

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA-BEJAIA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Microbiologie



VALORISATION DES RESIDUS AGRO-INDUSTRIELS

– Polycopié de Cours –

Conçu et réalisé par :
Dr. SALMI Adouda

*A l'usage des étudiants de Master & Licence en Biotechnologie
microbienne et Microbiologie*

Avril 2021

Préambule

La protection de l'environnement est devenue une préoccupation collective. Le problème de la gestion des déchets revient constamment et concerne tout le monde. Compte tenu des impacts liés aux déchets liquides et solides sur l'environnement et la santé humaine, la gestion des eaux usées et déchets solides industriels, à travers la mise en œuvre de procédés de traitement et de valorisation, est devenu l'un des enjeux majeurs.

Une idée relativement récente consiste à considérer les déchets comme une ressource à exploiter et non comme des rebuts dont il faut se débarrasser. La valorisation des déchets ou les méthodes qui permettent d'avoir de nouvelles ressources à partir de déchets sont diverses et nombreuses. Ces techniques sont en plein développement, grâce aux apports des nouvelles technologies.

Ce support de cours, à caractère pédagogique et didactique, aborde la notion de valorisation des résidus issus des activités agro-industrielles, s'adresse aux étudiants des filières de microbiologie, de biotechnologie et diverses spécialités liées à l'industrie et l'environnement et aux étudiants suivant un cursus d'études en sciences de la nature et de la vie.

Dans un enchaînement logique, ce cours vise dans un premier temps à définir les notions générales liées aux résidus et à la valorisation, et dans un second temps, à se familiariser avec les processus utilisés dans la gestion, la valorisation des résidus générés par l'agro-industrie particulièrement.

Ce cours est scindé en unités d'apprentissage, qui permettront à l'apprenant d'acquérir des compétences non seulement sur le plan fondamental concernant les différentes filiales de l'agro-industrie mais également, sur les techniques de production, et de valorisation.

Sommaire

Préambule

Introduction générale

Liste des figures
Liste des tableaux

Chapitre I : Définitions et notions générales sur la valorisation

I.	Définitions.....	02
I-1	L'agro-industrie.....	02
I-2	Déchet.....	02
I-3	Sous-produit.....	07
I-4	Coproduit.....	07
II.	Notions générales sur la valorisation.....	07
II-1	Valorisation énergétique.....	08
II-2	Valorisation matière.....	09
II-3	Valorisation organique.....	11

Chapitre II : Valorisation des coproduits de transformation des agrumes

I.	Production d'agrumes.....	14
II.	Fabrication du jus d'agrumes.....	14
III.	Coproduits de la transformation des agrumes.....	17
IV.	Valorisation des coproduits de la transformation des agrumes.....	17
IV-1	Extraction des huiles essentielles.....	17
IV-2	Extraction des pectines.....	19
IV-3	Production d'aliments pour le bétail.....	22
IV-4	Production des pâtes d'agrumes (oranges).....	23

Chapitre III : Valorisation des coproduits de dattes

I.	Généralités sur la datte.....	24
----	-------------------------------	----

II.	Production mondiale des dattes	25
III.	Devenir des récoltes de dattes et coproduits	25
IV.	Valorisation des coproduits de dattes	26
IV-1	Valorisation des dattes de seconde qualité.....	26
	<i>IV-1-1 Transformation technologique des dattes</i>	<i>27</i>
	<i>IV-1-2 Transformation biotechnologiques des dattes.....</i>	<i>33</i>
IV-2	Valorisation des noyaux de dattes.....	36

Chapitre IV : Valorisation des coproduits de l'industrie sucrière

I.	Industrie sucrière.....	40
II.	Plantes sucrières	41
II-1	Canne à sucre.....	41
II-2	Betterave sucrière	41
III.	Fabrication de sucre	41
IV.	Coproduits de l'industrie sucrière	45
IV-1	Bagasse	45
IV-2	Pulpe de betterave	47
IV-3	Jus de canne (Vesou)	48
IV-4	Ecumes.....	49
IV-5	Mélasses	49

Chapitre V : Valorisation des coproduits d'abattoirs de volailles

I.	Production mondiale de viande de poulet	54
II.	Opérations réalisées dans un abattoir de volailles.....	54
III.	Valorisation des coproduits d'abattoirs de volaille	58

III-1 Plumes issus d'abattoir de volaille	59
III-2 Os issus d'abattoir de volaille	61
III-3 Sang issu de l'abattoir de volailles	62
III-4 Viscères, pattes et têtes	63

Chapitre VI : Valorisation des coproduits d'industrie oléicole

I. Généralité sur l'olivier	64
II. Production mondiale d'olives	64
III. Industrie oléicole et production d'huile d'olive	65
IV. Valorisation des coproduits de l'olivier	67
IV-1 Grignons d'olives.....	67
IV-2 Feuilles et rameaux	75
IV-3 Margines	76

Conclusion générale

Références bibliographiques

Liste des figures

N° de figure	Titre de figure	N° de page
1	Schéma général de la Valorisation	08
2	Schéma général de la valorisation énergétique	09
3	Schématisation du compostage	11
4	Schématisation de la méthanisation	12
5	Schéma détaillé de la structure des agrumes	13
6	Processus de fabrication du jus d'agrumes	16
7	Schéma démonstratif d'une expression à froid à l'aide d'une presse	18
8	Représentation schématique d'un procédé industriel de production de pectine	21
9	Fruit et graine du dattier	24
10	Devenir des récoltes de dattes	26
11	Processus de fabrication de la confiture et de la marmelade de dattes.	29
12	Processus de fabrication du sirop et du jus de dattes	30
13	Processus de fabrication du sucre de dattes	31
14	Processus de fabrication de la farine de dattes	32
15	Réaction chimique permettant la production du vinaigre.	33
16	Processus de fabrication du vinaigre de dattes	34
17	Etapas la production de l'éthanol à partir de déchets de dattes	35
18	Diagramme de fabrication de la poudre des noyaux de dattes torréfiés	38
19	Les étapes d'extraction par solvant de l'huile de noyaux de dattes	39
20	Schéma général d'une sucrière	40
21	La canne à sucre	41
22	La betterave sucrière	42
23	Processus de fabrication du sucre	43
24	Organigramme du processus de l'abattage pour les volailles	57
25	Structure de l'olive	64
26	Etapas d'extraction de l'huile d'olive	66
27	Les différentes voies de valorisation des grignons d'olives	68
28	Principale étapes de l'extraction de l'huile du grignon d'olive	69
29	Extracteur discontinu	70

30	Extracteur continu	71
31	Etapes suivies lors de l'extraction de l'huile du grignon d'olive	72
32	Voies de valorisation des margines	77
33	Conversion biologique des composants de la margine en anaérobiose	80

Liste des tableaux

N° du tableau	Titre du tableau	N° de page
I	Classification des déchets selon le risque	05
II	Opérations de valorisation matière	09
III	Composition moyenne pour 100g de dattes	25
IV	Teneurs en éléments minéraux de noyaux torréfiés (variété Bouhattam)	37
V	Composition chimique (moyenne en pourcentage) de la mélasse de betterave	49
VI	Composition chimique des margines	76

Introduction générale

Le développement industriel (agro-alimentaire, papeterie, industries chimiques, industries de transformation, etc.) s'accompagne d'importantes quantités de résidus, qui menace l'environnement via une pollution de l'air, de l'eau et des sols et engendrant des problèmes sanitaires. L'agro- industrie en particulier, est la plus diversifiée et représentative quel que soit le niveau de développement du pays. Elle génère en effet, la partie la plus importante des résidus organiques produits par l'ensemble des industries. Dans les pays développés, la quasi-totalité de ces déchets est traitée et valorisée, soit par réutilisation de la matière, soit comme aliments en élevage, ou encore pour produire de l'énergie. En revanche, dans la plupart des pays en développement, bon nombre d'agro-industries sont confrontées à des difficultés de gestion efficiente de leurs déchets. La majorité des industries qu'on y rencontre se contente d'éliminer leurs déchets par incinération ou en les convoyant à la décharge publique d'ordures ménagères. Ces mauvaises pratiques génèrent des impacts néfastes sur la santé publique et les ressources naturelles et compromettent ainsi le développement économique durable des pays ; l'agriculture, le tourisme, etc.

Pour pallier à cette situation et protéger l'environnement ainsi que la santé des populations, il est impérieux de proposer des stratégies adéquates de gestion et de valorisation des déchets agro-industriels. En effet, une bonne gestion de ces déchets a un double bénéfice : économique et environnemental.

Chapitre I :

Définitions et notions générales sur la valorisation

La valorisation est une notion relativement récente, elle fait appel à plusieurs méthodes qui sont en plein développement, grâce aux apports des nouvelles technologies, dans le but d'avoir de nouvelles ressources. Ce premier chapitre est dédié aux définitions et aux notions générales concernant les résidus ainsi qu'aux différentes voies de traitement et de valorisation.

I-Définitions

Les mots clés utilisés dans ce cours sont définis comme suivant :

I-1 Agro-industrie

L'agro-industrie est l'ensemble des industries directement liées à l'agriculture. Cela inclut tous les systèmes de production agricole et s'étend à toutes les entreprises qui fournissent des matières premières (engrais, pesticides, machines) à l'agriculture, ainsi que les entreprises qui transforment les produits agricoles en produits commercialisables. En ce sens, le secteur agro-industriel ne se limite pas aux produits alimentaires, qui sont propres au secteur agro-alimentaire, mais comprend également tous les départements parallèles de développement des ressources agricoles, principalement : papier, bioénergie, biomatériaux, cuir, textiles, huiles essentielles, produits cosmétiques, tabac, etc.

I-2 Déchet

Un déchet est « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien, meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon » . Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet. Ce n'est pas pour autant que cet élément est inutilisable, en l'état ou après modification. D'autres variantes existent et la notion de déchet peut être abordée de façon économique, sociale, en fonction de sa nature chimique, etc.

Du point de vue économique, un déchet est un bien qui n'a, à priori, aucune valeur marchande. Sociologiquement, le déchet est le témoin d'une culture et de ses valeurs. Il reflète le niveau social de la population et son espace de développement : zones rurales / urbaines, logements collectifs / individuels.

La définition du déchet n'est pas totalement acceptée par tous. C'est notamment le cas lors des évolutions qu'il pourra subir (opérations de collecte, tri, transformation primaire) et qui lui confère des caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques différentes, et de fait, une valeur économique.

I-2-1 Classification des déchets

Les déchets, toutes catégories confondues, peuvent être regroupés en deux grandes fractions : les déchets organiques et les déchets inorganiques.

a- Déchet organique

Les déchets organiques représentent tous les résidus ou sous-produits générés par l'agriculture, l'industrie alimentaire ou les collectivités. Ils sont composés de matières organiques non synthétiques et se caractérisent par la présence d'atomes de carbone provenant d'organismes vivants (plantes ou animaux). Ces déchets sont utilisés pour le compostage. Ils sont également appelés « déchets fermentescibles », c'est-à-dire éléments pouvant être dégradés par des micro-organismes représentant pour eux une des sources de nutriments.

b- Déchet inorganique

Les déchets inorganiques regroupent les catégories de matière comme le verre, la poterie, les matériaux métalliques, les cailloux et les particules fines comme le sable.

On distingue deux grandes catégories de déchets selon le risque (Tableau I) qu'ils font courir à l'homme ou à l'environnement.

❖ *Déchets non dangereux*

Un déchet non dangereux ou « déchet banal » est un déchet qui ne présente aucune des propriétés de danger. Les déchets non dangereux sont généralement divisés en deux catégories : les déchets non dangereux non inertes et les déchets non dangereux inertes.

- ***Déchets non dangereux non inertes***, produits par les ménages, collectivités et l'ensemble des acteurs économiques :

a/ Des déchets recyclables

Ces déchets sont constitués de matériaux qui, après une éventuelle étape de prétraitement,

et/ou de transformation, peuvent être utilisés en substitution d'une matière première vierge dans un cycle de production (recyclage), ex : métaux, verre, cartons, papiers, bois, plastiques, textiles.

b/ Déchets organiques

Ces déchets contiennent des matières organiques biodégradables : essentiellement des déchets de jardin, des restes de repas de l'alimentation domestique ou collective, des invendus issus de la distribution de déchets alimentaires agricoles, etc.

c/ Déchets présentant un intérêt comme combustible

Les déchets sont utilisés dans les filières de valorisation énergétique. Après mise en place d'une collecte sélective ou refus de triage, il peut s'agir de déchets ménagers ou industriels résiduels, riches en plastiques.

d/ Déchets en mélange

Ces déchets sont plus difficiles à valoriser puisqu'ils contiennent plusieurs matières. Ils suivent souvent la voie de l'élimination par incinération ou enfouissement.

- ***Déchets non dangereux inertes*** ce sont des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucun changement ou réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable par les microorganismes. Ils ne détériorent pas les matières avec lesquelles ils interagissent d'une manière à nuire à l'environnement ou à la santé humaine.

❖ *Déchets dangereux*

Les déchets dangereux se caractérisent par une atteinte directe ou indirecte à l'environnement ou à la santé à court, moyen ou long terme.

Pour cette raison, ils doivent être collectés, transportés et traités de manière appropriée, et plusieurs stratégies d'Etats, de collectivités ou d'entreprises visent à réduire leur production. Les déchets dangereux peuvent être éliminés par incinération ou enfouis dans une décharge spéciale.

Les ménages et les acteurs économiques génèrent des déchets dangereux. Il peut s'agir d'une petite quantité de déchets produits occasionnellement, comme certains déchets d'équipements

électroniques, les produits phytosanitaires utilisés pour l'entretien des jardins et des espaces verts, etc. Il peut également s'agir de déchets générés par des industries spécialisées de manière significative.

Tableau I : Classification des déchets selon le risque

Catégorie		Traitement	
Déchets dangereux	<i>Déchets spéciaux</i>	Incinération ou par enfouissement	
	<i>Déchets ultimes</i>		
Déchets non dangereux	<i>Déchets non dangereux non inertes</i>	Les déchets recyclables	Recyclage (Valorisation Matière)
		Les déchets organiques	Biométhanisation/compostage (Valorisation organique)
		Les déchets présentant un intérêt comme combustible	Combustion (Valorisation énergétique)
		Les déchets en mélange	Élimination en stockage
	<i>Déchets non dangereux inertes</i>	Remblai/ stockage	

Les déchets ultimes qui ne sont plus susceptibles d'être traités ou valorisés dans les conditions techniques et économiques du moment. Ils ne doivent être stockés (enfouis) dans un Centre de Stockage des Déchets Ultimes (CSDU). Ex : Pots de peinture, solvants, déchets radioactifs.

Les déchets spéciaux sont des déchets dangereux en raison de leurs caractéristiques. Ils doivent donc subir un ensemble de traitements appropriés pour en réduire la toxicité et le risque de contamination. Ils nécessitent des filières spécifiques de collecte, transport, traitement, recyclage et élimination. On distingue plusieurs types de déchets spéciaux en fonction de leur origine :

- les déchets dangereux des ménages
- les déchets d'activités de soins à risques infectieux
- les médicaments.

Selon l'ADEME, « Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie », les déchets peuvent également être classés en fonction de leur origine (ménage, service public, etc.)

1. Déchets municipaux ou résidus urbains

- *Déchets ménagers* : Il s'agit de tous les déchets générés par les activités ménagères quotidiennes. Ils englobent l'ensemble des ordures ménagères, des encombrants, des déchets ménagers spéciaux, des déchets de l'assainissement individuel et des déchets ménagers liés à l'automobile.
- *Déchets issus des activités économiques* : comportent les déchets générés par les activités de l'artisanat, des commerces, des bureaux et des petites industries ou d'établissements collectifs et leur élimination est la même que les ordures ménagères.
- *Déchets du nettoyage* : sont des déchets générés par l'entretien du domaine public.
- *Déchets des espaces verts publics* : englobent les déchets végétaux provenant des activités d'entretien des espaces verts.
- *Déchets de l'assainissement public* : déchets résultant du curage des réseaux d'assainissement et du traitement des eaux usées collectées.

2. Déchets industriels

Il s'agit de déchets générés par des entreprises industrielles, commerciales et artisanales, et leur élimination est légalement sous la responsabilité de l'exploitant ou de l'entreprise. Ils comprennent des matériaux de différentes propriétés et compositions : déchets de fabrication, emballages, sous-produits de fabrication, déchets, résidus de nettoyage, etc.

3. Déchets agricoles, d'activités de soins et des travaux publics

Ils sont générés par l'agriculture, la sylviculture et l'élevage. La plupart de ces déchets sont des liquides, connus sous le nom « eaux usées ». Leur richesse en matière organique leur permet d'être utilisés sur place.

Les déchets générés par les activités de soins médicaux ne sont pas seulement les déchets générés par les hôpitaux et les cliniques, mais aussi les déchets produits par diverses institutions médicales telles que les lieux de retraite, les pharmacies et les services vétérinaires. Le producteur devrait être responsable de l'élimination de ces déchets.

Les déchets de construction et de travaux publics sont des déchets inertes provenant des bâtiments (démolition), des travaux publics (grands projets d'infrastructure), des mines et carrières, mais comprennent également d'autres déchets tels que le gypse, le bois traité, les résidus de peinture, etc.

I-3 Sous-produit

Un sous-produit est le résidu qui apparaît durant la fabrication ou la distribution du produit fini. C'est une substance ou un objet issu d'un processus de production dont le but premier n'est pas la production de cette substance ou cet objet. Sa production est involontaire, il peut être utilisé directement, ou comme composant d'un autre processus de production. Ex : les sous-produits animaux (os, appendices, etc.) des abattoirs.

I-4 Coproduit

Un coproduit est une matière, intentionnelle et inévitable, créée au cours du même processus de fabrication et en même temps que le produit principal. Le produit fini principal et le coproduit doivent répondre aux certaines caractéristiques et spécifications, et chacun peut être utilisé directement à des fins spécifiques. Les caractéristiques des coproduits résident également dans leur valeur économique : le marché spécifique, la cotation, etc. du produit concerné. Ex : Coproduits de la transformation du lait (lactosérum) ; Coproduits de la transformation de la betterave sucrière ou de la canne à sucre (pulpes de betterave, mélasse).

Un résidu est considéré comme un coproduit si l'ensemble des conditions suivantes sont remplies :

- L'utilisation de la substance ou de l'objet est certaine.
- La substance ou l'objet peut être utilisé directement sans traitement supplémentaire autre que les pratiques industrielles courantes.
- La substance ou l'objet est produit en faisant partie d'un processus de production.
- La substance ou l'objet n'aura pas d'effet nocif global sur l'environnement ou la santé humaine.

II- Notions générales sur la valorisation

La valorisation est un terme générique recouvrant le recyclage matière et organique, la valorisation énergétique des déchets, ainsi que le réemploi, la réutilisation et la régénération (Fig. 1). Il s'agit de toute modification de résidus de production dans le but de les réintroduire sur le marché en tant que nouveaux ingrédients ou produits.

