été mis en place en 2020 : le label « projet innovant », pour les entreprises entièrement nouvelles avec une idée innovante, le label « start-up » pour les jeunes entreprises répondant à un nombre spécifique de critères et le label « incubateur », pour les structures visant à guider et soutenir les start-ups (www.startup.dz). Ces entreprises bénéficient d'allègements fiscaux tels que 0% d'imposition sur les bénéfices pendant les quatre premières années, au lieu de 28% pour les entreprises ordinaires. Aussi, un meilleur lien se crée entre les fonds d'investissement et ces jeunes entreprises par la création du fonds de start-up algérien. Aujourd'hui, six banques algériennes investissent dans le fonds.

2.2.3 Rôle du Centre d'Enfouissement Technique (CET) dans la gestion des déchets municipaux

Depuis 2001, le gouvernement algérien a fait le choix d'éliminer les déchets par la mise en décharge sauvage, il a ainsi lancé un ambitieux programme de Centres d'Enfouissement Technique (CET) sur l'ensemble du territoire national. L'un des objectifs de PROGDEM est de coordonner la transition de la méthode traditionnelle d'élimination des déchets par décharge illégale à une méthode basée sur des centres d'enfouissement techniques.

L'exploitation de ces CET est confiée à des entités publiques à but lucratif, connues localement sous le nom de « EPIC », mandatées par les Wilayas. Les EPIC et les CET sont donc au centre des pratiques actuelles de gestion des déchets municipaux, toutes fractions confondues.

2.3 Demande du marché

La demande de sources biologiques de nutriments abordables a été confirmée dans toutes les chaînes de valeur agricole étudiées au cours de cette étude. Le principal moteur de la demande était soit :

- les coûts comparatifs plus faibles (les coûts des engrais minéraux sont passés à 84 000 DA par tonne pour le DAP)
- la meilleure qualité de produit observée ou perçue lors de l'utilisation d'engrais organiques

Au total, nous avons enregistré une consommation de plus de 400 000 tonnes par an de fumier dans la seule région d'El Oued, vendu par des distributeurs locaux à un coût moyen de 11 000 DA par tonne. En conséquence, le marché du fumier dans la région de Biskra et El Oued est évalué à un minimum de 4,4 milliards de DA par an.

2.4 Pratiques actuelles

Toutes les fermes visitées au cours de l'étude avaient un tas de fumier sur place dans le cadre de leur plan de fertilisation. En outre, le pays importe actuellement +/- 100 000 tonnes d'engrais minéraux N-P-K par an.

Les pratiques de fertilisation des agriculteurs varient en fonction de leur expérience et des cultures qu'ils cultivent. Cependant, ils utilisent tous du fumier dans le cadre de la préparation des terres avant la plantation. Le fumier provient de moutons et de chèvres ainsi que de la production de volaille et peut provenir jusqu'à 800 km du point d'utilisation.

Pour les agriculteurs exploitant des serres, le fumier est appliqué avant la plantation et les engrais chimiques sont appliqués par des techniques d'irrigation goutte à goutte pendant les phases de croissance et de floraison.

Pour les producteurs de pommes de terre et d'oignons, l'ajout d'engrais chimiques pendant les étapes de production varie d'un agriculteur à l'autre, mais certains agriculteurs ont choisi de combiner les deux sources de nutriments, notamment les sources organiques et chimiques car ils ont observé un meilleur rendement et rentabilité de cette manière.

Tous les producteurs de palmiers dattiers visités à Biskra et El Oued ont déclaré une préférence marquée pour les engrais organiques car ils observent une amélioration de la qualité du produit. Deux agriculteurs ont même investi dans du matériel de compostage pour réduire leur dépendance au fumier.

2.5 Disponibilité de la matière première

La matière première la plus largement disponible est la biomasse issue de l'élagage des dattiers (voir section 2.1.1). Cependant, ces déchets ont un rapport C / N compris entre 150 et 200 alors que la valeur idéale pour la fermentation se situe entre 25 et 35. En conséquence, cette matière première n'est pas adaptée à moins qu'elle ne soit mélangée à d'autres biomasses riches en azote telles que le fumier ou les déchets de cuisine.