Le traitement des déchets par les producteurs et leur utilisation en tant que ressources à valoriser et non comme des déchets à éliminer est à l'origine de la notion de valorisation. Il

existe trois principaux types de valorisation : énergétique, matière et organique

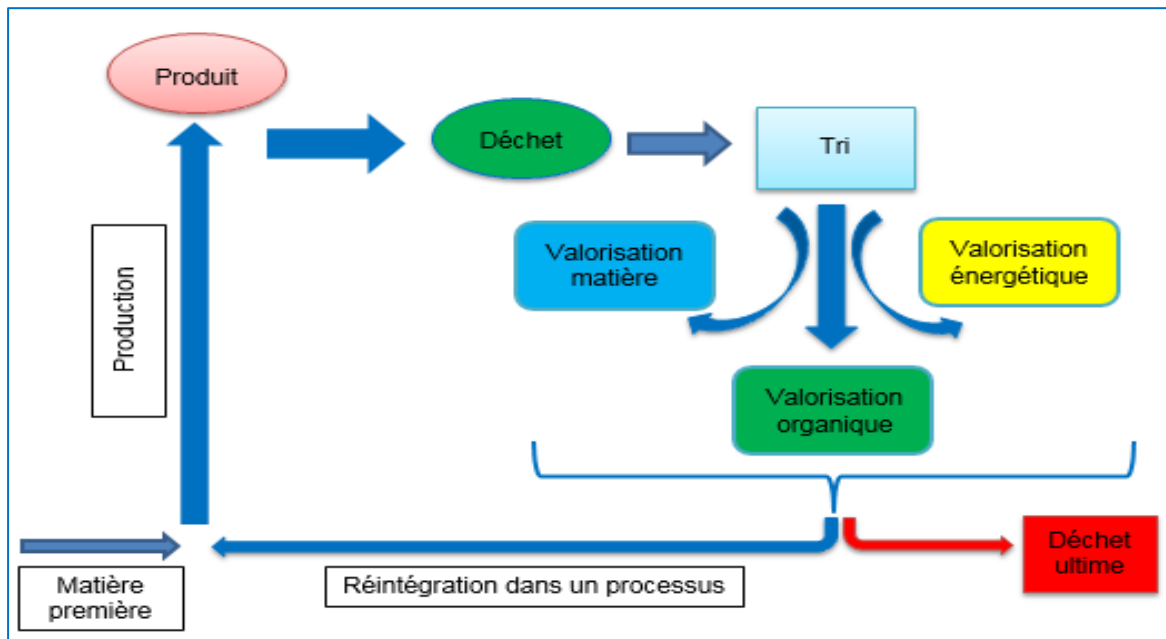


Figure 1. Schéma général de la valorisation

II-1 Valorisation énergétique

La valorisation énergétique (Fig. 2) consiste à récupérer l'énergie (chaleur, électricité, carburant) produite lors du traitement des déchets. On peut distinguer deux sortes de valorisation énergétiques : valorisation par traitement thermique (incinération, pyrolyse et gazéification) et la valorisation du biogaz issu notamment des installations de stockage des déchets non dangereux et de la méthanisation des déchets organiques

Valorisation par incinération consiste à convertir la chaleur dégagée par la combustion des déchets en vapeur sous pression, qui est ensuite détendue dans un turbogénérateur pour produire de l'électricité et dans la mesure du possible, elle peut être utilisée pour fournir des réseaux de chaleur urbains ou des industries environnantes.

Valorisation par pyrolyse et gazéification consistent à chauffer des déchets en l'absence ou en manque d'oxygène afin que les substances générées sous l'effet de la température (solides, liquides et gazeuses) ne s'enflamment pas spontanément, ce qui donne la possibilité de les valoriser dans un second temps, sous forme de combustible, d'électricité, de chaleur, etc.

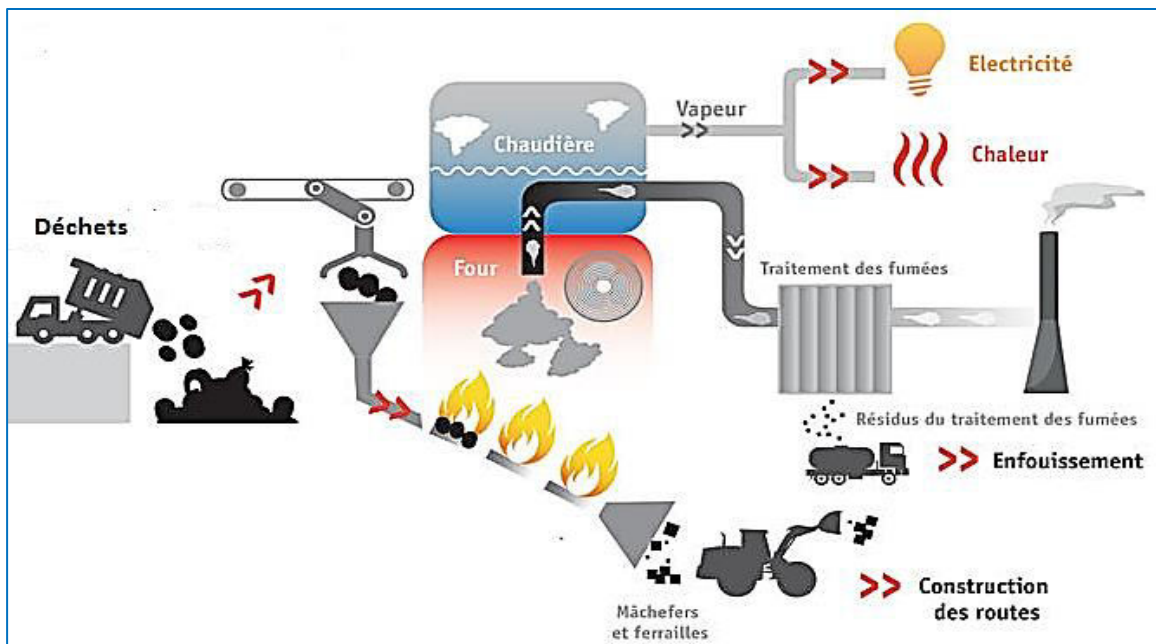


Figure 2. Schéma général de la valorisation énergétique

II-2 Valorisation matière

La valorisation matière est définie comme l'utilisation de déchets pour remplacer d'autres matériaux ou substances. Elle recouvre plusieurs opérations telles que la préparation à la réutilisation, le recyclage, etc. Cependant, la valorisation matière n'inclut aucune forme de valorisation énergétique et de retraitement en matières destinées à être utilisées comme combustibles.

On distingue plusieurs opérations de valorisation matière résumées dans le tableau II

Tableau II : Opérations de valorisation matière.

<p>Recyclage</p>	<p>C'est la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve. Par exemple, prendre des bouteilles en plastique, les refondre, et en faire des bouteilles neuves.</p>	
-------------------------	--	--

<p>Réemploi</p>	<p>C'est un nouvel emploi d'un déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. C'est, en quelque sorte, prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet. Par exemple, la consigne des bouteilles, à nouveau remplies après leur nettoyage.</p>	
<p>Réutilisation</p>	<p>Consiste à utiliser un déchet pour un usage différent de son premier emploi, ou à faire, à partir d'un déchet, un autre produit que celui qui lui a donné naissance. Par exemple la réutilisation dans l'agriculture</p>	
<p>Régénération</p>	<p>Consiste en un procédé physique ou chimique qui redonne à un déchet les caractéristiques permettant de l'utiliser en remplacement d'une matière première neuve. C'est le cas, de la régénération des huiles usées ou des solvants, ou du papier qui est à la fois recyclé et régénéré par le désencrage.</p>	
<p>Remblaiement de carrières</p>	<p>Réalisé avec apport de matériaux extérieurs (déblais de terrassement, matériaux de démolition...) nécessitant un tri préalable de ces matériaux afin de garantir l'utilisation des seuls matériaux inertes.</p>	

La valorisation matière des déchets est une réponse aux inévitables défis internationaux et locaux. Bien que l'économie de matières premières ou d'énergie soit un problème majeur dans le monde, la valorisation matière permet d'économiser des matières premières, de l'énergie et

de sécuriser leur approvisionnement. Les matières premières valorisées ont contribué positivement à la sauvegarde des matières premières d'origine.

La valorisation matière, incluse dans l'approche globale du développement durable contribue également à réduire le réchauffement climatique, à maintenir la santé humaine et à protéger l'environnement et les écosystèmes.

II-3 Valorisation organique

La valorisation organique fait référence aux méthodes de gestion et de recyclage de tous les déchets biodégradables (déchets alimentaires, déchets verts, boues urbaines, boues industrielles, déchets de l'industrie alimentaire, déchets agricoles, etc.).

Elle permet de valoriser les déchets organiques après méthanisation ou compostage par un retour au sol de matière organique

Compostage est un procédé de traitement aérobie (en présence d'oxygène) des déchets fermentescibles par les micro-organismes, dans des conditions contrôlées (Fig. 3). Il produit du dioxyde de carbone, de la chaleur et des résidus organiques stables (à faible biodégradabilité), riches en composés humiques : le compost.

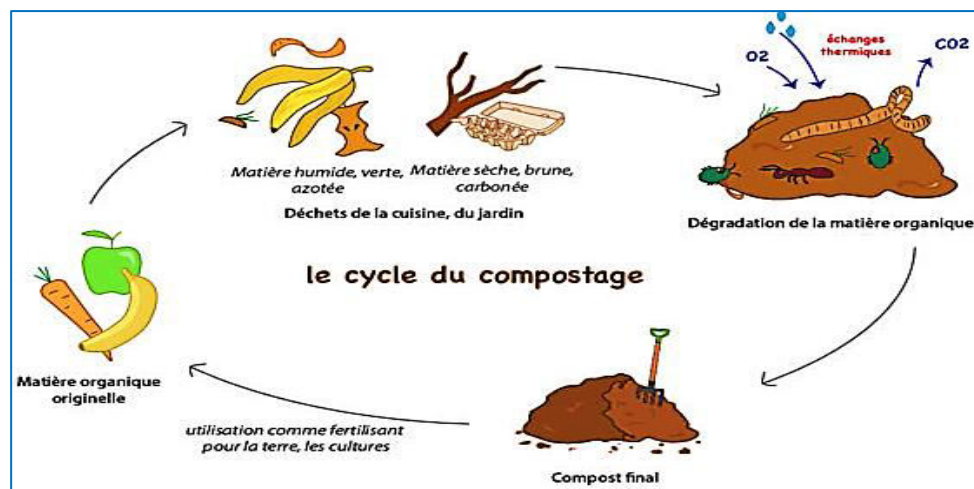


Figure 3. Schématisation du compostage

Méthanisation est un traitement naturel des déchets organiques qui conduit à une production combinée de gaz convertible en énergie (biogaz), provenant de la décomposition biologique des matières organiques dans un milieu en raréfaction d'air (appelée « fermentation anaérobie » car sans oxygène) (Fig. 4)

La méthanisation concerne plus particulièrement les déchets organiques riches en eau et à fort

potentiel de fermentation (déchets ménagers fermentescibles, boues de stations d'épuration, graisses et matériaux de drainage, certains déchets de l'industrie alimentaire, certains déchets agricoles).

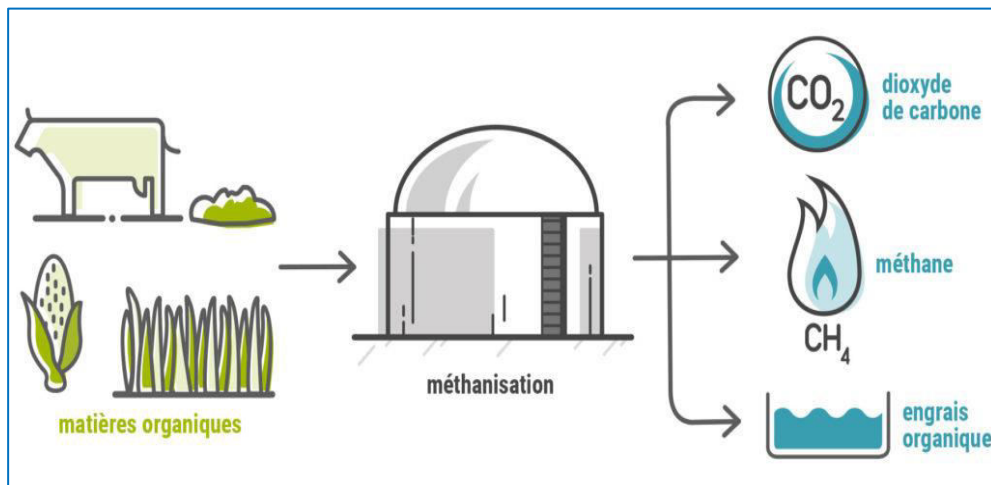


Figure 4. Schématisation de la méthanisation

Chapitre II :

Valorisation des coproduits de transformation d'agrumes

Agrumes est un terme général qui désigne d'une part, les arbres qui produisent des fruits, tels que les oranges, les mandarines, les citrons, les pamplemousses et les kumquats. D'autre part, il fait référence aux fruits de ces arbres.

Les agrumes se caractérisent et se distinguent de la plupart des autres fruits par leur structure en quartiers issus des carpelles. Ces fruits sont formés de trois parties bien différenciées : l'épicarpe (exocarpe) appelé flavédo, le mésocarpe appelé albédo et l'endocarpe (pulpe) (Fig. 5)

Avec plus de 85 % d'eau, les agrumes sont des fruits particulièrement juteux. C'est dans cette eau de constitution que se trouvent, sous forme dissoute, les principaux éléments nutritifs tels que les glucides, les acides organiques, les substances aromatiques, les pigments, les vitamines, les minéraux, les oligoéléments et les fibres.

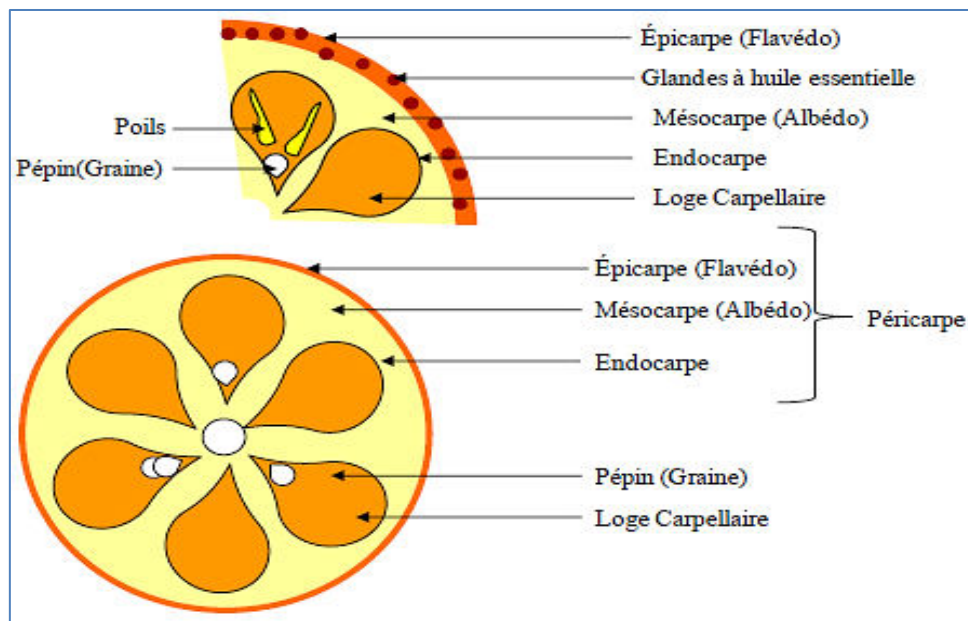


Figure 5. Schéma détaillé de la structure des agrumes.

Le flavédo est la partie externe du zeste des agrumes, la partie la plus externe (épicarpe) de la pelure qui n'est pas coloré en blanc. Le flavédo d'une orange contient un flavonoïde naturel.

Le nom de la peau blanche spongieuse d'une orange et des autres agrumes est le mésocarpe, communément appelé l'albédo qui est attaché à l'intérieur du flavédo.

I- Production d'agrumes

Les agrumes sont cultivés dans le monde entier, là où le climat est agréable. La production annuelle totale de tous les types d'agrumes dépasse 110 millions de tonnes dans le monde. Le Brésil produit un quart des agrumes du monde, dont 75% sont transformés en jus. La Chine et les États-Unis sont également des producteurs importants.

Ces fruits sont aussi produits dans la région méditerranéenne, principalement pour la consommation de fruits frais. L'Espagne, l'Italie, l'Égypte, la Turquie et la Grèce sont les principaux producteurs.

La production mondiale d'agrumes est donc importante, ces fruits sont destinés à la consommation sous diverses formes : jus, fruit, pulpe, liqueur, confiture, fruits confits. L'industrie de transformation d'être en mesure d'absorber les excédents de production et des déchets de transformation. Ceci est résolu dans les pays fortement industrialisés, la solution réside dans la transformation des déchets en produits marchands. Elle nécessite des investissements importants et une technicité poussée des cadres.

II- Fabrication du jus d'agrumes

Le jus d'agrumes est un liquide fermentescible, mais non fermenté. Ce dernier est obtenu à partir des fruits d'agrumes par des procédés mécaniques, et d'autres traitements simplifiés dans un organigramme présenté en figure 6. Il conserve les caractéristiques physiques, chimiques, organoleptiques et nutritionnelles essentielles. La fabrication se repose sur les étapes suivantes :

II-1 Déchargement et sélection

Cette étape est généralement assez simple. Tout d'abord, les agrumes sont triés, ceux en mauvais état sont écartés. Les autres sont envoyés vers les bacs de stockage. Généralement, les fruits peuvent être prélevés afin de déterminer le niveau de maturation et la teneur en jus. La teneur en sucre et en acide peut déterminer la base d'achat des fruits et connaître le mélange sélectif du chargement afin de pouvoir atteindre les paramètres de qualité de base spécifiques. On pense surtout au Brix.

Remarque : L'échelle de Brix sert à mesurer en degrés Brix ($^{\circ}B$ ou $^{\circ}Bx$) la fraction de saccharose dans un liquide, c'est-à-dire le pourcentage de matière sèche soluble. Plus le

°Brix est élevé, plus l'échantillon est sucré. Un degré Brix équivaut à 1 gramme de saccharose pour 100 grammes de solution.

II-2 Stockage

Les agrumes sont envoyés vers des bacs de stockage. Ces bacs sont généralement en bois et en métal. Ils sont équipés d'écrans obliques qui permettent de minimiser les impacts du fruit lors de la descente jusqu'en bas.

II-3 Lavage-brossage

Les agrumes sont déchargés dans un "bac de trempage" contenant une solution (poudre de savon, phosphate trisodique, carbonate de sodium ou autre composé alcalin) pour éliminer la poussière, le reste des produits antifongiques, les micro-organismes et autres corps étrangers. Ensuite, les fruits sont dirigés vers une machine équipée de brosses pour être rincés à l'eau claire.

II-4 Extraction de jus d'agrumes (Pressurage)

Dans la plupart des cas, les dispositifs d'extraction des jus d'agrumes imitent l'opération réalisée avec un presse-agrumes ménager, le fruit étant coupé en deux. A l'échelle industrielle deux principales techniques sont utilisées

- **La première technique d'extraction BROWN** consiste à couper les agrumes en 2 parties égales, puis à utiliser une fraiseuse en forme de demi-cône, pour extraire le jus des sacs de jus.

Ce type d'extracteur a des productivités de 350 à 500 fruits / min, mais il est nécessaire d'avoir des fruits bien calibrés, pour qu'ils s'adaptent à la taille de la coupe. Les agrumes de type «clémentine» ou «citron vert» ne peuvent pas être extraits par cette technique, en raison de leur petite taille.

- **Le deuxième processus d'extraction FMC (Food Machinery Corporation)**, environ 55 à 60% de la production mondiale de jus d'agrumes est réalisé par le système FMC (Food Machinery Corporation).

Le principe de l'extracteur de Food Machinery Corporation est de peler le fruit à l'aide de mâchoires, de le transférer dans une canule et de le presser. Le jus est donc collecté séparément : il n'est donc pas contaminé par l'extérieur du fruit et ne provient que de l'endocarpe tel que défini par la loi. Il n'y a de ce fait pas de contamination avec les

huiles essentielles contenues dans la peau et le jus obtenu ne présente aucune astringence, aucune amertume désagréable, ni risque d'allergies.

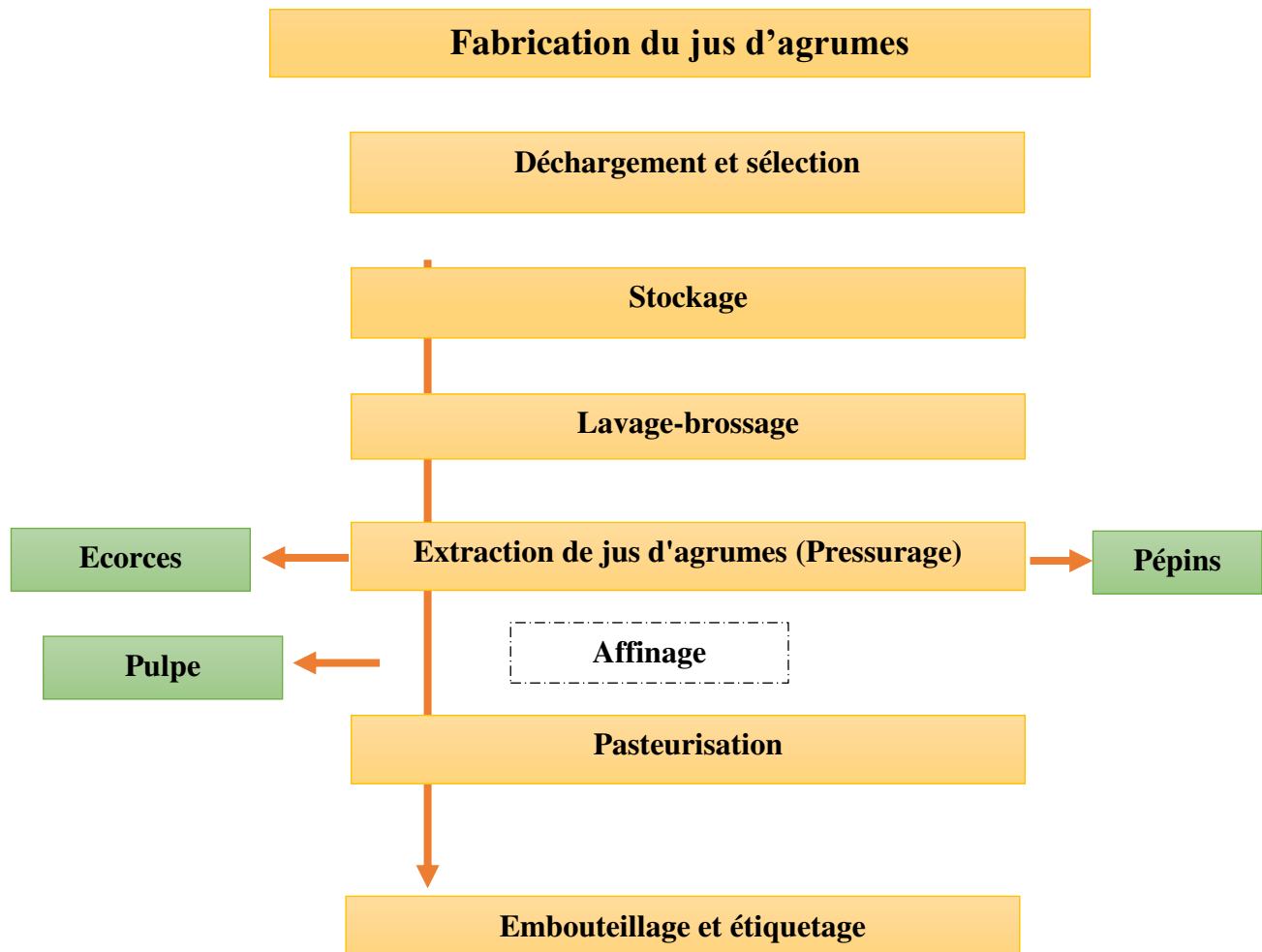


Figure 6 : Processus de fabrication du jus d'agrumes

II-5 Affinage

Après extraction, le jus finit peut ensuite être centrifugé afin de réduire son niveau de pulpe et de résidus, c'est l'étape d'affinage.

II-6 Pasteurisation

Ce traitement thermique est la méthode la plus utilisée pour conserver les jus d'agrumes : il vise à éliminer les micro-organismes et à inactiver les enzymes susceptibles d'altérer le produit et de le rendre impropre à la consommation humaine. Cette étape est suivie par l'embouteillage, l'étiquetage, le produit est prêt pour la commercialisation

III- Coproduits de la transformation des agrumes

Le traitement industriel des agrumes consiste essentiellement à en extraire le jus. Avec le développement des industries du jus d'agrumes, le volume des résidus et des déchets constitués par les écorces, pulpe et pépins augmente et forme une masse considérable. C'est donc par milliers de tonnes que ces déchets sortent des ateliers d'extraction des jus. Plusieurs milliers de tonnes de déchets d'agrumes sont déversés dans la mer, ou dans des cours où ils sont laissés pourrir au soleil. L'accumulation de produits putrescibles constitue un véritable danger.

Il n'est guère possible de décrire tous les produits générés par cette transformation. On se concentrera sur l'étude de ceux qui présentent un intérêt certain : huiles essentielles, pectines, aliment pour le bétail et pâtes d'agrumes (orange).

IV- Valorisation des coproduits de la transformation des agrumes

IV-1 Extraction des huiles essentielles

Les peaux d'agrumes sont inemployées, pourtant, elles contiennent une huile essentielle constituée de limonène pratiquement pur à environ 95%. Ce dernier est responsable de leur odeur caractéristique (arôme de base), l'odeur finale dépendant ensuite des autres composés minoritaires qui l'accompagnent.

Les huiles essentielles d'agrumes sont largement utilisées comme arômes et parfums en fonction de la partie de la plante soumise à l'extraction et des espèces ainsi que, de la méthode employée pour leur extraction.

Les fruits conduisant à la plus grande production d'huiles essentielles comprennent l'orange, le citron, le pamplemousse et la mandarine.

IV-1-1 Méthodes d'extraction des huiles essentielles

L'extraction vise à récupérer l'huile essentielle logée dans la peau (épicarpe) des agrumes. Dans la partie qui suit les différentes techniques utilisées dans l'extraction des huiles essentielles d'agrumes et qui sont :

a) Extraction par expression à froid (ou par pression à froid)

Les huiles essentielles de fruits d'agrumes sont des produits fragiles en raison de leur composition en terpènes et aldéhydes. En effet, la distillation produit des huiles aromatiques de moindre qualité principalement due à une présence importante d'aldéhydes, composés sensibles à l'oxydation et à la chaleur.

C'est pourquoi, spécifiquement pour cette catégorie de fruits, est utilisé un procédé totalement différent d'une distillation classique, qui est l'expression à froid. Cette méthode se fait sans chauffage. Le principe (Fig. 7) consiste à soumettre la substance végétale à une forte pression à l'aide d'une presse hydraulique (réalisée grâce à des machines perfectionnées) pour faire éclater les poches (cellules sécrétrices) renfermant l'huile essentielle qui sont situées à la surface de l'écorce de ces fruits. L'huile essentielle libérée est ensuite recueillie par un courant d'eau.

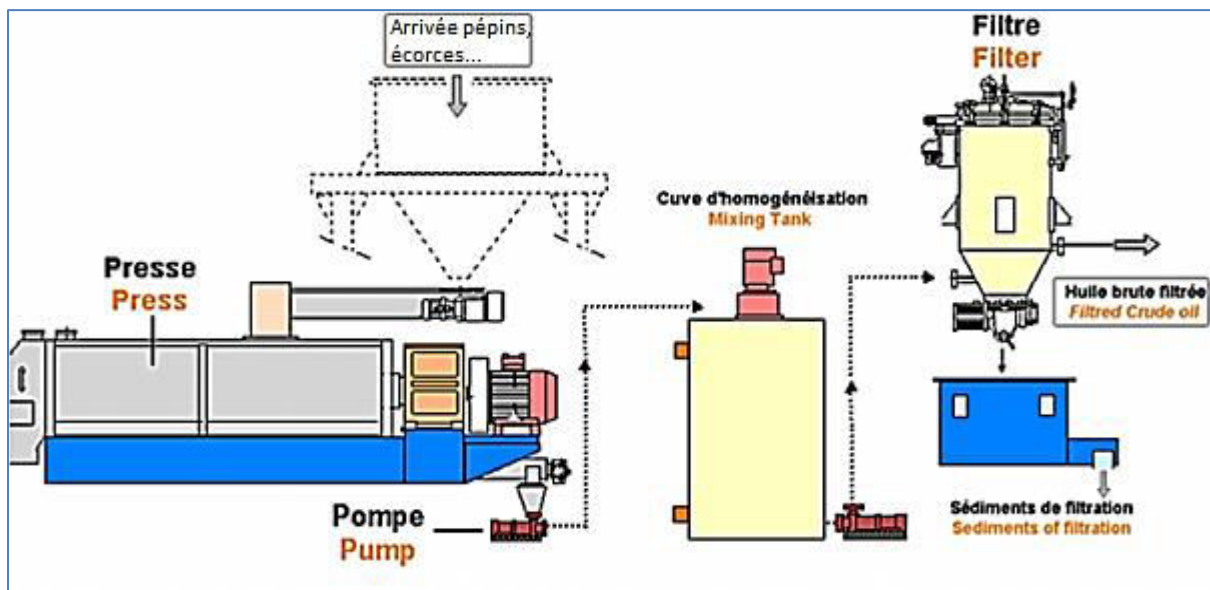


Figure 7. Schéma démonstratif d'une expression à froid à l'aide d'une presse

Avant cette mécanisation, les méthodes d'extraction à froid ont longtemps été manuelles et artisanales.

a)- 1 Anciennes techniques d'extraction manuelles

Dans le passé, l'extraction était faite manuellement par le biais du processus dit "à l'éponge". Les agrumes frais étaient coupés en deux, évidés de leurs pulpes puis les écorces abondamment mouillées sont laissées environ dix heures au repos. Ensuite, il fallait presser les écorces plusieurs fois, pour en faire sortir l'essence (Huile essentielle), contre un assemblage d'éponges fixées dans un vase. La pression était accompagnée par un mouvement de rotation de la main, avec un bâton spécialement conçu pour cela. Ainsi après décantation, on pouvait récupérer (à condition d'avoir le tour de main nécessaire, soit après un

bon apprentissage) une essence (Huile essentielle) d'une grande finesse dans le vase en terre par essorage des éponges.

Une autre méthode manuelle plus simple développée en Calabre et en Sicile, appelée "à la cuillère", permet d'obtenir des essences de grande qualité. Elle consiste à gratter manuellement les écorces fraîches avec une cuillère pour briser les sacs oléifères. Cette méthode est encore utilisée dans de nombreux pays producteurs d'agrumes méditerranéen.

Ces techniques manuelles ne sont pas totalement abandonnées de nos jours.

a)- 2 Techniques d'extraction industrielles actuelles

Ces méthodes permettent de récupérer les huiles essentielles à partir de l'écorce ou des fruits entiers (seconde qualité) :

La technique d'extraction des huiles essentielles en pressant à froid le fruit entier consiste à classer les agrumes en fonction de leur taille, puis à les presser à froid sans chauffer pour libérer l'huile essentielle. Celle-ci remonte à la surface du jus, qui est séparé du jus par centrifugation.

L'extraction à partir de l'écorce consiste quant à elle à prélever les zestes et à les broyer, puis à les presser par frottement contre des ustensiles pourvus de pointes en métal, pour rompre les sacs oléifères qui contiennent les essences végétales. Le résultat est un mélange aqueux où l'huile essentielle finira par remonter à la surface.

IV-2 Extraction des pectines

La pectine est un polysaccharide complexe naturel (hétéropolysaccharide) que l'on retrouve dans les parois cellulaires des fruits, notamment dans les agrumes et le marc de pommes. Les écorces de lime, de bergamote et de citron, ou les résidus de jus d'agrumes comme la pulpe desséchée sont une source industrielle importante de pectines en raison de leur faible prix, de leur disponibilité et de leur forte teneur en matière sèche.

Les pectines sont biocompatibles, biodégradables et renouvelables. Elles sont largement utilisées dans les produits alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques comme additifs

modificateurs de rhéologie tels que les émulsifiants, gélifiants, agents de glaçage, stabilisants et épaississants.

IV-2-1 Méthodes d'extraction de la pectine

À proprement parler, il n'existe pas de protocole standard d'extraction de pectine, et un grand nombre de pratiques reposent sur la technologie existante dans chaque laboratoire ou industrie.

a)- Matière première

Les pectines sont extraites à partir des coproduits de l'industrie de transformation des fruits en jus, marcs de pommes et écorces d'agrumes (citron, orange, pamplemousse). Les teneurs en pectines sont d'environ 20 – 30 % dans les écores d'oranges. Ces matières premières doivent être séchées rapidement pour éviter le développement de microorganismes produisant des enzymes pectolytiques. Les écorces d'agrumes doivent de plus subir un blanchiment pour éviter l'action néfaste de pectines méthylesterase endogènes.

b)- Méthodes d'extraction

Dans la paroi végétale, les pectines existent sous des formes liées (en association avec d'autres polymères pariétaux) et sous formes libres. Les pectines libres (ou pectines solubles) proviennent généralement des activités endogènes des enzymes et des agents chimiques de la paroi sur les pectines liées. Une action physique peut aussi provoquer la libération et la solubilisation des pectines initialement liées. Les pectines peuvent par conséquent être extraites des parois végétales selon trois différentes méthodes : Chimique, enzymatique ou physique.

b)-1 Extraction chimique

En industrie, les principales fonctionnalités recherchées des pectines sont les propriétés gélifiantes. Il s'agit donc de produire des pectines solubles en milieu aqueux capable de former des gels dans des conditions précises.

La plupart des pectines solubles des fruits passent dans le jus. L'extraction consiste à solubiliser les pectines restant dans la pulpe ou les écorces, à l'aide d'acide dilué, à chaud.

Le processus de production de pectine comprend trois étapes principales (Fig. 8) :

- Préparation de la matière première et solubilisation de la protopectine.
- Précipitation alcoolique des pectines.

- Lavage, séchage, broyage et standardisation des pectines extraites.

L'extraction de la pectine nécessite plusieurs étapes. Tout d'abord, l'écorce finement coupée est lavée à l'eau froide pour éliminer les pigments, les glycosides amers, les sucres et les acides résiduels. En effet, le traitement à l'eau froide par plusieurs nettoyages peut être remplacé par un traitement à l'alcool, plus efficace mais plus coûteux. Ensuite, l'écorce est immergée dans un bain-marie (80°C/ 3h) et son pH est réduit à 2 en ajoutant de l'acide chlorhydrique ou de l'acide sulfurique. A cette température élevée, les enzymes pectiques sont inactivés et les protopectines sont transformées en pectines solubles. L'opération doit être menée soigneusement car il faut éviter la dégradation des pectines. Aussi opère-t-on souvent en plusieurs extractions dans des conditions d'acidité et de température plus douces. L'extrait est ensuite concentré jusqu'à une teneur de 3 à 4 % de pectines et filtré. En ajoutant de l'alcool, la pectine est précipitée de sa solution.

Un lavage par l'acétone ou l'alcool est réalisé, suivi d'une filtration, puis d'un pressage à la main. Et enfin, le produit est séché dans l'étuve à 50°C pendant 5h. La pectine obtenue est broyée, pesée et conservée dans des flacons bien fermés dans un endroit sec, les pectines sont le plus souvent vendues sous forme de poudre.

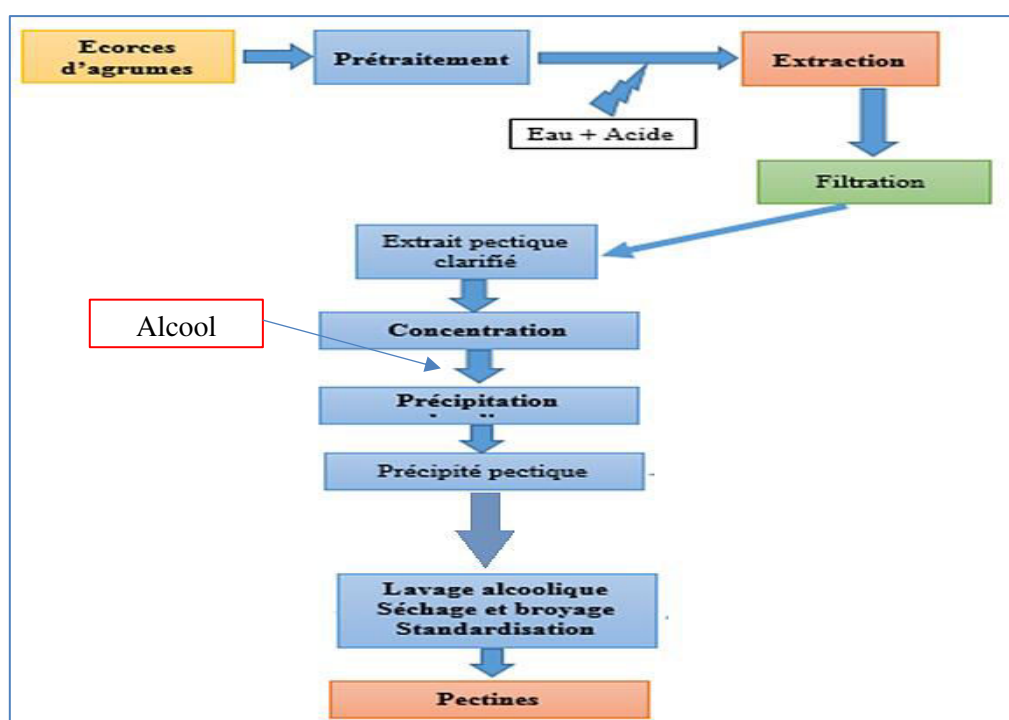


Figure 8. Représentation schématique d'un procédé industriel de production de pectine.

b)-2 Extraction enzymatique

Les enzymes non pectolytiques sont les cellulases, hémicellulases et protéases. Ces enzymes détruisent les réseaux cellulosiques, hémicellulosiques et protéiques et provoquent ainsi la solubilisation des pectines par destruction. Relativement à l'extraction acide, l'extraction enzymatique des pectines conduit à un rendement plus important. Cependant, les pectines extraites par ces types d'enzymes ont des masses molaires et des viscosités intrinsèques moins élevées que les pectines extraites par voie acide. Rajoutant à cela, la perte de leur capacité gélifiante.

b)-3 Extraction physique

L'extraction des pectines des parois végétales exige un milieu aqueux (eau pure, agent chimique dilué ou enzymatique). Cependant de nombreux procédés d'extraction des pectines sont considérés comme physiques (ou mécaniques). Parmi ces procédés on trouve :

- ° Extraction par sonication
- ° Extraction par broyage mécanique
- ° Extraction par cuisson – extrusion

Le rendement et la composition osidique des pectines extraites par cuisson – extrusion varient en fonction des paramètres d'extraction. Le rendement est dans certains cas similaire à celui obtenu par extraction acide.

IV-3 Production d'aliments pour le bétail

Malgré sa faible teneur en protéines, les écorces d'agrumes représentent une importante source d'aliment pour les bovins. L'écorce peut être présentée fraîche, de préférence après broyage durant le processus d'extraction d'essences. Elles peuvent également être conservées par ensilage ou séchage. L'ensilage a été réalisé avec succès dans une usine au Maroc, mais seules les écorces d'oranges sont utilisées suite à son appréciation par le bétail. L'écorce de pamplemousse en revanche est sans aucun doute rejetée en raison de son goût amer.