La disponibilité de déchets riches en azote à faible coût est le principal facteur limitant pour le démarrage du compostage pour deux raisons :

- i. Jusqu'à 2/3 de la masse initiale peut être perdue pendant le processus de fermentation. Par conséquent, le coût de la matière première est un contributeur majeur au coût total de production
- ii. Le fumier est un produit vendu à un prix relativement élevé.

Les opportunités d'affaires doivent donc fournir ou inclure une solution à la pénurie de déchets organiques riches en azote qui affecte le coût total de production du compost.

2.6 Maturité de l'écosystème

En comparaison avec les pays de référence dans ce secteur, l'écosystème nécessaire pour favoriser un secteur de production de biofertilisants mature comprend :

- Les agriculteurs ayant l'habitude d'utiliser des engrais organiques ancrant la demande
- Des inspecteurs de la gestion des déchets qui veillent à la bonne gestion des déchets d'élevage
- Tri des déchets solides organiques municipaux
- Entreprises de logistique spécialisées dans la collecte des déchets verts
- Laboratoires universitaires et de sciences du sol qui acquièrent de solides connaissances sur l'effet de différents fumiers et biofertilisants sur le sol
- Organismes de certification qui certifient les pratiques de fertilisation biologique
- Start-ups ou PME qui fournissent des services d'assistance agricole aux agriculteurs pour optimiser le retour sur investissement dans différents intrants (agriculture de précision)
- Laboratoires commerciaux fournissant des services d'analyse à faible coût pour les engrais organiques et les sols
- Institutions financières désireuses d'investir dans des projets « verts »
- Fabricants locaux de machines pour broyer la biomasse, mélanger les tas de compostage, sécher, granuler et mettre en sac le compost

L'écosystème en est encore à ses balbutiements avec très peu de ces composants en place. Cependant, deux des composants clés sont en place : les agriculteurs ayant l'habitude d'utiliser les engrais organiques ainsi que les fabricants locaux de machines agricoles. Les universités des wilayas de Biskra et d'El Oued ont toutes deux des programmes dédiés à ce sujet.

3 Analyses de rentabilisation viables

Quatre opportunités d'affaires ont été identifiées après une analyse de la demande du marché, de l'offre et des conditions réglementaires en place. Ces possibilités couvrent des lacunes spécifiques dans la chaîne de valeur des engrais organiques, telles que l'approvisionnement bien équilibré en déchets à bas prix et la compétitivité par rapport à la pratique actuelle de l'épandage direct de fumier.

3.1 Analyse de rentabilisation 1 : Collecte et prétraitement des déchets de palmier dattier destinés à être utilisés comme matière première dans la production de compost ou comme substrat pour la pépinière

Tous les déchets organiques sont une matière première potentielle pour les biofertilisants. Cependant, la teneur en matière sèche et le rapport carbone/azote sont deux paramètres qui doivent être connus pour évaluer l'efficacité de sa fermentation.

La biomasse riche en carbone la plus abondante identifiée au cours de l'étude est les différentes parties des palmiers dattiers qui sont enlevées lors de leur taille annuelle. Cependant, cette biomasse présente certains défis :

- Il a un rapport C/N de 200, bien au-dessus de l'objectif de 35 pour un compostage rapide
- Il est dispersé sur les différentes fermes et donc sa collecte a un coût
- Il ne peut pas être utilisé comme matière première pour le compostage sans prétraitement mécanique (écaillage ou broyage)

L'analyse de rentabilisation proposée est que les petites entreprises se spécialisent dans la création de valeur par la collecte et le broyage de cette biomasse abondante et riche en carbone. Le produit sera une matière première homogène pour différents processus tels que la composition, les pépinières horticoles et la production de champignons.

3.1.1 Modèle d'affaires

Dans cette opportunité d'affaires, le marché cible est celui des producteurs de compost et d'autres entreprises à la recherche d'un substrat ligneux soit pour les pépinières, la production de champignons ou la production de biochar.

Le marché le plus rentable est celui des pépinières pour les serres qui produisent des légumes dans les régions d'El Oued. Avec plus de 3000 ha de serres, les pépinières sont un secteur en pleine croissance qui est entièrement intégré dans la chaîne de valeur des serres qui ont besoin de plantes de la plus haute qualité pour la transplantation dans les serres. Ces pépinières utilisent des substrats auxquels elles peuvent ajouter l'engrais pendant les 3 à 4 semaines de développement de la plante.