La façon la plus courante de conserver l'écorce est de la sécher. Les écorces fraîches contiennent 80 à 85 % d'humidité. Leur dessiccation exigerait une quantité considérable de calories si l'on ne procédait à un traitement préalable qui a pour résultat de les débarrasser de la moitié de leur eau.

Le mélange écorce pulpe et graines est fragmenté et arrosé d'un lait de chaux à raison de 0,3 à 0,6 % de chaux. Le mélange prend une teinte jaune d'or et sa texture physique se modifie. Les pectines transformées en pectate de calcium perdent leurs propriétés de rétention vis-à-vis de l'eau. Par phénomène de synérèse la masse perd son eau de constitution et il devient facile de s'en débarrasser, soit par simple écoulement, soit, ce qui est plus rapide, par pressurage.

Le gâteau de presse contient encore 70 à 75 % d'eau qui doit être éliminés par séchage. A cet effet on utilise souvent des fours cylindriques, horizontaux, rotatifs, à air pulsé, chauffé directement par un brûleur à mazout. La température de l'air peut atteindre 100 à 110° C.

IV-4 Production des pâtes d'agrumes (oranges)

La pâte d'agrumes spécialement d'oranges est une excellente base naturelle pour parfumer et colorer les produits alimentaires. Sa richesse en pectines assure une turbidité stable dans les boissons rafraîchissantes et les sirops à l'orange. Elle contient en proportion non négligeable des substances bénéfiques pour l'organisme comme l'acide ascorbique et les flavonoïdes.

IV-4 -1 Préparation des pâtes d'agrumes (oranges)

En réalité, la préparation et la composition des pâtes d'oranges varie beaucoup d'une usine à l'autre. On peut partir de l'orange entière, soumise à une forte pression de vapeur et décompressée brutalement pour faire éclater les tissus. Ou bien on utilise les déchets de fabrication du jus : pulpes et écorces, que l'on additionne de jus ou d'eau pour donner une fluidité satisfaisante à la préparation.

Le broyage est précédé par une cuisson de l'écorce dans une bassine en acier inoxydable à double paroi pour l'amollir. Une cuisson douce à une température ne dépassant pas 70°C pourra être préférée afin de préserver la vitamine C et les pectines. Mais il est indispensable de la compléter par une flash-pasteurisation du produit final pour inactiver les enzymes pectiques.

Les fruits entiers ou écorces sont donc introduits dans un cuiseur conique en acier inoxydable pourvu à sa base, pointe du cône, d'une vanne à large ouverture. Ils sont chauffés par de la vapeur sous pression pendant deux à trois minutes. Au bout de ce temps, après avoir interrompu l'admission de vapeur, on ouvre la vanne terminale et le produit désintégré par la chaleur et la dépression brutale s'écoule prêt à être tamisé et moulu.

La matière première est ensuite broyée grossièrement dans un hachoir puis moulue finement avec un homogénéisateur. Quand il s'agit d'écorce entière d'albédo ou de flavédo, la substance est trop épaisse pour être directement moulue. Il est nécessaire de lui incorporer soit du jus d'agrumes soit de l'eau. Une fois réduit en pâte, elle est emboîtée et pasteurisée à 95°C pendant un temps variable avec la taille de la boîte.

Chapitre III :

Valorisation des coproduits de dattes

I- Généralités sur la datte

La datte est le fruit du palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) (Fig. 9), ayant généralement une forme allongée, avec de grandes variations de taille. Sa couleur va du blanc jaunâtre au sombre très foncé presque noir. La datte contient une seule graine dite "noyau". Ce fruit comporte :

Partie comestible, représentée par le mésocarpe, sa consistance peut être déterminée en fonction de la variété, du climat et de la période de maturité :

- Molle : le mésocarpe est très humidifié avec peu de saccharose (31% d'eau).
- Demi molle : telle que la Deglet Nour (18% d'eau).
- Sèche : telle que la Degla Beida, Hamraia et la Mech Degla (12% d'eau).

Partie non comestible, formée par la graine ou le noyau, ayant une consistance dure. Le noyau représente 10 % à 30 % du poids de la datte.

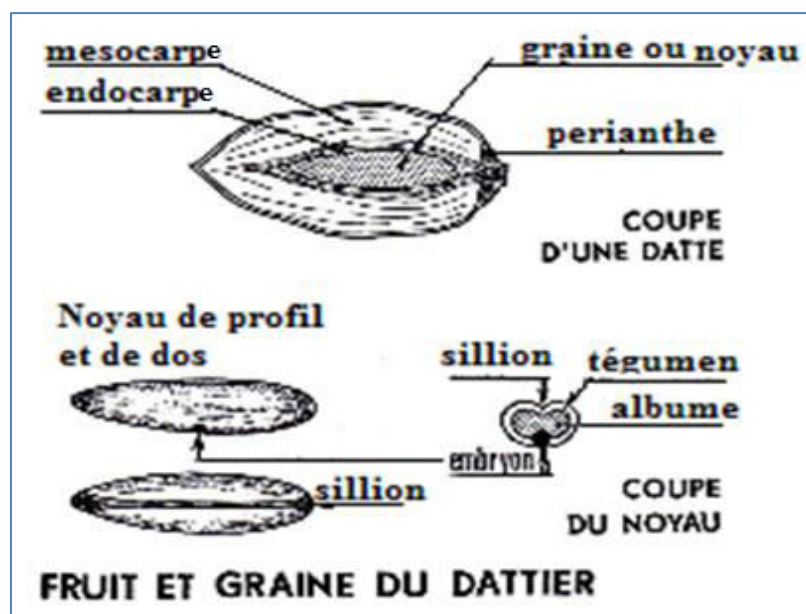


Figure 9. Fruit et graine du dattier

La datte mure et fraîche sont très fragiles ce qui rend sa transportation difficile. C'est en

partie pour cette raison qu'elle est séchée (de 70% d'eau pour la datte fraîche elle passe à 20%). Sa valeur énergétique est de 270 kcal par 100 grammes, puisqu'elle contient des valeurs importantes en glucose, fructose et saccharose. De plus, les dattes sont une source riche en potassium, magnésium, calcium, fibres et vitamines (B2, B3, B5 et B6). Le tableau III présente la composition moyenne de dattes en nutriments :

Tableau III : Composition moyenne pour 100g de dattes

Calories	270 kcal	Vitamines
Glucides	73g	Vit.B1 0.09g
Eau	29g	Vit.B2 0.05g
Protéines	20g	Vit. PP 2.2g
Lipides	0.2g	Carotène 0.09g
Fibre	2.2g	

II- Production mondiale des dattes

La production mondiale de dattes dépasse les 8 millions de tonnes par année. La datte est classée 5^{ème} fruit les plus produits dans les zones semi-arides et arides.

Les principaux pays producteurs de dattes sont : l'Égypte, l'Arabie Saoudite, l'Iran, l'Algérie, l'Irak, le Pakistan, le Soudan, Oman et les Emirats Arabes. Selon les données de la FAO 2018, la production algérienne représente d'un point de vue quantitatif 12% de la production mondiale, mais d'un point de vue qualitatif, elle occupe le premier rang avec la variété Deglet -Nour, la plus appréciée mondialement

III- Devenir des récoltes de dattes et coproduits

En plus de la consommation du fruit, l'utilisation des dattes, produit deux types de coproduits : des dattes de seconde qualité (non-consommables appelées aussi dattes perdues) et les noyaux de dattes.

Les dattes de seconde qualité et celles présentant des anomalies pour ne pas pouvoir être vendues comme dattes de bouche peuvent servir à de nombreux usages :

- Transformation technologique (Fig. 10) pour la production de la farine de dattes utilisées dans la panification et les gâteaux ; production de sirop de dattes, etc.

-Transformation biotechnologique (Fig. 10) pour la production de vinaigre, d'alcool et de levures, par fermentation microbologique, etc.

Cependant, de temps à autre, il y a des dattes qui ne sont plus consommables à cause d'un entreposage inadéquat. Elles sont utilisées comme aliment du bétail.

Quant aux noyaux, ils sont valorisés (Fig. 10) pour la production de sucre de dattes, d'aliments du bétail, production de biogaz, préparation de compost, etc.

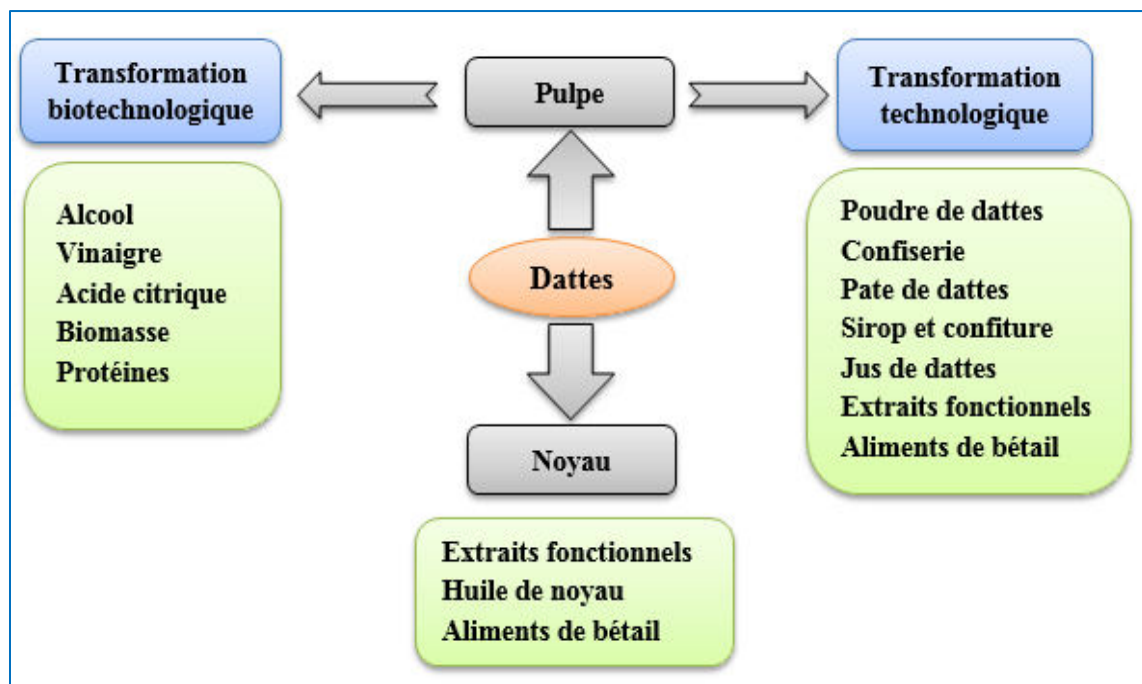


Figure 10. Devenir des récoltes de dattes

IV- Valorisation des coproduits de dattes

L'industrialisation de l'activité de valorisation des dattes permet de donner une valeur ajoutée à la production de dattes à faible valeur commerciale ou aux résidus produits.

Dans cette partie les voies de valorisation possibles des deux coproduits (dattes de seconde qualité et noyaux) seront détaillés.

IV-1 Valorisation des dattes de seconde qualité

Les dattes qualifiées de « seconde qualité ou perdues » sont des dattes qui ne sont pas consommées par les humains, soit du fait de leurs faibles qualités gustatives, soit du fait de leur texture rébarbative (trop dures).

Elles sont aussi souvent de seconde qualité car leur faible valeur ne justifie pas les frais de récolte, même pour une utilisation en aliment de bétail. Seule une analyse permet de

détecter la qualité possible de ces dattes, notamment leur forte teneur en sucre, puis de déterminer leur devenir.

IV-1-1 Transformation technologique des dattes

- **Pâte de dattes**

Les dattes molles de seconde qualité, semi-tendres ou ramollies par humidification peuvent conduire à la production de pâtes de dattes. Cette technique permet d'utiliser en mélange des dattes ne pouvant pas être commercialisés en raison de leurs caractéristiques trop diversifiées ou en raison de leur qualification de déchets ou écarts de tri.

La pâte de dattes est utilisée en biscuiterie, en pâtisserie, etc. Elle peut être consommée pure, aromatisée ou mélangée avec divers produits (amandes, noix, vanille, à la cannelle, etc.), dans d'autres cas elle sert à préparer des aliments de grande valeur énergétique.

- ❖ **Procédé de fabrication de la pâte de dattes**

En bref, le processus de fabrication de la pâte de datte comprend des étapes de lavage, de blanchiment et de dépulpage. Plus en détail, la mise en pâte des dattes est réalisée selon les opérations suivantes :

Les fruits utilisés pour la fabrication de la pâte doivent être sains, frais, exemptes de tâches provenant de maladies ou de lésions occasionnées par les insectes et les intempéries. Par la suite, un lavage par immersion dans des bassines d'eau ou à l'eau courante, par aspersion sous douches est réalisé, il permet de réduire les impuretés et les microorganismes se trouvant à la surface du fruit. Cette opération est suivie d'un séchage soit à température ambiante pendant deux jours par simple étalement sur une grille ou à l'aide d'un four.

Une étape de dénoyautage est réalisée afin de retirer les noyaux des dattes, elle se fait soit manuellement ou à l'aide d'un dénoyateur.

Les dattes dénoyautées vont subir un traitement considéré comme un blanchiment ayant un effet sur la plasticité, la teneur en eau, l'activité de l'eau et le pH (acidité) afin d'assurer la stabilisation des caractéristiques microbiologiques et organoleptiques de la pâte. Le traitement combine l'ajout d'acide citrique ou d'acide ascorbique avec d'autres méthodes comme un séchage sous vide à une température de 60 à 70°C, une cuisson par immersion dans l'eau pendant 10 min, ou un traitement à la vapeur.

Après broyage et homogénéisation les fibres de la pâte sont éliminées par tamisage. Cette étape

entraîne une perte non négligeable de sucres. La pâte de dattes est ensuite enrichie avec d'autres produits (matières protéiques, matières grasses, arachides, etc.).

Le refroidissement de cette pâte permettra sa mise en forme, le conditionnement doit éviter les changements du taux d'humidité du produit fini (soit inférieure ou égale à 20%)

- **Confiture et marmelade dattes**

Les fruits destinés à la transformation en confiture sont les dattes de faible qualité marchande. Les lots à transformer peuvent être constitués de variétés différentes mais il faut veiller à ce que le lot soit homogène d'un point de vue consistance. Par ailleurs, les dattes molles, demi-molles et moins fibreuses sont plus rentables pour ce type de transformation.

La confiture de dattes est préparée à partir de dattes saines et fraîches (Fig.11). Les dattes sélectionnées sont destinées au lavage, qui est suivi par une étape d'égouttage. Les noyaux sont éliminés, cette opération est souvent facilitée par le trempage des dattes dans de l'eau ou une cuisson préalable. Le produit obtenu est broyé pour une meilleure homogénéisation.

Le mélange (pulpe, sucre et eau) est concentré par cuisson (45-65 °C) dans de grandes enceintes ouvertes ou dans des concentrateurs sous vide pendant 3 à 5 min. Une fois le Brix est d'environ 58-60°, la préparation est additionnée de pectines et l'acide.

En effet, cette préparation exige un pH aux alentours de 3, des corrections peuvent être effectuées en ajoutant les acides citrique, malique ou tartrique. Les valeurs de l'activité de l'eau (a_w) du produit fini doit être entre 0,60 et 0,85

Dans le cas de la préparation de la marmelade, ces mêmes étapes sont effectuées, à la différence, un sirop de sucre préalablement préparé est ajouté à la pulpe de dattes broyées avant cuisson.

Les préparations sont emballées dans des bocaux en verre ou des boîtes métalliques quand le produit est encore bien chaud. Un passage dans un bain-marie ou un autoclave, suivie d'une étape de refroidissement rapide permet éviter un changement de texture et des propriétés organoleptiques. Des étiquettes portant certaines mentions (date de péremption, la liste des ingrédients, etc.) sont collées sur chaque pot du produit.

Les confitures et marmelades préparées peuvent être aromatisées ou supplémentées d'autres fruits (poires et pommes, cannelle, menthe, vanille, etc.). On trouve également la confiture diététique de dattes, la confiture de dattes sans sucre ajouté.

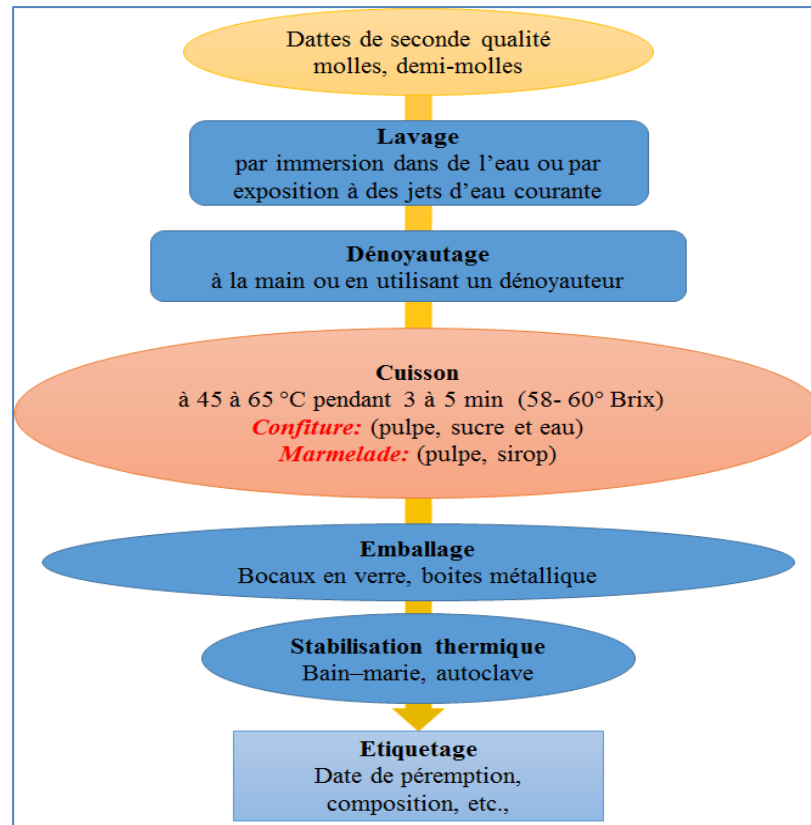


Figure 11. Processus de fabrication de la confiture et de la marmelade de dattes.

Remarque : L'activité de l'eau (symbole a^w pour activity of water) représente la pression de vapeur d'eau p d'un produit humide divisée par la pression de vapeur saturante p_0 à la même température. $a^w = p/p_0$

L'activité de l'eau représente la disponibilité de cette eau. Cette activité est proportionnelle à la quantité d'eau libre.

- **Jus et sirop de dattes**

La valorisation de certaines variétés de dattes molles ou susceptibles de le devenir après trempage donne naissance à des produits liquides comme : jus sucré, sirop, etc. (Fig. 12).

Le pressurage à partir de la pâte a démontré son efficacité. Considéré pas couteux et facile de réalisation, cette méthode préserve une saveur et un goût spécifique du jus naturel. Les gâteaux de presse et les noyaux peuvent être recyclés séparément (farine, aliments pour le bétail). Ce procédé consiste à presser manuellement ou à l'aide d'une presse

hydraulique des sacs remplis de pulpes.

Le jus de presse obtenu est filtré, afin d'éliminer les matières insolubles semi solubles (pectines) et solubles (matières colorantes). Il a une concentration en sucres de 30 à 35 degrés Brix et caractérisé par une couleur brune dorée.

Le sirop est obtenu, suite à une concentration sous vide à basse température (de 40 à 50 °C) ou par chauffage à la vapeur, il est prêt lorsque le Brix atteint 70 à 72°. Le sirop est un liquide stable, sa conservation est assurée par addition de 0,1 g / l de bisulfite de sodium, ou de 0,03 % d'acide ascorbique et de 0,2 % d'acide citrique.