Le marché de moindre valeur est celui des producteurs de compost qui peuvent donc recevoir une matière première prête à l'emploi à un coût inférieur à celui qu'ils devaient financer directement la collecte. Le marché croissant du fumier génère également un approvisionnement en compost, qui est commercialisé comme une meilleure version du fumier pour les agriculteurs. À titre d'exemple, PROFERT, un importateur local d'engrais chimique, exploite depuis quelques années une installation de compostage d'une capacité de 15 000 T de déchets par an. Au fur et à mesure que de plus en plus d'entrepreneurs entreront dans cette chaîne d'approvisionnement, la demande de matière première (ligneuse et humide) augmentera.

D'autres marchés pour le substrat comprennent la production de champignons et de biochar.

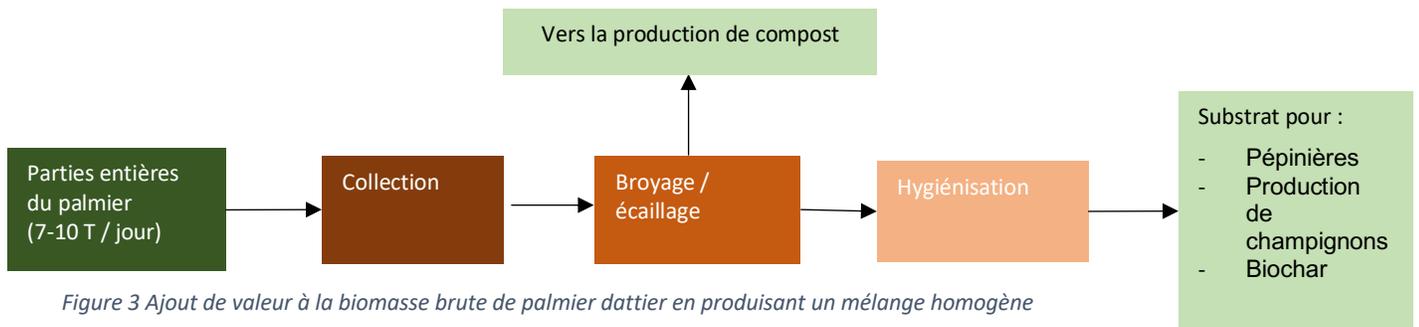


Figure 4 Broyeur de biomasse ligneuse installé dans une installation de compostage à Biskra

Le modèle d'exploitation recommandé est :

- Le site de transformation doit être situé à proximité de nombreuses plantations de palmiers dattiers combinant une surface totale de 500 hectares. Cela garantira que le coût de la matière première est minimisé. A ce jour, les planteurs de palmier dattier financent l'entretien de leurs palmiers.
- De plus, l'entrepreneur doit s'attacher des acheteurs pour la biomasse broyée ou broyée à un prix compris entre 3000 et 4000 dinars / tonne.
- Le revenu brut annuel attendu pour l'entreprise est de 5 250 000 dinars / an
- Les coûts d'exploitation annuels prévus pour l'entreprise sont les suivants :
 - Électricité pour le broyeur (56 000 kWh / an)
 - 2 ouvriers + 1 chauffeur

- Carburant pour le camion (1000 L / an)

3.1.1.1 Investissement recommandé

L'investissement recommandé est le suivant :

- Broyeur mobile / broyeur d'une capacité de 500 kg / h
- 500 m² d'espace dont 100 m² couverts d'accès électrique
- En option : Camion d'une capacité de 10 T

3.1.2 Compétences requises et création d'emplois potentiels

Cette activité commerciale devrait nécessiter 3 employés peu qualifiés et 1 personnel qualifié pour le contrôle des opérations de broyage et de la qualité du produit fini.

- Aucune compétence technique spécifique n'est requise car la tâche principale sera d'alimenter le broyeur et de déplacer le produit fini dans le stockage et l'emballage.
- Cependant, tout le personnel devra être formé au fonctionnement du broyeur / broyeur
- La matière première peut être collectée dans les plantations de palmiers à l'aide de camions loués ou d'un camion appartenant à l'entrepreneur.