Le jus et le sirop de dattes sont destinés à la consommation direct, tout comme ils sont incorporés dans différentes préparations (fabrication des crèmes et des glaces, etc.)

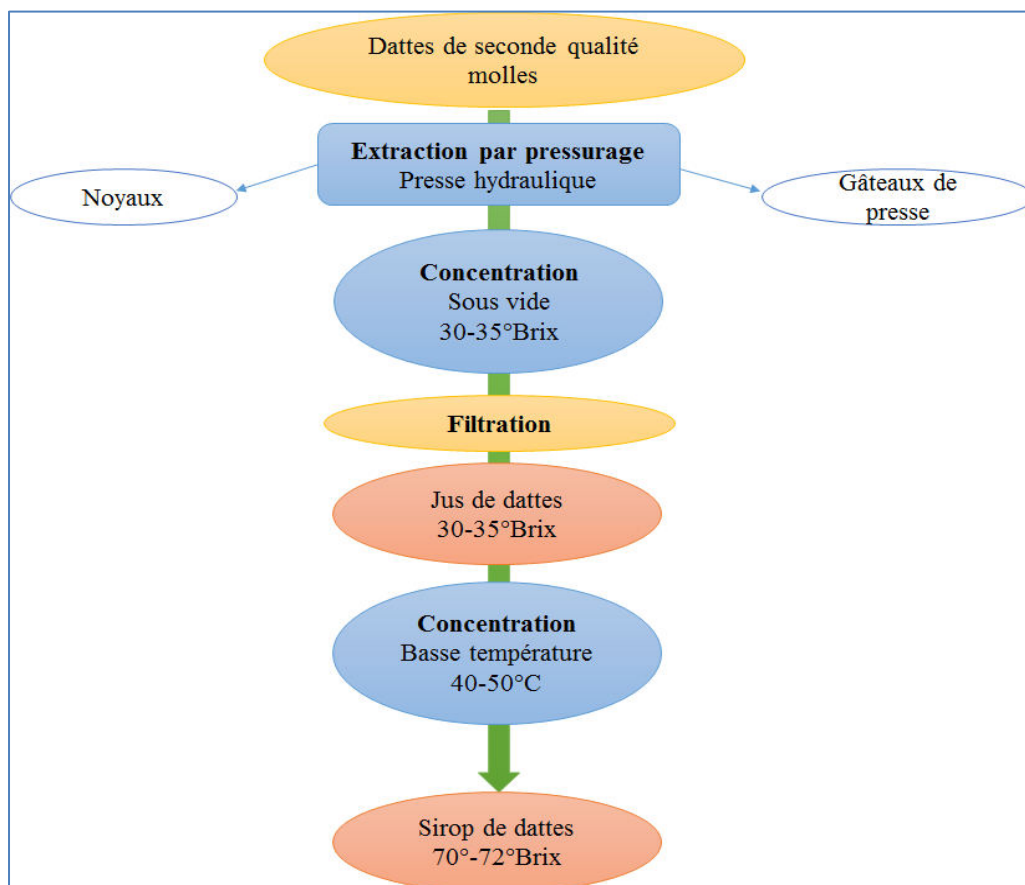


Figure 12. Processus de fabrication du sirop et du jus de dattes

- **Sucre de dattes**

Le sucre de dattes est un sucre considéré de bonne qualité. Il est fabriqué à partir de dattes déshydratées et finement divisées, de telle sorte qu'il conserve toutes ses qualités

nutritionnelles : fibres naturelles, tanins, flavonoïdes, vitamines et minéraux.

Le sucre de dattes ressemble et a le goût du sucre brun, mais il est plus rond, plus sucré et a une légère saveur de dattes. Principalement utilisé dans les boissons et en pâtisserie, présentant un potentiel sucrant plus intéressant. La dose de remplacement recommandée est de 2/3 de sucre de dattes pour 1 dose de sucre blanc. Il a un pouvoir sucrant plus faible que les autres sucres et l'indice glycémique du sucre de dattes est de 68.

– Fabrication du sucre de dattes

Le sucre résulte d'une succession d'opérations de broyage de malaxage des dattes trempées dans de l'eau chaude. Un procédé de diffusion est utilisé, il permet en effet de récupérer l'essentiel des sucres tout en limitant la diffusion des non sucres dans le jus.

Un sirop d'environ 30 à 35 degrés Brix est obtenu par concentration à basse température (de 40 à 50 °C) et sous vide. Ce concentré représente un produit sucré facile d'emploi. (Fig.13)

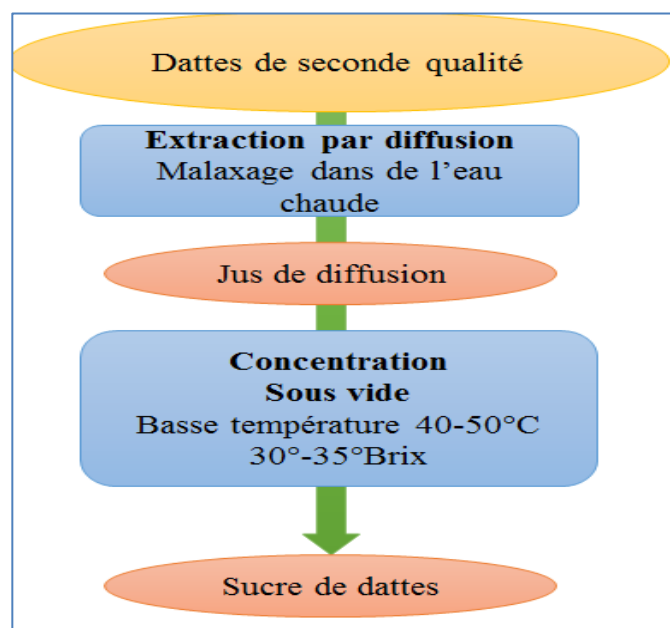


Figure 13. Processus de fabrication du sucre de dattes.

- **Farine et semoule de dattes**

La production des farines et semoules de dattes (Fig.14) exige des variétés dures et cassantes ou susceptibles de le devenir après dessiccation, le taux d'humidité doit être inférieur à 5 %.

Le broyage est effectué à froid, en évitant tout échauffement de la matière et dans un

environnement de travail sec. Une opération de tamisage (blutage) réalisée dans les mêmes conditions de travail permet d'avoir des farines, des semoules blanches et des semoules enrobées (ou vêtues).

Les semoules blanches sont soit utilisées directement ou transformées en farines. Par contre, les semoules enrobées seront désagrégées puis tamisées pour avoir des farines blanches, des semoules nues et des semoules enrobées qui sont ainsi traitées jusqu'à épuisement.

La farine et la semoule de dattes sont utilisées en biscuiterie, en pâtisserie et dans la préparation de nombreux produits alimentaires (aliments pour enfants, etc).

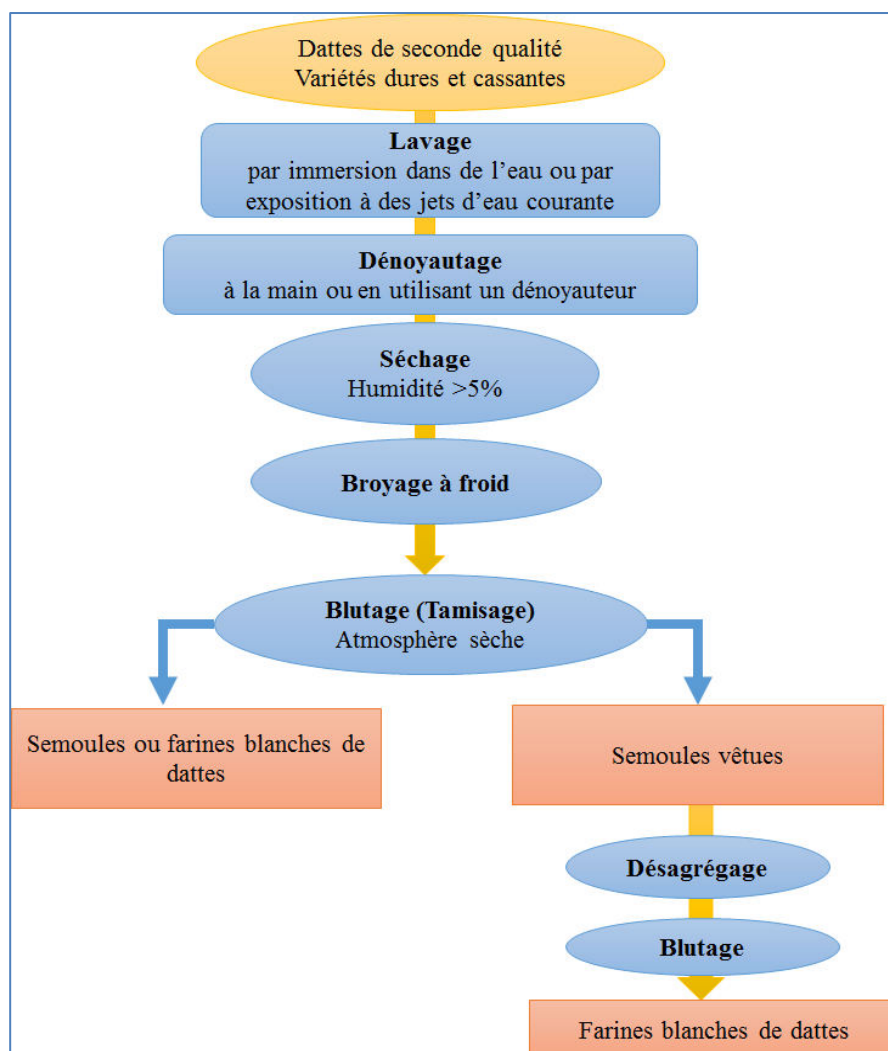


Figure14. Processus de fabrication de la farine de dattes

IV-1-2 Transformation biotechnologiques des dattes

- **Vinaigre de dattes**

Connu depuis l'antiquité le vinaigre est un liquide obtenu par fermentation acétique de boissons ou de dilution alcoolique. Le vinaigre est à l'origine fabriqué à partir du vin de palme ou de raisin, il peut aussi être préparé en utilisant des dattes.

- ❖ **Fabrication du vinaigre de dattes**

Les dattes constituent une bonne matière première pour la fabrication du vinaigre. Un mout à base de dattes écrasées et d'eau est préparé, sa température est de 35 - 40 °C et sa concentration en sucre est de l'ordre de 220 g / litre. Après macération, les ferments sont ajoutés. Cette préparation va subir une double fermentation : alcoolique et acétique (Fig.15).

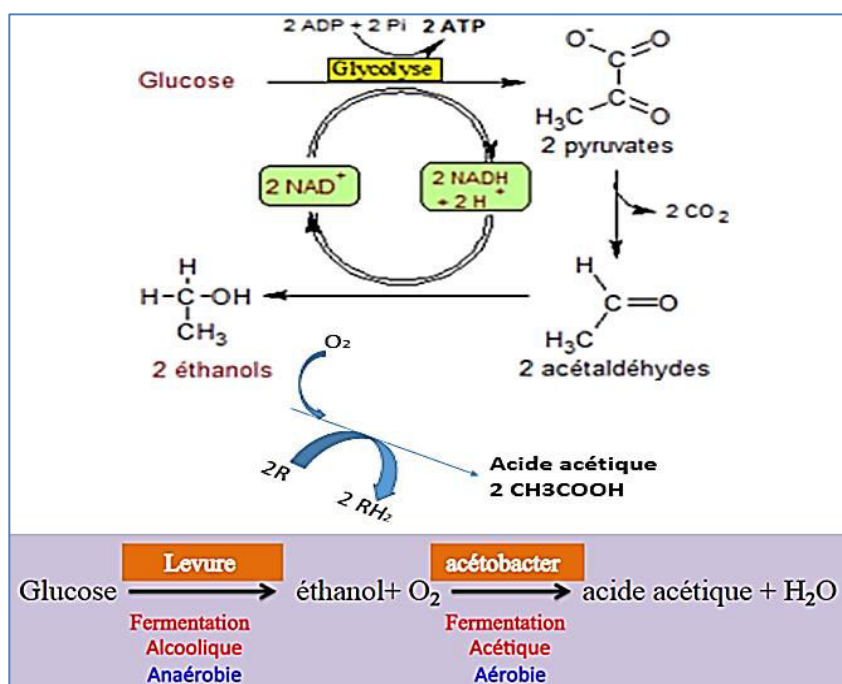


Figure 15. Réaction chimique permettant la production du vinaigre.

1/ **Fermentation alcoolique :** est réalisée par des levures, principalement des *Saccharomyces* qui agissent par décarboxylation de l'acide pyruvique à la suite de la glycolyse puis réduction de l'acétaldéhyde formé en éthanol. En plus de l'éthanol, plusieurs autres produits secondaires résultent de cette fermentation interviennent et déterminent les caractéristiques organoleptiques du produit final (alcools supérieurs, acides gras, esters, aldéhydes et cétones).

2/ **Fermentation acétique :** permet d'oxyder l'éthanol en acide acétique par le biais des

diverses espèces d'*Acétobacter* (Fig.16).

Cette méthode permet de produire 300 à 400 litres de vinaigre à 6-7° à partir de 100 kg de dattes.

Parallèlement, un autre procédé de fabrication existe, où des acétobacters sont rajoutés au jus sucré fermenté de dattes. L'acétification se poursuit pendant six à sept jours à 30 °C. Le produit fini obtenu est supérieur aux normes minimales légales (8,5°), avec un rendement relativement inférieur (200 litres de vinaigre par 100 kg de dattes).

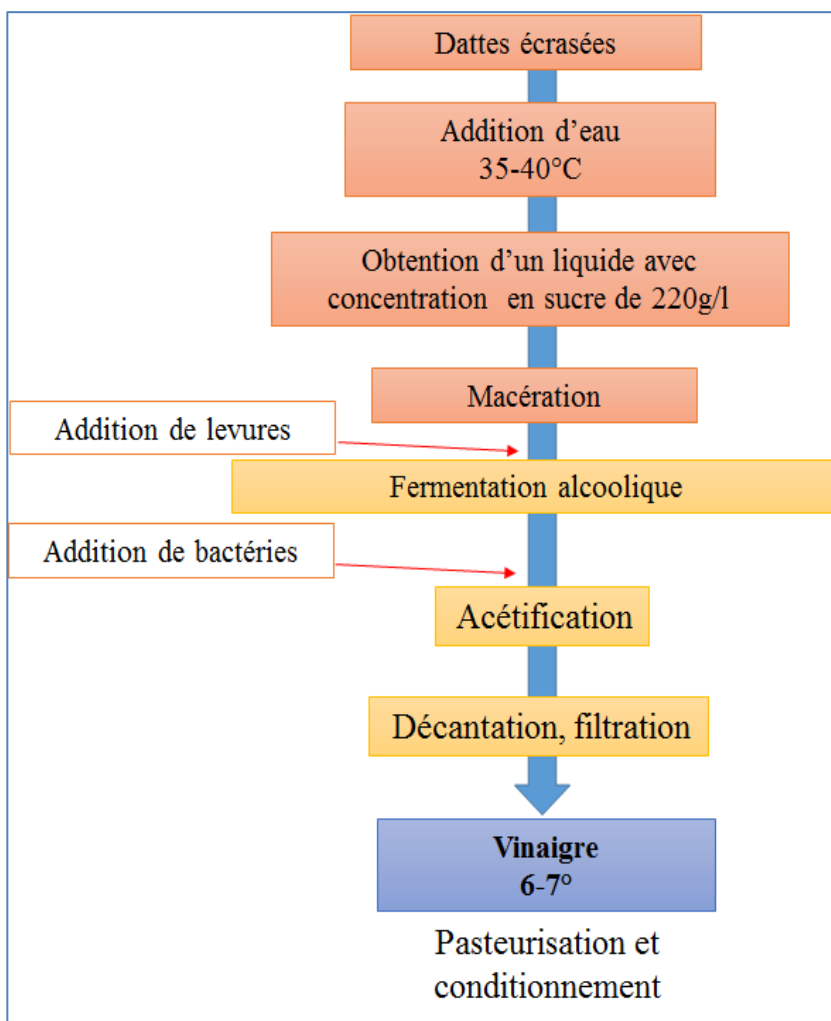


Figure 16. Processus de fabrication du vinaigre de dattes

- **Alcool de dattes**

La valorisation des résidus de dattes dans la production d'éthanol est une solution et alternative économique intéressante, en remplaçant l'alcool obtenu par voie chimique ou même remplacer le pétrole léger utilisé comme carburant. Tenant compte aussi de son utilisation industrielle étendue : d'intermédiaires chimiques (produits de beauté, parfums, cosmétiques, médicaments...etc.), détergents, désinfectants, acides organiques, etc.

Bien qu'une réglementation sévère s'applique sur la fabrication de l'alcool de dattes ainsi que des taxations importantes le rendent onéreux, mais sa fabrication est autorisée dans certains pays comme alcool médical. Environ 25 litres d'alcool pur sont obtenus à partir de 200 kg de dattes.

❖ La production de l'alcool de dattes

La production de l'éthanol à partir de déchets de dattes comprend plusieurs étapes (Fig. 17). Les fruits doivent être sains, frais, exempts de tâches. Les dattes sélectionnées seront destinées au lavage par immersion dans de l'eau afin d'enlever les microorganismes superficiels réduisant ainsi les risques d'altération du produit par la suite un séchage est réalisé dans un four.

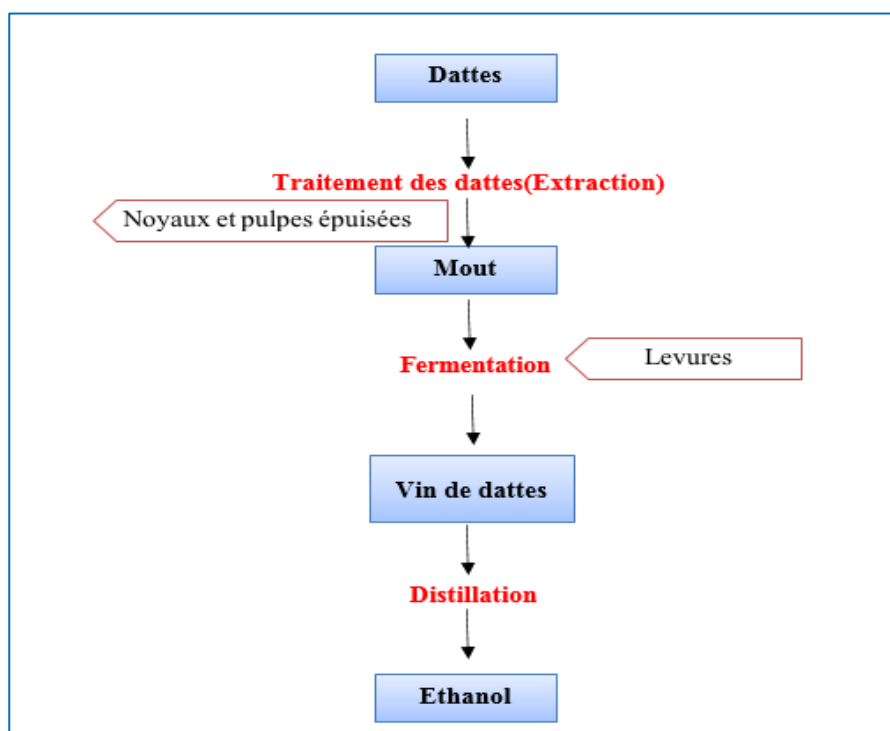


Figure 17 : Etapes de la production de l'éthanol à partir de déchets de dattes

Le dénoyautage est fait à la main ou à l'aide d'un dénoyauteur, les dattes sont alors transformées en moût qui sera envoyé à son tour en fermentation. L'ajout d'eau est indispensable pour la dilution du mout, ce dernier est additionné d'acide et de levure.

La fermentation alcoolique est assurée par des levures (*Saccharomyces*) qui permettent la transformation en anaérobie des sucres en alcool accompagnée par une production de gaz carbonique et une libération de calories selon la réaction suivante :



De plus un changement d'odeur et de la saveur avec un goût plus alcoolisé et acide est toujours obtenu à la fin de la fermentation alcoolique.

La distillation est la dernière étape dans la production de l'alcool de dattes. Elle consiste à séparer l'éthanol de l'eau en chauffant le mélange à l'aide d'un alambic.

- **Levures à base de dattes**

Les dattes peuvent être utilisées comme substrat dans la fabrication de levures alimentaires (source de protéines POU, levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae*). Vu sa richesse en sucres, le moût issu de dattes complété par des sels minéraux (sulfate d'ammonium, phosphate d'ammonium et sulfate de magnésium) et de l'urée, est considéré comme un milieu favorable pour le développement des levures.

IV-2 Valorisation des noyaux de dattes

Les noyaux de dattes sont riches en sucre, en minéraux, en particulier le fer et en lipides constituent une biomasse disponible et bon marché. Ses potentialités d'utilisation sont immenses et peuvent intéresser les différents secteurs tels que les industries agro-alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques.

- **Aliment de bétails**

Vu leur valeur fourragère, les noyaux de dattes sont utilisés comme aliments de bétail, ils conviennent parfaitement à l'alimentation des ruminants et à l'engraissement, ils ont une place de choix pour la production laitière. Cependant, une étape de broyage ou de trempage dans l'eau précédent souvent leur utilisation, cette opération permet d'augmenter leur digestibilité et leur valeur nutritive, leur pauvreté en matières azotées, limitent leur emploi en grande quantité et incite leur enrichissement avec une source azotée.

En Algérie, les quantités de noyaux sont modestes vu le petit volume de production de pâte de dattes, on ajoute à cela, l'absence d'un marché dédié pour ces produits. Ce sont donc généralement, les éleveurs qui viennent directement à l'usine pour reprendre les noyaux. Les déchets des dattes constituent au moins en Algérie, un apport important

d'aliments de bétail, surtout pour combler les périodes de rupture et d'approvisionnement.

- **Production de compost**

Des essais de valorisation des noyaux de dattes par la production de compost sont menés. Le procédé consiste en un broyage des déchets du palmier dattiers notamment les noyaux et toute matière organique de l'oasis et le mélange avec du fumier des ovins et bovins et de l'eau dans des proportions bien déterminées. Après au moins 6 mois, le compost est prêt à l'emploi. Ces essais ont été très réussis et ont conduit à des améliorations dans la technologie de production de matière organique.

- **Poudre (café) de noyaux de dattes**

Produite par des usines de dattes notamment aux Emirats Arabes Unis et en Arabie Saoudite, la poudre des noyaux de dattes est un succédané du café. Il s'avère que son goût est moins fort, plus doux et dépend de la variété des noyaux des dattes utilisée, rajoutant à cela sa richesse en calcium et potassium (Tableau IV)

Tableau IV : Teneurs en éléments minéraux de noyaux torréfiés (variété Bouhattam)

Macroéléments	Teneurs (mg/kg)
Ca	27
Na	12
K	21
Mg	9
Micro éléments	Teneurs (mg/kg)
Fe	0.8
Zn	0.6

- **Fabrication de la poudre de noyaux de dattes**

La fabrication de poudre de dattes est résumée dans la figure 18.

Les noyaux de dattes sont d'abord lavés à l'eau froide puis séchés à l'air libre pendant 24h à 40-45°C. Après séchage, les noyaux sont torréfiés dans un four à moufle à 220°C pendant 6 heures, cette étape est suivie d'un refroidissement à température ambiante.

Les noyaux ainsi torréfiés subiront un concassage et un broyage. La poudre des noyaux de datte torréfiés est conditionnée et commercialisée dans des sacs alimentaires

recouverts des boîtes en cartons ou des bocaux en verre.

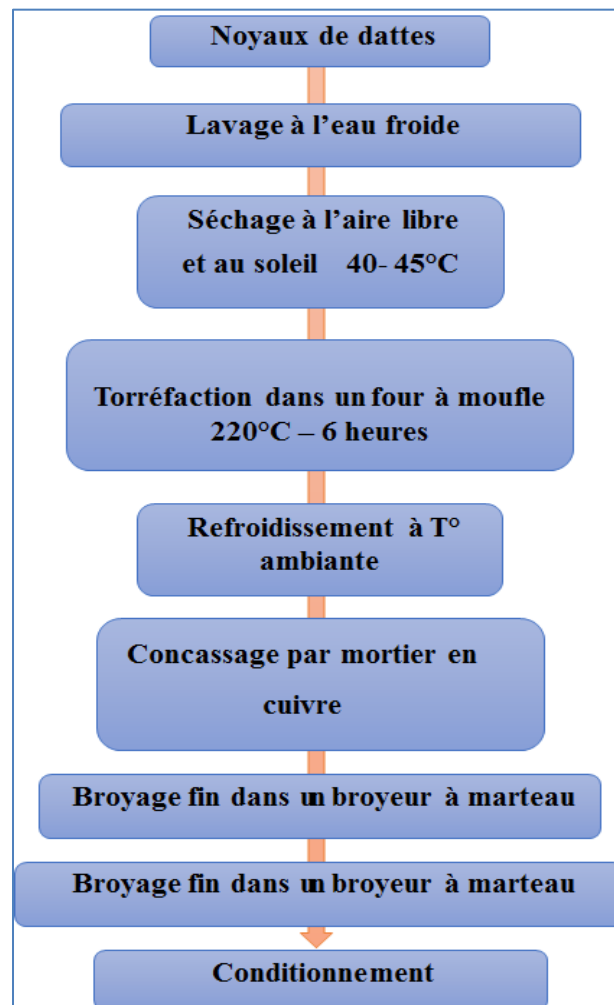


Figure 18. Diagramme de fabrication de la poudre des noyaux de dattes torréfiés.

- ***Huile de noyaux de dattes***

Les noyaux de dattes sont principalement utilisés pour alimenter les animaux, mais ils peuvent apporter une valeur ajoutée, comme l'extraction d'huile de noyaux de dattes.

La composition de l'huile des noyaux (graines) de dattes a révélé la présence de cinq acides gras dominant (l'acide oléique ; l'acide laurique ; l'acide myristique ; l'acide palmitique et l'acide linoléique)

- **Production de l'huile des noyaux de dattes**

Les noyaux sont d'abord trempés dans l'eau et rincés pour enlever la chair adhérente, puis mis au soleil pour séchage. Une fois les noyaux séchés, ils sont moulus dans un puissant

broyeur. Une succession d'étapes (Fig.19) vont être suivit afin d'obtenir de l'huile, extraite à partir de farine de noyaux de dattes exclusivement avec le n-heptane (40-60 °C), après extraction, les résidus seront séparés de l'huile par filtration, et l'huile sera par la suite récupérée après élimination du solvant.

Des propriétés intéressantes ont été rapportées concernant l'huile de noyaux de dattes, elle pourrait être utilisé dans la fabrication de barrière solaire et de crèmes anti-âges puisqu'il a été démontré qu'elle a des propriétés protectrices comparable à celles du dioxyde de titane contre des rayons UVA etUVB qui sont à l'origine de dommages cellulaires et cutanés.

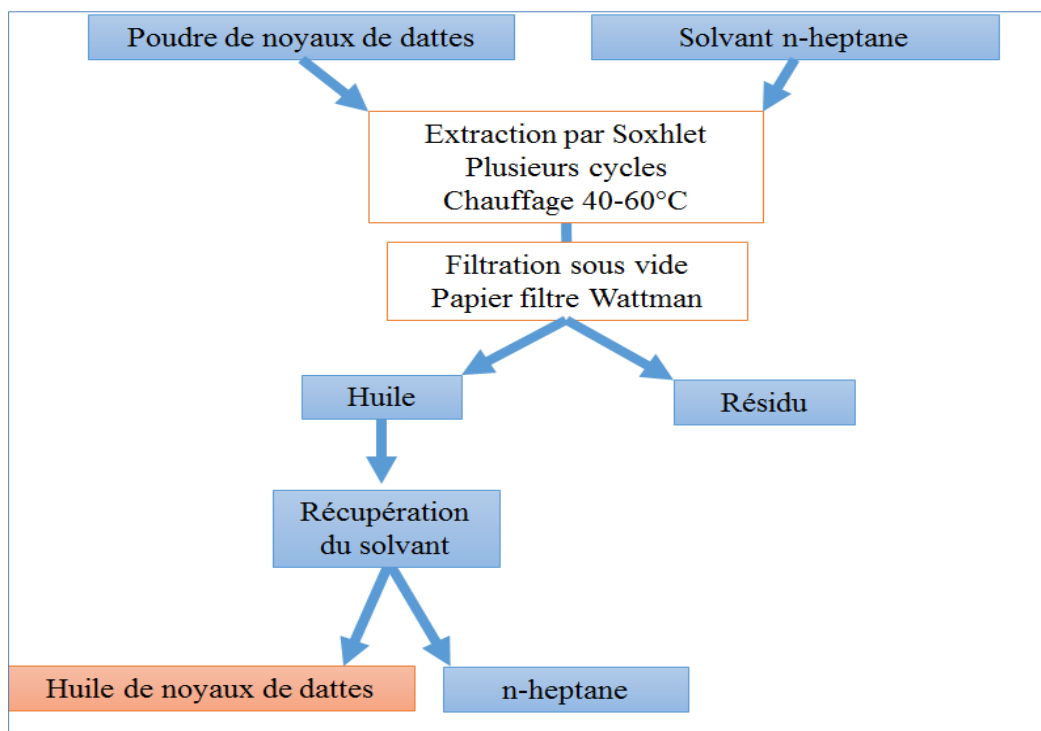


Figure 19. Les étapes d'extraction par solvant de l'huile de noyaux de dattes

Chapitre IV :

Valorisation des coproduits de l'industrie sucrière

I- Industrie sucrière

L'industrie sucrière consiste en la production du sucre à partir de plantes telles que la canne à sucre ou la betterave. Elle a d'abord été développée avec la canne à sucre dans les colonies européennes de la mer des Caraïbes et des îles Mascariques, puis reprise par l'industrie de la betterave à sucre qui a émergé en Europe au XIX^e siècle. Ses principales installations sont les usines sucrières (Fig. 20).

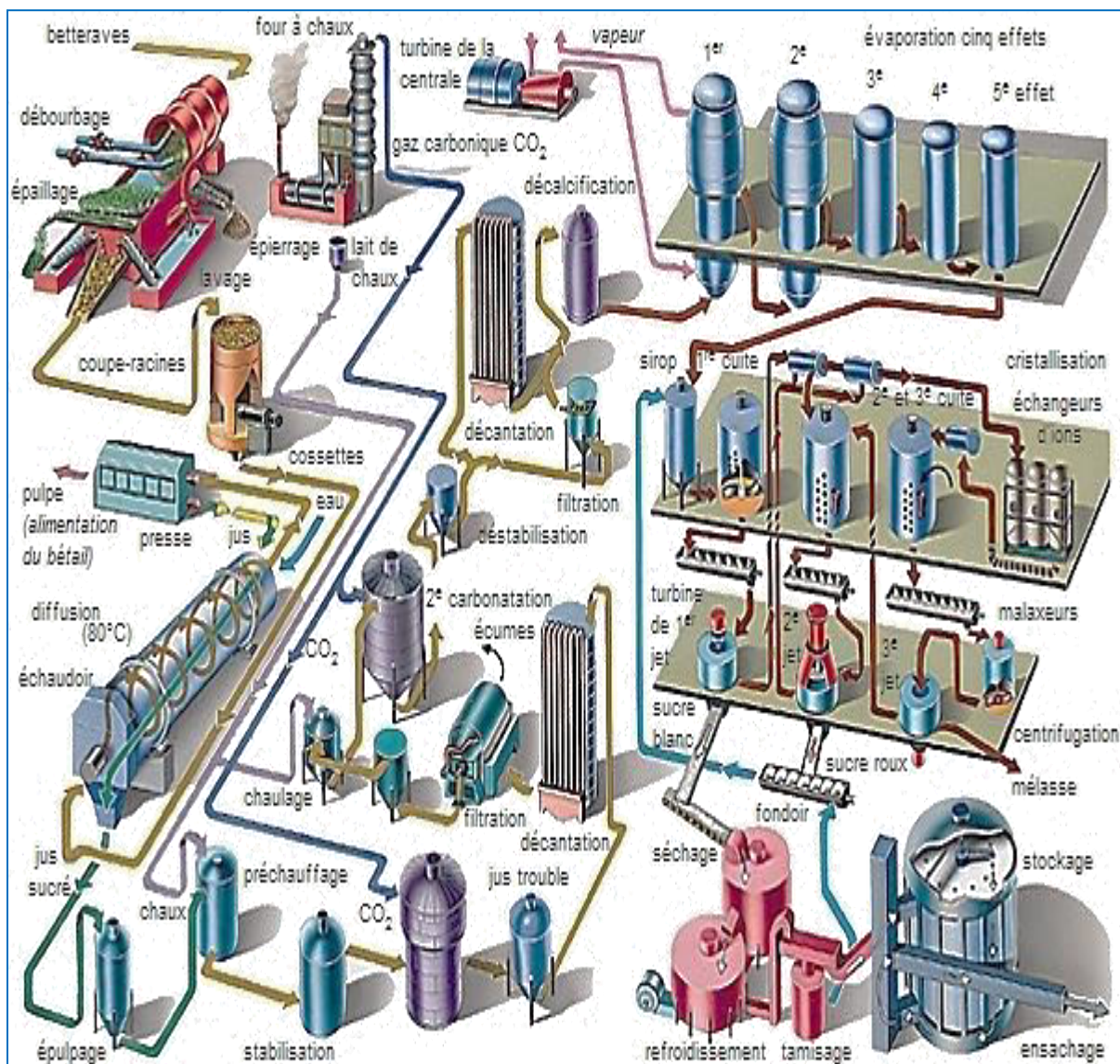


Figure 20. Schéma général d'une sucrière

II- Plantes sucrières

II-1 Canne à sucre

La canne à sucre (Fig. 21) est une plante classée dans le genre *Saccharum* (famille des graminées) principalement utilisée pour produire du sucre extrait des tiges (ou chaumes). Elle est composée de 70 % eau, 14 % de fibres ligneuses et 14 % de saccharose.

La canne à sucre était jusqu'au début du XIX^e siècle la seule et importante source de sucre et représente encore, au XXI^e siècle, 70 à 80 % de la production de sucre. Sa production annuelle dépasse 1,9 milliard de tonnes (matière fraîche), environ 570 millions de tonnes (matière sèche), et est l'une des principales plantes cultivées au monde.

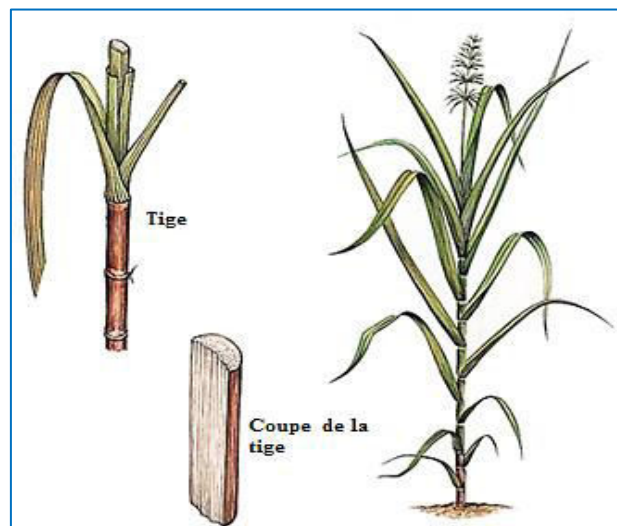


Figure 21. La canne à sucre

La canne à sucre est cultivée dans toutes les régions tropicales et subtropicales du monde. Les principaux pays producteurs de canne à sucre sont le Brésil, l'Inde, la Chine, le Pakistan et la Thaïlande.

II-2 Betterave sucrière

La betterave sucrière (Fig. 22) est un type de betteraves, cultivée pour sa racine charnue utilisée principalement pour la production du sucre (composée de 15 à 18% de saccharose). Elle est riche en eau (76%), la pulpe représente 4 à 5% du volume total.

La superficie mondiale des cultures de betteraves sucrière dépasse 4,5 millions d'hectares, cultivée principalement en Europe et aux États-Unis. Sa production mondiale selon les données de la FAO en 2014 est d'environ 270 millions de tonnes.

La France détient la place du premier producteur mondial de betterave à sucre depuis 1875. Cette culture est répandue dans le Nord et l'Est du pays. Mais ces dernières années la Russie a dépassé la production française en betterave sucrière.

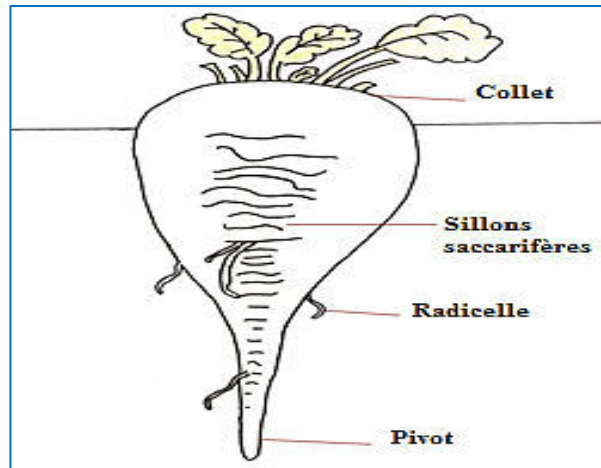


Figure 22. La betterave sucrière

III- Fabrication de sucre

Produit de la photosynthèse chlorophyllienne, le saccharose se forme dans les feuilles des plantes avant d'être stocké dans les organes de réserve : racine pour la betterave sucrière, tige pour la canne à sucre.

Le processus sucrier a pour but d'extraire le sucre de la cellule végétale qui l'abrite en le séparant, par étapes successives de tous les autres composants de la plante.

Réalisé dans des sucreries, le sucre est extrait, purifié, concentré et cristallisé sans aucune altération ni transformation chimique. Afin de préserver tout le sucre contenu, et pour un rendement optimal, la canne et la betterave à sucre doivent être rapidement transformés. C'est pourquoi les sucreries sont le plus souvent situées à proximité de la zone de plantation.

La fabrication du sucre à partir de la betterave et de la canne en sucrerie passe par plusieurs étapes détaillées dans la figure 23.

- **Préparation**

La sucrerie est approvisionnée en betteraves et canne à sucre. Le temps de stockage est réduit au strict minimum afin de conserver leur richesse en sucre. Les plantes sucrières sont ensuite lavées à contre-courant d'un flux d'eau pour les séparer des impuretés.

- **Découpage**

Les betteraves lavées considérées propres sont orientées vers des coupe-racines, afin de les réduire en fines tranches, appelées «cossettes». Alors que, la canne à sucre est débitée en petits morceaux, puis pressée et moulue dans plusieurs broyeurs.