3.2 Analyse de rentabilisation 2 : Collecte et distribution de la fraction organique des déchets solides municipaux aux producteurs de compost

L'un des obstacles identifiés pour rendre le compost compétitif est le coût actuel élevé du flux de déchets organiques riches en azote nécessaire (rapport C / N inférieur à 25) qui est nécessaire avec les déchets de palmier dattier abondants et riches en carbone pour produire du compost.

La source la plus *accessible* de déchets organiques riches en azote est le fumier animal, tandis que la source la plus *abondante* de déchets organiques riches en azote est la fraction organique des déchets solides municipaux. Cependant, il reste inaccessible car il n'y a pas eu de modèle rentable pour le tri et la livraison aux usines de recyclage.

L'analyse de rentabilisation proposée est qu'une petite entreprise se spécialise dans la mise en place de modèles innovants pour le tri et la collecte d'un flux purement biodégradable de déchets provenant de sources municipales avec des travailleurs peu qualifiés. Ces entreprises peuvent favoriser considérablement la croissance d'un secteur de recyclage des déchets, car elles sont le chaînon manquant pour exploiter la source de biomasse la plus abondante.

3.2.1.1 Modèle d'affaires

Dans cette opportunité commerciale, le marché cible est celui des installations de production de compost qui ont besoin d'un approvisionnement prévisible et à faible coût en déchets organiques en tant que matière première à mélanger avec les déchets riches en carbone des palmiers dattiers.

L'investissement requis consistera à acheter des bacs dédiés et les véhicules qui collecteront les déchets organiques et les livreront aux installations de compostage du client. Cette analyse de rentabilisation est particulièrement attrayante dans les villes où les universités et les hôtels sont

capables de générer des flux prévisibles de déchets organiques de cuisine et où il y a plus d'un client pour les déchets organiques collectés triés.

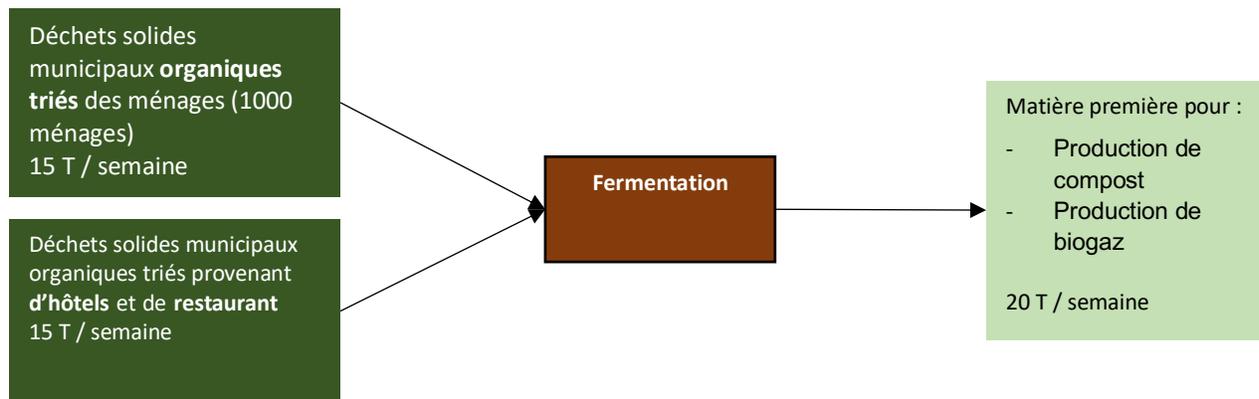


Figure 5 Ajouter de la valeur aux déchets solides municipaux organiques en introduisant le tri et en les fournissant comme matière première alternative riche en azote pour les producteurs de compost

Compte tenu de l'organisation actuelle du secteur, cette activité peut nécessiter des autorisations des Wilayas ou la création d'un EPIC dédié. Cependant, cette matière organique fermentée a une valeur marchande de 5000 à 6000 dinars par tonne.