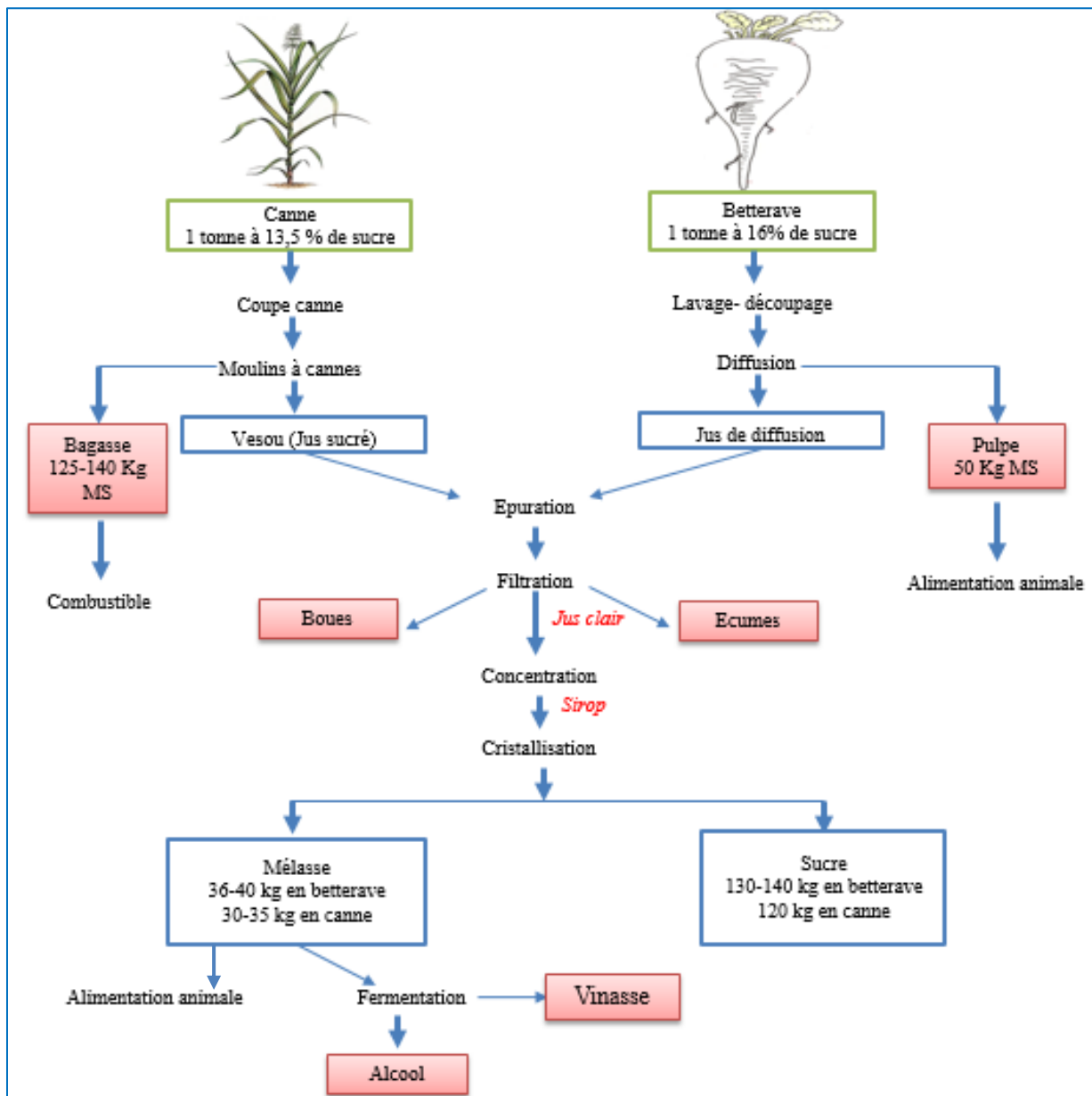


Figure 23. Processus de fabrication du sucre

- **Extraction**

Le jus sucré est extrait des cossettes par diffusion dans de l'eau chaude (70°C). Basée sur le phénomène de l'osmose, cette opération vise à laisser passer le sucre contenu dans les cossettes vers l'eau. La diffusion a lieu dans un long cylindre : les cossettes pénètrent par une extrémité et l'eau tiède circulant lentement dans le sens opposé s'enrichit progressivement de sucre. Le jus sucré est collecté alors à une extrémité et les cossettes épuisées (appelées «pulpe») sont collectées à l'autre extrémité. En revanche, l'extraction du jus de canne se fait après déchiquetage, la canne ainsi défibrée est pressée dans un puissant moulin qui récupère une grande partie du jus de canne.

- **Filtration**

Le jus obtenu contient la totalité du sucre présent dans la betterave et la canne, mais également des impuretés qu'il faut éliminer (sels minéraux, composés organiques...). L'opération est réalisée par purification calcium-carbone : l'ajout de lait de chaux (à base de calcaire) suivi de l'ajout de dioxyde de carbone permet la formation des sels insolubles et ainsi, la précipitation des impuretés fixées. Le mélange est ensuite envoyé vers un filtre, qui élimine les impuretés et libère un jus sucré clair.

- **Concentration**

À ce stade, le jus filtré contient environ 15% de sucre et 85% d'eau, dont une grande partie sera éliminée par évaporation. Le jus est bouilli dans des tuyaux en contact avec la vapeur, puis passe dans une série de chaudières («évaporateurs»), où la température et la pression sont progressivement réduites. Au terme du circuit, le jus s'est transformé en sirop contenant 65 à 70 % de saccharose.

- **Cristallisation**

Le sirop atteint sa concentration optimale dans des chaudières, afin d'éviter la caramélisation du sirop, l'opération est réalisée sous vide. Le sirop concentré par la suite est alimenté de très fins cristaux (sucre glace). La cristallisation est alors lancée donnant naissance à ce qu'on appelle la «masse cuite », formée par un sirop dans lequel plusieurs petits cristaux et impuretés résiduels sont en suspension.

- **Essorage**

Cette étape est assurée par des turbines (essoreuses), rapides et perforées alimentées par de la masse cuite. L'essorage permet de séparer le sucre blanc cristallisé du reste du constituant de la masse cuite, sous l'effet de la centrifugation ; le sirop est éliminé au moment où les cristaux sédimentent sur les parois du panier.

- **Séchage**

Le sucre cristallisé blanc encore à l'état humide et chaud subira un séchage à l'air chaud dans des appareils appropriés. Le stockage en silo est alors possible uniquement après refroidissement, permettant ainsi la stabilisation du produit final.

- **Conditionnement**

Le conditionnement du sucre est fait dans différentes catégories d'emballages, et sous différents aspects ; en poudre, ou transformé en morceaux après humidification suivit de moulage, soit livré et transporté en vrac, par camions ou wagons.

IV- Coproduits de l'industrie sucrière

L'industrie sucrière génère plusieurs coproduits, cette partie est consacrée à la valorisation de ces résidus.

IV-1 Bagasse

La bagasse est un résidu fibreux issu lors de l'extraction du jus de canne suite au broyage (écrasement) de la canne à sucre. La production mondiale de bagasse est de 25 à 350 millions de tonnes par an.

La bagasse représente environ 30 % du poids de canne. Son taux d'humidité se situe entre 40 et 50 %, et elle contient encore une petite quantité de sucre résiduel. La cellulose est le constituant majeur de la bagasse séchée, le reste est principalement représenté par de l'hémicellulose et de la lignine.

IV-1-1 Valorisations de la bagasse

- ***Production d'énergie***

La bagasse est une bioénergie, environ 60 % de cette production de bagasse est utilisée comme combustible dans les sucreries, pour chauffer les fours et pour la production d'électricité (production de vapeur par combustion dans une chaudière reliée à un turbo-alternateur), servant à l'alimentation énergétique de l'unité de transformation, qui fonctionne pratiquement en autosuffisance énergétique.

En comparaison, la bagasse a un pouvoir calorifique (16000 kJ / kg) nettement inférieur à celui de bois sec (7900 kJ / kg), cependant sa productivité est plus élevée (1 tonne de canne à sucre produit 300 kg de bagasse).

De plus, la production d'énergie en utilisant la bagasse présente plusieurs intérêts par rapport à l'utilisation des hydrocarbures. En effet, elle est dépourvue de dioxyde de soufre et sa combustion ne dégage que le CO₂ fixé par les plantes pendant la croissance, ce qui est très faible, car la majeure partie du CO₂ consommé par le métabolisme autotrophe de la canne à sucre est stockée dans le sucre.

On estime qu'une exploitation de bagasse produite dans le monde chaque année pourrait économiser l'utilisation des énergies fossiles.

- ***Alimentation du bétail***

La bagasse peut être utilisée pour l'alimentation du bétail, particulièrement chez les bovins âgés de plus de deux ans. En tant qu'aliment pour le bétail, la bagasse est souvent imbibée de mélasse, qui est un autre coproduit de la production de sucre, cette pratique permet d'améliorer sa valeur énergétique. Diverses méthodes ont été essayées d'augmenter la digestibilité de la bagasse, par exemple en la broyant ou en la plongeant dans un bain d'hydroxyde de sodium à 2% pour dissoudre la lignine et rendre la cellulose plus facilement utilisée par les enzymes digestives.

- ***Emballage alimentaire***

La bagasse est valorisée comme emballages alimentaires. En effet, l'utilisation de la bagasse est considérée comme un bon substitut au plastique et au polystyrène, car la bagasse n'est pas nocive pour la santé et peut être biodégradée en 45 jours. De plus, la bagasse est extrêmement thermorésistante, elle supporte les températures de congélation comme elle peut servir de récipient pour faire bouillir des aliments. Les produits de bagasse sans métal peuvent être utilisés dans les fours à micro-ondes. Etant biodégradable, ce type d'emballages sont compostables, évitant par conséquent toutes formes de danger sur l'environnement.

- ***Autres valorisations de la bagasse***

La bagasse est utilisée pour produire des planches de Bagapan connu sous le nom de 'Xanita board' ou 'planches de bagasses', un excellent substitut du plywood. Ces dernières peuvent être utilisées comme matériel de fabrication de meubles ou encore comme carreaux acoustiques.

L'exposition au soleil ou à la pluie entraînera une diminution de la qualité et de la valeur de l'engrais. Lorsqu'elle est mélangée avec du fumier, la bagasse peut être utilisée comme engrais plus durable. D'autre part, l'utilisation de la bagasse comme litière en élevage permet également d'absorber et de retenir une partie vitale de l'engrais.

La bagasse est aussi un excellent substitut au bois et peut être utilisée pour produire du papier d'impression, du papier journal ou encore comme papier d'écriture. Ce type de papier est produit au Moyen-Orient, dans certains pays d'Amérique latine et dans les pays producteurs de sucre sans ressources forestières. Par conséquent, en réduisant la déforestation, il offre des options plus écologiques.

IV-2 Pulpe de betterave

Lors de l'extraction du sucre à partir de la betterave sucrière, les racines des tubercules sont grossièrement broyées et le jus sucré est collecté par osmose, le résidu porte alors le nom de « pulpe de betterave », il est caractérisé par sa richesse en cellulose.

IV-2-1 Valorisation de la pulpe de betterave

- ***Alimentation animale***

La pulpe de betterave peut être utilisée sous forme fraîche riche en eau (15 à 20 % de matière sèche), ou conditionnée sous forme de "bouchon" sous forme de pulpe déshydratée de manière à pouvoir être incorporée dans un aliment composé. Ce résidu est considéré comme source intéressante de cellulose digestible et de sucres solubles pour les ruminants (en raison des bactéries présentes dans le rumen, capable de digérer la cellulose).

- ***Production de matériaux***

Composée de fibres ligno-cellulosiques, la pulpe de betterave intéresse les industriels qui recherchent des matières premières biodégradables. Les fibres des pulpes de betterave peuvent être incorporées dans le béton pour le rendre plus léger et surtout plus isolant et peuvent aussi servir à la fabrication de panneaux de feutres isolants dans le bâtiment. Elles ont à peu près les mêmes caractéristiques techniques que les autres fibres végétales (comme le bois), mais elles ont aussi l'avantage d'être légères, et surtout constituent une ressource annuelle. Ils ont également suscité l'intérêt des équipementiers automobiles car ils sont introduits dans des feutres 100% végétaux, qui présentent souplesse, élasticité et légèreté.

- ***Epuration des eaux***

La pulpe de betterave présente aussi un biosorbant polysaccharidique abondant, dont les fonctions de surface développent des propriétés de fixation intéressantes vis-à-vis des ions métalliques en solution avec une capacité maximale de fixation : tout d'abord, la pulpe de betterave subit un broyage et un séchage ; suit d'un tamisage qui consiste à isoler les fractions dont le diamètre varie de 200-250 μm . Un lavage est réalisé avec une eau distillée puis un séchage à 40°C. L'épuration se fait dans un réacteur sous agitation, tandis que le pH est maintenu à 5,5 et la température à 20°C.

Avant d'utiliser la pulpe son imbibition dans une eau déminéralisée pendant 90 min est une étape cruciale. Après saturation de la pulpe par les ions métalliques l'élimination se fait par une microfiltration via les filtres de céramides. Cette technique d'épuration d'eau semble très prometteuse et pourra être l'alternative à d'autres voies onéreuses.

- ***Production d'emballage***

La piste la plus avancée est celle des emballages biodégradables où les fibres de pulpes peuvent remplacer le polystyrène ou les mousses de calage.

IV-3 Jus de canne (Vesou)

Le pressage des tiges de canne à sucre donne un jus appelé vesou, il contient 70 % d'eau, 14 % de saccharose, 14 % de matière ligneuse et 2 % d'impuretés. Il est évaporé pour obtenir du sirop, qui est clarifié, puis concentré pour extraire le sucre cristallisé et la cassonade. Le sucre roux produit à partir de la cassonade peut être commercialisé directement ou transformé en sucre blanc dans les raffineries.

Le vesou peut faire l'objet d'une fermentation et d'une distillation, pour obtenir le rhum agricole.

Dans de nombreux pays, le vesou est consommé comme boisson. Il existe de petites presses à cet effet, et sont utilisées dans les foyers familiaux, les restaurants ou par les vendeurs ambulants. Certaines variétés de vesou sont chauffées à des températures élevées pour produire des aliments très courants, qui portent des appellations différentes.

IV-4 Ecumes

Les écumes de sucrerie sont issues de l'industrie sucrière par carbonatation des jus. Elles sont séparées du jus sucré par filtration et stockées dans des bacs. Elles sont ensuite livrées aux agriculteurs, qui les stockent en bout de champ pour les épandre après la récolte.

Produites en moyenne à raison de 3%, poids de la quantité de cannes broyées, elles sont relativement riches en azote (0,7%), phosphore (0,3 à 0,4%) et en calcium (0,8%). Elles peuvent être utilisées à fortes doses (20 à 30 tonnes / ha) pour remplacer les engrais phosphatés et améliorer la fertilité des sols.

En plus de fournir du calcium, les écumes sont également une source d'acide phosphorique et d'oxyde de magnésium assimilable par les plantes. Les écumes aident à promouvoir l'activité biologique : la minéralisation se produit plus rapidement, créant des conditions favorables à la décomposition des résidus organiques. L'ajout d'écumes contribue à l'amélioration du complexe argilo-humique et la structure du sol. Les sols ont tendance naturellement à s'acidifier, du fait notamment du lessivage des éléments par les précipitations. La petite taille des particules d'écumes peut corriger rapidement la valeur du pH du sol acide.

IV-5 Mélasse

La mélasse est le liquide obtenu après extraction du sucre à partir du jus de la canne. Elle est noire, très visqueuse et extrêmement sucrée. Elle contient environ la moitié de son poids en sucre (Tableau V). Mais aussi de la vitamine B6 et des minéraux (calcium, magnésium, potassium et fer).

Tableau V : Composition chimique (moyenne en pourcentage) de la mélasse de betterave

Eléments	Mélasse
Eau	18%
Saccharose	49%
Glucose+ Fructose	1%
Raffinose	1%
Matières azotées	12%
Matières organiques non azotées	5%
Matières minérales	11%
Vitamines	<0.5%

IV-5-1 Valorisation de la mélasse

La mélasse est utilisée en alimentation animale, comme substrat nutritif pour la production de levures de boulangerie, d'acides aminés ou de protéines et d'acides organiques.

La mélasse peut également être fermentée et distillée pour la production d'éthanol à des fins pharmaceutiques, ou pour la production de biocarburant ou encore de l'acétone et du glycérol. Elle peut faire l'objet d'une fermentation et d'une distillation, pour produire le rhum. Les principales utilisations de la mélasse sont :

- **Production d'alcool éthylique** : L'éthanol est un liquide inflammable, insipide, sans couleur et légèrement toxique. L'éthanol est généralement obtenu par des fermentations via le métabolisme de la levure *Saccharomyces cerevisiae*.

La production d'alcool dans les distilleries, basée sur la mélasse, constitue une industrie importante. Une tonne d'alcool éthylique peut être produite à partir d'environ 3,5 à 4 tonnes de mélasse.

La production d'alcool se fait suivant les deux principales étapes : la fermentation et la distillation. La mélasse utilisée arrive soit par camion-citerne ou est transférée directement de la sucrerie par canalisation.

✓ Fermentation

Sous l'action des levures ajoutées dans la mélasse, et dans des conditions favorables à la fermentation (pH, température, etc.), le sucre présent est transformé en alcool ; on obtient, au bout de 24 heures, un jus fermenté de canne titrant environ 4 à 5°.

✓ Distillation

C'est l'opération de séparation de l'alcool, de l'eau et des impuretés, dans une colonne de distillation. Elle conduit à un alcool brut. Ce dernier subit alors des opérations complémentaires selon les marchés visés.

- Déshydratation pour l'usage carburant
- Rectification (+ déshydratation éventuelle) pour l'industrie
- Rectification et surfinage (+ déshydratation éventuelle) pour l'industrie et l'alimentaire

Le principe de la distillation repose sur la séparation des composants d'un liquide et la concentration des composants d'intérêt. Par conséquent l'alcool est concentré alors que

l'eau est éliminée. Cette séparation est réalisée par chauffage et le procédé dépend de la différence de température d'ébullition entre l'éthanol (alcool) (78 ° C) et l'eau (100 ° C). Les vapeurs d'alcool s'échappent en premier et le refroidissement (condensation) de ces vapeurs permet la récupération de liquides plus concentrés en alcool qu'avant l'opération de distillation.

• Production de vinasse

Après sa fermentation, la mélasse de betterave ou de canne à sucre donne naissance à un autre coproduit qui est la vinasse de mélasse. Ce résidu de la distillation de la mélasse fermentée a longtemps été considéré comme un déchet polluant à éliminer. Cependant, il est de nos jours valorisable en agriculture surtout sous forme concentrée.

La vinasse est obtenue après fermentation de mélasse (par des bactéries, levures ou champignons) pour obtenir des produits nobles tels que : levure boulangère, alcool éthylique, acides citrique et glutamique, lysine, antibiotique, etc. Elle est concentrée jusqu'à des taux de matière sèche se situant entre 55 et 75 %. Comme la teneur en eau de la vinasse est très importante (plus de 90 %), cette dernière est concentrée jusqu'à des taux de matière sèche (MS) fluctuant entre 55 et 75 %. En effet, le stockage et l'utilisation de cette vinasse concentrée sont plus faciles.

Les vinasses, riches en cendres et en potassium peuvent être, en partie, dépotassifiées. C'est le cas notamment des vinasses issues des fabrications d'acides aminés, lysine et acide glutamique, de la levurerie et de la distillation d'alcool.