Dans tous les cas, dans le modèle d'exploitation recommandé :

- Les déchets devront être obtenus gratuitement (les bacs sont installés sur les sites sans aucune incitation monétaire supplémentaire pour le tri)
- Les acheteurs devront représenter un volume de demande supérieure à la capacité de collecte de l'entreprise
- Les déchets triés doivent être fermentés pendant 5 jours pour ajouter de la valeur en réduisant le rapport C/N et en stabilisant en partie les déchets organiques.
- Le produit final doit être vendu au prix de 5 000 à 6 000 dinars / tonnes comme matière première pour le processus de compostage plus long (40 jours de fermentation et de maturation)
- Le revenu annuel attendu est de 5 000 000 dinars / an.
- Les acheteurs paient le coût de livraison de la matière organique à leur site

3.2.1.2 Investissement recommandé

L'investissement recommandé est le suivant :

- Bacs dédiés pour les emplacements sélectionnés :
 - o Restaurant
 - o Hôtels
 - o Cantines
 - o Ménages
- Un petit camion d'une capacité de 5 tonnes
- Un site de 1000 m² pour coordonner le contrôle qualité et la livraison aux usines de compostage.

3.2.1.3 Compétences requises et création d'emplois potentiels

Cette activité commerciale devrait nécessiter 3 employés peu qualifiés et 1 personnel qualifié pour le contrôle des processus et de la qualité.

- Aucune compétence technique spécifique n'est requise car la tâche principale sera de collecter les déchets triés à partir des emplacements choisis.
- Un personnel technique sera embauché pour le suivi des opérations de fermentation.

3.3 Analyse de rentabilisation 3 : Collecte et prétraitement du fumier destiné à être utilisé comme matière première pour la production de compost

Comme indiqué à la section 3.2, l'un des obstacles identifiés à la production d'un compost revendu à un prix compétitif est l'accès limité à un flux de déchets organiques riches en azote bon marché (rapport C / N inférieur à 25) qui peut être mélangé avec les déchets de palmier dattier abondants et facilement mobilisable.

Le fumier est connu pour sa teneur élevée en azote. En conséquence, c'est déjà un produit commercial que les agriculteurs achètent pour engraisser leurs sols et les fabricants de compost. Compte tenu des effets négatifs de l'épandage direct de fumier, l'occasion d'affaires proposée est qu'une PME de taille moyenne investisse dans des séchoirs industriels afin de réduire la teneur en humidité et d'améliorer la rentabilité du transport du fumier vers les agriculteurs et les producteurs de compost.

3.3.1 Modèle d'affaires

Pour cette opportunité d'affaires, les marchés cibles sont similaires au cas précédent car ils sont tous deux spécialisés dans la fourniture de matières premières pour la production de biofertilisants. Cependant, ils peuvent également vendre le fumier prétraité directement aux agriculteurs sous forme d'amendement organique pour les sols, riche en azote.

Actuellement, ce marché est approvisionné par des revendeurs de fumier qui offrent des camions de fumier brut. Ce fumier brut a une teneur élevée en azote, mais il a également une charge élevée de larves de mouches et contient des graines de mauvaises herbes qui deviennent une nuisance dans les zones où le fumier est appliqué.

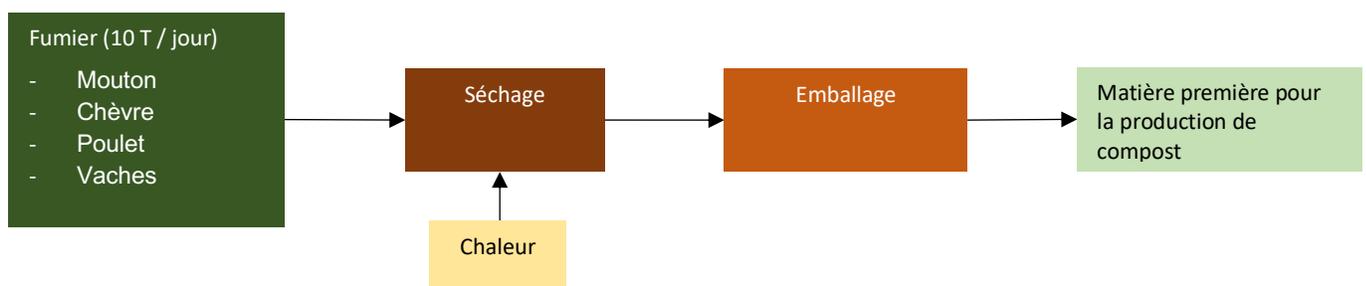


Figure 6 Ajouter de la valeur au fumier en séchant et en réduisant la teneur en eau avant le transport vers les utilisateurs finaux dans différentes wilayas



Figure 5 de séchage du fumier pour approvisionner le secteur agricole en Côte d'Ivoire

Le modèle d'exploitation recommandé est le suivant :

- l'entreprise devra être située dans une zone d'élevage à haute densité qui génère au moins 10 000 T de fumier par an.
- le fumier devra être acquis à un coût nul ou presque nul auprès des fermes qui le produisent.
- la source de chaleur devra être la source d'énergie la moins chère disponible, à savoir le gaz naturel
- le fumier séché devra être vendu pour 7000 – 8000 Dinars / Tonne
- Le revenu annuel attendu de l'activité est de 7 000 000 Dinars / an.

3.3.1.1 Investissement recommandé

L'investissement recommandé pour 10 T de fumier par jour

- Un camion d'une capacité de 5 T
- Un espace de séchage pour le fumier
- Un séchoir capable de fournir suffisamment d'énergie thermique pour sécher 10 T de fumier par jour (vaporer 1 T d'eau par heure)
- Équipement d'ensachage pour emballer le fumier séché avant son transport vers les usines de compostage

3.3.1.2 Compétences requises et création d'emplois potentiels

Cette activité commerciale devrait nécessiter 3 employés peu qualifiés et 1 personnel qualifié pour le contrôle des processus et de la qualité.

L'activité principale de cette entreprise est de réduire l'humidité du fumier et d'augmenter sa valeur avant le transport. Aucune compétence technique spécifique n'est requise pour cette tâche. Cependant, tout le personnel devra recevoir une formation sur le fonctionnement du séchoir (alimentée au gaz ou autrement).

3.4 Analyse de rentabilisation 4 : La production de compost comme processus de stabilisation du fumier

L'analyse de rentabilisation finale est la production d'un biofertilisant riche en minéraux (N-P-K) destiné à la vente en substitution du fumier brut actuellement commercialisé.

Ce modèle nécessite des investissements plus importants dans les machines et engins pour déplacer de grands volumes de matière organique avant et pendant le processus de fermentation.

La valeur ajoutée réside dans la fermentation du fumier pour :

- i) désactiver les graines de mauvaises herbes
- ii) réduire les mouches et les odeurs et
- iii) avoir un impact plus durable sur la structure du sol au fil du temps.

3.4.1 Modèle d'affaires

Pour cette opportunité d'affaires, le marché cible est celui des agriculteurs qui utilisent actuellement le fumier comme l'une des sources d'éléments nutritifs ajoutés à leurs sols. L'objectif de cette transformation est de fournir une alternative plus avantageuse et stable à un prix compétitif par rapport au prix actuel du fumier de poulet (vendu à 20 000 dinars / tonne). Deux technologies peuvent être utilisées pour y parvenir, la fermentation anaérobie et la fermentation aérobie.

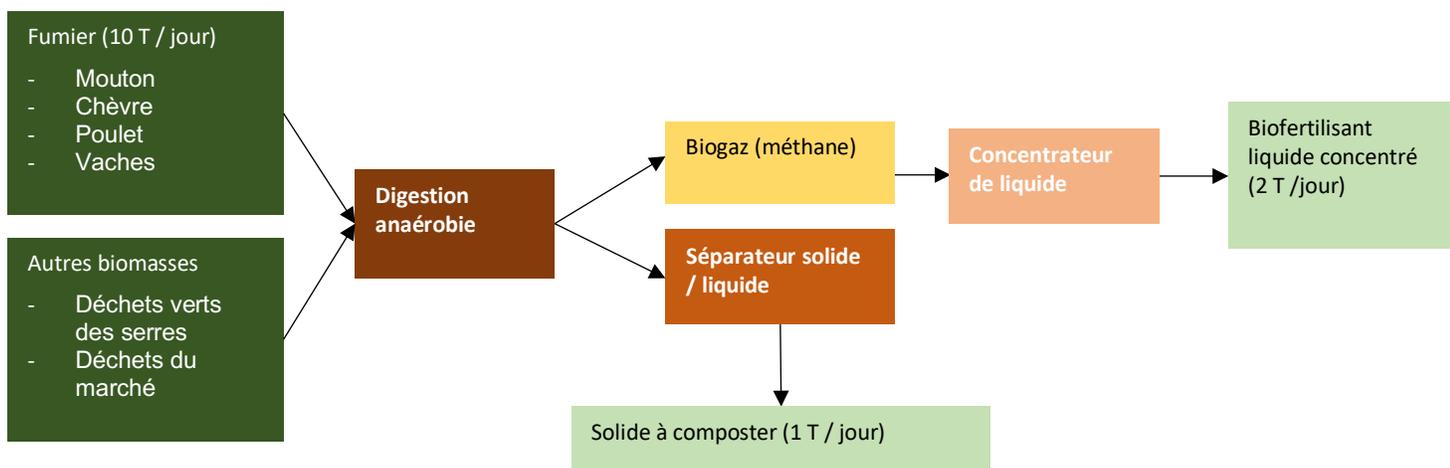


Figure 6 procédé de fermentation anaérobie

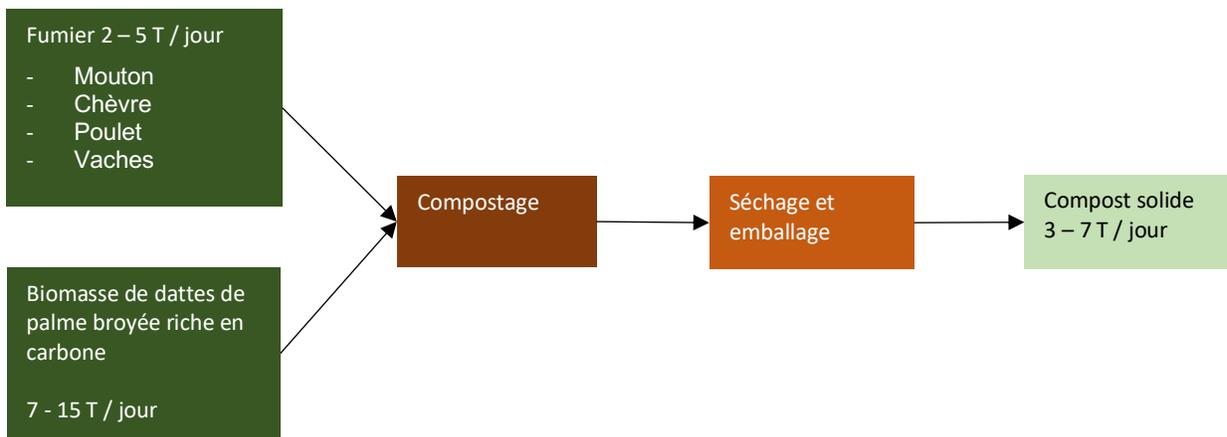


Figure 7 processus de fermentation aérobie



Figure 8 Digesteur anaérobie pour la fermentation du fumier en compost et en biogaz



Figure 9 de compostage à Biskra

Le modèle d'exploitation recommandé :

- La matière première (biomasse riche en carbone et riche en azote) doit être obtenue pour un prix moyen de 5000 à 6000 dinars / tonne
- Les propriétés agronomiques du compost par rapport au fumier brut doivent être démontrées afin que la valeur marchande puisse être confirmée à 15 000 – 25 000 dinars / tonne
- L'entreprise devrait demander une certification internationalement reconnue pour le compost
- Le chiffre d'affaires annuel estimé est de 27 000 000 à 40 000 000 dinars par an

3.4.1.1 Investissement requis

L'investissement requis pour 10 T de fumier brut combiné à d'autres biomasses traitées par jour comprend :

- Digesteur anaérobie 200 m³ ou 2000 m² plate-forme pour le compostage
- Tracteur
- Chargeur frontal
- Camion pour collecter la biomasse

3.4.1.2 Compétences requises et création d'emplois potentiels

Ce modèle d'affaires nécessite à la fois du personnel qualifié et non qualifié. Au total, nous prévoyons entre 8 et 10 emplois créés comme suit :

- 2 Chauffeurs pour les camions et autres engins
- 3 Manœuvres non qualifiés
- 1 – 2 Technicien opérant les unités de fermentation
- 1 – 2 Administration et ventes pour gérer les relations avec les clients et les différents services publics