• Production de levures de boulangerie

La mélasse est utilisée en levurerie comme milieu de culture, après un ensemble de traitements. La levure de boulangerie, *Saccharomyces cerevisiae*, est multipliée en levurerie dans des cuves contenant de la mélasse de sucrerie, des éléments azotés et des minéraux, en milieu fortement oxygéné. Les levures utilisent les sucres de la mélasse comme source principale de sucre et par conséquent d'énergie. La production se fait selon les étapes suivantes :

✓ Préparation du milieu

Une solution aqueuse constituée de 8-10% de mélasse est utilisée comme milieu de culture, son pH est d'environ 4,5. Elle est chauffée pour éliminer les microorganismes contaminants puis filtrée. Cette solution est enrichie par l'ajout de sels nutritifs (ammonium et phosphate) et des vitamines. La solution de mélasse stérile peut ensuite être ajoutée à la fermentation.

✓ **Fermentation de la levure**

Une culture pure de levure est effectuée au laboratoire. A l'intérieur d'un petit fermenteur, la souche préalablement préparée est additionnée du milieu de fermentation (la mélasse diluée clarifiée et stérilisée, des éléments nutritifs et des vitamines).

Ce mélange est envoyé dans des fermenteurs plus grands pour une bonne multiplication de la levure. Après centrifugation, les cellules de levures sont séparées du moût, le résidu liquide délevuré passera dans les égouts et la crème retournera vers les fermenteurs. C'est la levure mère, qui suite à une autre multiplication donnera la crème de levure commerciale.

✓ **Filtration et emballage**

Une fois que la quantité nécessaire a été produite, la crème de levure est séparée du reste du liquide fermenté. Une partie de l'eau est retirée par filtration sous vide. La levure est pressée dans un extracteur, elle est mise en forme, puis coupée en morceaux pour être enfin emballée. Elle est également granulée et emballée dans des grands sacs sous forme de levure en poudre.

• **Production d'acide lactique**

Les bactéries lactiques exigent des aliments complexes, comme la mélasse, dont elles fermentent les sucres en acide lactique. La souche utilisée est homofermentaire : *Lactobacillus delbrueckii* avec un rendement de 90% de sucre utilisé.

• **Alimentation humaine**

Une petite fraction de mélasse se retrouve en rayons des super marchés pour la consommation humaine.

• **Alimentation animale**

La mélasse est couramment utilisée dans l'alimentation des ruminants et des chevaux, en mélange avec de la paille ou d'autres aliments cellulosiques tels que le son, elle agit comme liant dans les rations complètes ou favorise la consommation d'aliments peu appréciés par le bétail. La mélasse est très appétente. Grâce à ses sucres, ses acides aminés et ses sels, elle constitue un aliment dont la saveur et l'odeur stimulent l'appétit et favorisent la digestion. L'apport d'azote par les mélasses doit aussi jouer un rôle important dans l'augmentation des quantités ingérées des rations de moyenne qualité dans lesquelles elles sont généralement intégrées.

Chapitre V :

Valorisation des coproduits d'abattoirs de volailles

I- Production mondiale de viande de volaille

La croissance accrue de la population particulièrement après les années cinquante, dépasse les 7,5 milliards en 2019. Par conséquent, les principaux problèmes engendrés par cette augmentation sont principalement liés à la forte demande en alimentation. La volaille comme aliment, contribue fortement à répondre cette demande. En 2020, la viande de poulet est devenue la viande la plus consommée et produite, sa production dépasse 110 millions de tonnes/ année. L'augmentation de la production conduit au développement d'installations d'abattage et de conditionnement industriels.

II- Opérations réalisées dans un abattoir de volailles

Les opérations réalisées dans un abattoir et les ateliers de découpe de volailles (Fig. 24) sont décrites ci-dessous :

- **Réception et attente**

Les volailles arrivent à l'abattoir dans des cages où elles attendent d'être déchargées des camions au moment où elles seront sacrifiées. L'endroit réservé à l'attente doit être calme et bien aéré. Les volailles doivent être sacrifiées dans un délai inférieur à 24 heures après leur arrivée à l'abattoir.

- **Sortie des cages et accrochage**

L'opération pendant laquelle les volailles sont sorties des cages et accrochées sur la chaîne d'abattage est réalisée dans une salle différente et isolée de la zone d'attente et de la salle d'abattage. Elles sont accrochées individuellement par les pattes sur crochets reliés à la chaîne d'abattage

Les cages sont retirées et transportées dans une zone où le lavage et la désinfection sont généralement réalisés par des machines automatiques.

- **Étourdissement**

L'objectif de l'étourdissement est d'insensibiliser les volailles à la douleur ce qui permet de leur donner une mort plus adaptée et de produire des carcasses de meilleure qualité. L'électricité est la méthode la plus courante d'étourdissement, elle consiste à mettre sous tension les crochets et à immerger les têtes des poulets dans un bain d'eau ionisé. Les volailles

reçoivent alors une légère décharge qui les étourdit lors de la fermeture du circuit électrique. Récemment, l'étourdissement par atmosphères modifiées a été adopté par plusieurs abattoirs. Les volailles arrivent ainsi totalement inconscientes dans la zone de saignée, ce qui donne une meilleure viande. Dans ce cas, les volailles sont étourdies dans les cages mêmes et, une fois inconscientes, elles sont suspendues à la chaîne d'abattage pour être égorgées.

Dans les pays musulmans où l'abattage des animaux destinés à la consommation humaine est déterminé par des rites religieux, il n'est pas permis en principe d'étourdir l'animal avant de le saigner, puisque celui-ci doit arriver vivant à l'abattage. Dans le cas des volailles, l'étourdissement électrique dans les abattoirs industriels produit simplement une légère inconscience et il est habituellement accepté par la plus grande partie des communautés musulmanes pour la dénomination de cette viande comme halal. Dans les pays du Maghreb et du Moyen-Orient, où les procédés sont plus traditionnels et manuels, il est probable qu'aucun type d'étourdissement ne soit appliqué aux volailles avant leur abattage.

- **Saignée**

L'abattage doit être réalisé peu après l'étourdissement. Il vaut mieux attendre au moins 30 secondes après l'étourdissement électrique. L'égorgeage peut être réalisé manuellement ou automatiquement. Il se fait en pratiquant une coupure extérieure sur le côté du cou, de façon à sectionner la veine jugulaire et l'artère carotide de l'animal ou en introduisant à l'intérieur de la trachée un outil qui sectionne la veine jugulaire. De cette façon, la carcasse a un meilleur aspect et elle ne présente pas de blessures ou d'hématomes. Dans les pays du Maghreb on préfère une coupure manuelle. Dans les pays européens, on considère la viande halal, si l'égorgeage est automatique, on demande habituellement une double lame ou une coupure transversale qui assure la section totale des veines, des artères et de la trachée.

- **Échaudage**

Cette opération est réalisée pour affaiblir l'insertion de la plume dans les follicules et faciliter la plumaison ultérieure. Elle consiste normalement à submerger les volailles dans un bain d'eau chaude à 49-52 °C (selon le type d'échaudage) et pendant 2-3 minutes. Une agitation de l'eau de l'échaudoir (pompage, turbines ou injection d'air) facilite la pénétration de l'eau chaude entre les plumes et son contact avec la peau.

- **Plumaison**

L'élimination des plumes est réalisée par des machines qui disposent d'une série de disques, de tambours ou d'autres dispositifs avec des doigts en caoutchouc. Lorsque les volailles passent dans le sens de rotation opposé, ce dispositif arrache les plumes de la peau. Sous l'action d'un balai, la volaille est nettoyée de toutes les plumes qui pourraient accrochées.

Parallèlement à cette opération, il y a aussi une douche qui transporte les plumes vers un canal inférieur puis vers la zone de collecte. Des révisions manuelles sont généralement effectuées pour empêcher les plumes d'atteindre les étapes ultérieures du processus. D'un point de vue hygiénique, cette opération est très critique car elle est réalisée dans un environnement humide et à haute température, ce qui favorise la croissance des microorganismes. De plus, les doigts en caoutchouc peuvent également propager des contaminants entre les volailles. Par conséquent, une fois l'opération terminée, de nombreuses douches doivent être effectuées.

- **Éviscération**

L'éviscération est faite dans une zone à température contrôlée hors de la zone d'échaudage et de plumaison. L'intégralité des intestins est retirée en prenant soin de ne pas contaminer l'intérieur de la volaille avec des matières fécales ou de la bile. Cela peut être fait manuellement avec des couteaux à cloaque qui travaillent sous vide. La résection viscérale est réalisée comme suivant quelques étapes : accrochage à la ceinture de préparation, découpe du cou et du cloaque, ouverture abdominale. L'extraction des viscères de la carcasse est réalisée avec des machines automatiques qui extraient en un seul mouvement le jabot, le gésier, les intestins, le foie, la rate, le cœur et les poumons. Après chaque extraction, les instruments utilisés sont nettoyés et désinfectés. Ces organes internes ont des destinations différentes selon qu'ils soient comestibles (cœur, estomac et foie) ou non. Un examen post-mortem est effectué lors de cette opération. En effet, les abats comestibles sont triés, refroidis et emballés. Les autres abats, les déchets et les plumes sont retirés le plus vite possible pour éviter les contaminations.

- **Découpe des pattes et des têtes**

Dans les abattoirs industriels à grande production, la séparation de la tête est réalisée avec des machines automatiques équipées de deux barres-guides entre lesquelles passent les têtes. Ces barres tirent la tête et la séparent avec l'œsophage et la trachée. Les pattes sont coupées automatiquement à la hauteur du tarse. Une opération réalisée avec soin puisque des extrémités irrégulières et pointues causées par le découpage de la carcasse peuvent abîmer l'emballage.

- **Lavage**

Le lavage des carcasses après l'éviscération est une opération obligatoire.

Son but c'est de nettoyer les carcasses des résidus des opérations précédentes et de réduire les possibilités de contamination microbienne superficielle. Il se fait normalement avec de l'eau sous pression.

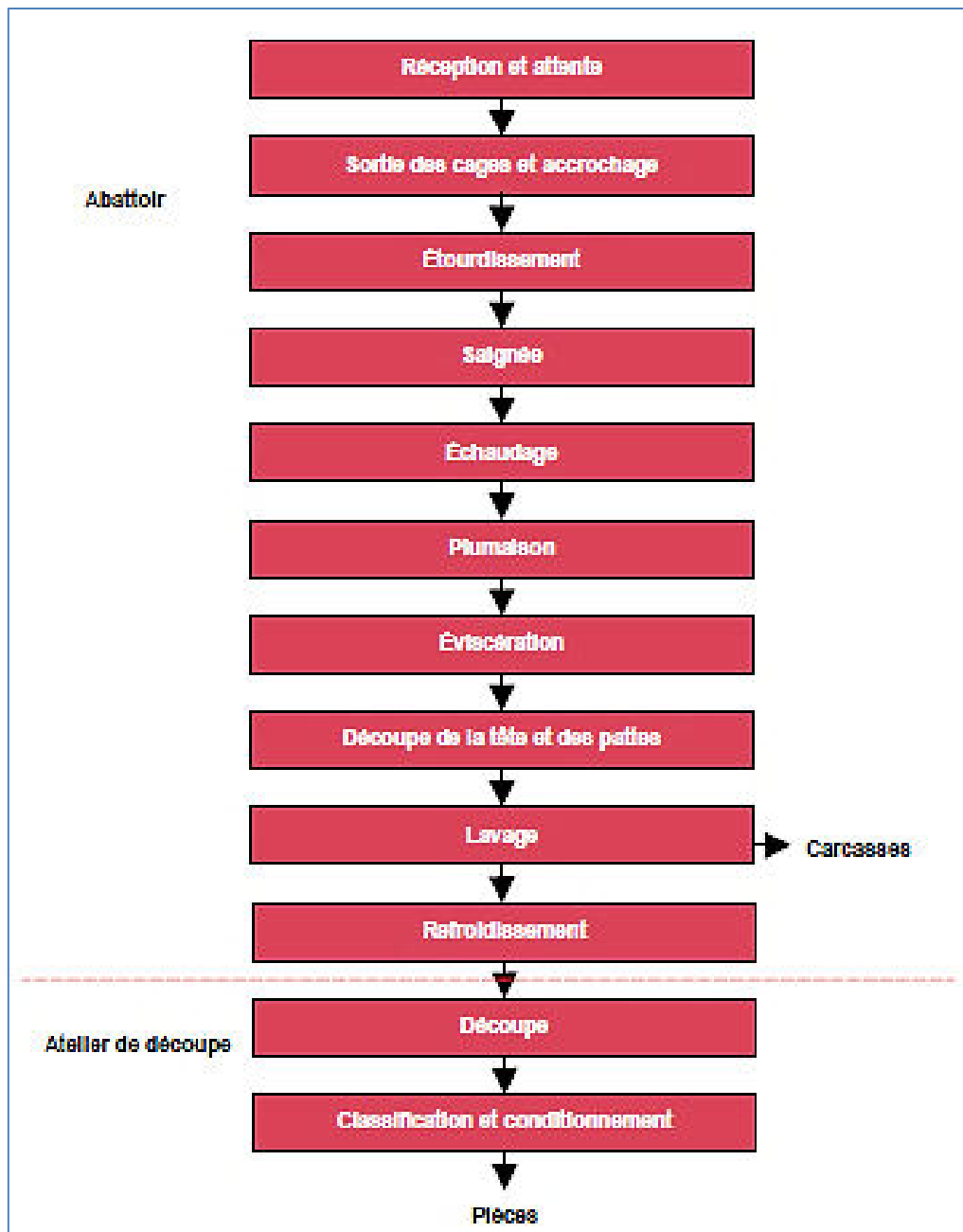


Figure 24. Organigramme du processus de l'abattage pour les volailles.

- **Refroidissement**

Après le lavage, les carcasses sont décrochées de la ligne et placées dans des caisses qui seront envoyées dans les chambres de réfrigération ou elles sont transportées directement des lignes vers les chambres. Un refroidissement rapide a pour but de freiner ou d'inhiber la croissance des microorganismes présents dans la carcasse ainsi que de retarder la maturation enzymatique. La température de la carcasse à la sortie de la chambre de repos doit être inférieure ou égale à 4 °C. Les carcasses de poulet et de dinde sont classées en fonction de

leur aspect et leur poids. Elles sont normalement conditionnées dans des caisses en plastique ou dans des barquettes plastifiées. Selon leur destination, elles sont conservées dans des chambres de réfrigération ou de congélation. À ce moment, les carcasses peuvent être destinées à l'expédition et au marché de consommation ou envoyées dans des ateliers de découpe et de fabrication de préparations carnées.

- **Découpe**

Dans les ateliers de découpe, les carcasses sont divisées en pièces plus petites, dont le degré de division varie en fonction du type de viande et de sa destination. Dans le cas des volailles, la découpe se fait sur des tables de travail et on obtient des demi-carcasses, des quarts, des ailes, des côtelettes, des blancs, des cuisses et des hauts de cuisse.

- **Classification et conditionnement**

Les différentes pièces de poulet et de dinde sont classées en fonction de leur aspect et leur poids et elles sont normalement conditionnées dans des caisses en plastique ou dans des barquettes plastifiées. Selon leur destination, elles sont conservées dans des chambres de réfrigération ou de congélation.

Ces opérations d'abattage génèrent beaucoup de déchets. Autrefois, ces coproduits étaient directement déversés dans les sites d'enfouissement. La valorisation est établie pour réduire les zones de stockage, et la pollution des sites d'enfouissement, mais aussi protéger l'environnement et la santé. Ce type de résidu est un véritable gisement de matière organique

L'établissement d'un plan de gestion, répondant à une succession de phases est un facteur important, commençant par le tri à la source et la collecte sélective jusqu'au traitement approprié des résidus.

Le tri à la source consiste à séparer les déchets d'abattage par catégories lors du processus de production via une récupération distincte afin de permettre leur valorisation

La collecte consiste à récupérer les déchets et les transférer vers un système de transport approprié ou un espace réservé à cet effet

Le traitement des déchets d'abattoirs de volaille permet donc la valorisation et la réintroduction sur le marché de nouveaux produits

III- Valorisation des coproduits d'abattoirs de volaille

Les coproduits d'abattage de volailles, sont les carcasses (les os), les abats, les plumes, le sang, les viscères, pattes et tête, les technologies existantes en terme de valorisation des déchets d'abattoirs avicoles sont diverses.

III-1 Plumes issus d'abattoirs de volaille

Les plumes ont des caractéristiques physiques spécifiques : leur pouvoir isolant et leur légèreté leur valent d'être utilisées dans de nombreuses applications. Les plumes ne doivent donc pas, sauf cas particuliers, être considérées comme des déchets au sens habituel du terme, mais plutôt comme une matière première naturelle traditionnelle. Les plumes représentent environ 5% du poids vif de l'animal. Elles sont collectées auprès des abattoirs industriels, recherchées pour leur propriété d'isolant thermique, principalement dans l'industrie textile.

III-1-2 Valorisation des plumes

Les plumes sont considérées comme des coproduits animaux de catégorie 3 vu qu'elles ne présentent pas de signes d'une maladie transmissible à l'homme ou à l'animal. Depuis la date du 01/05/2003, le règlement européen CE 1774/2002 autorise et encourage la valorisation de ces coproduits qui présentent une source de pollution et influencent profondément l'environnement.

Annuellement, plus de 5 million de tonnes de plumes sont produits chaque année par l'industrie de la volaille (un poulet vivant de 2 kg produit 180g de plumes). Ces coproduits peuvent donc, être valorisés par différentes voies et utilisés dans le compostage et l'alimentation animale. Ils sont utilisés aussi dans la fabrication de farine de plumes utilisée dans les milieux de cultures de plusieurs microorganismes capables de produire différents métabolites (kératinases, α -amylase et autres). La proportion de la kératine présente au niveau des plumes et sa richesse en acides aminés justifie également leur utilisation comme matière pour la récupération des acides aminés et surtout la cystéine.

- ***Production de farine de plumes***

La farine de plumes est un matériau d'alimentation animale (animaux de compagnie et de poissons) ou valorisée dans l'agriculture sous forme d'engrais. Elle est fabriquée à partir de plumes obtenues lors de l'abattage des volailles en utilisant une technologie spéciale pour augmenter la digestibilité des protéines de plumes.

A l'origine, les plumes ne sont pas digestibles due à la kératine dont elles sont constituées (une forte teneur en cystine). Ce problème est réglé soit par un processus d'hydrolyse thermique ou chimique.

Le traitement thermique des plumes est réalisé à basse pression environ 130°C /2 h ou à haute pression 145°C/30 min. Après cuisson, le produit est séché à une température d'environ 60°C, puis broyé et passé à travers un tamis.

Le traitement chimique consiste à fait bouillir les plumes dans une solution de sulfite de soude, d'alcool et d'eau : 80% des plumes se dissolvent. On filtre ensuite le liquide pour éliminer les plumes non dissoutes et on le laisse refroidir ; le mélange se dépose alors et le solvant peut être éliminé par lavage et par pression. Après séchage le résidu protéique est prêt pour l'emploi.

- **Production d'engrais**

Les plumes ont une teneur en azote très élevée (10%) et constituent donc une partie importante de l'unité d'engrais. Leur richesse en azote est importante par rapport à celles des effluents d'élevage (3%). Les fabricants d'engrais organiques ont manifesté le plus grand intérêt pour l'utilisation de plumes pour fabriquer des engrais. Cependant, leur utilisation implique certaines contraintes :

- Importante teneur en azote, il est donc nécessaire de mélanger les plumes avec un lisier riche en matière organique ou en déchets verts,
- Concurrence avec les fientes de volaille, qui sont également riches en azote en plus de leur utilisation subventionnée,
- Restrictions du marché (demande d'agriculture biologique),
- Temps de décomposition des plumes (4 à 6 mois),
- Restrictions réglementaires : les plumes doivent être traitées thermiquement pour produire de l'engrais organique, et les exigences réglementaires pour l'utilisation des plumes de l'abattoir de compost (fraîches) doivent être clarifiées.
- Restrictions économiques sur le prix de vente de la farine (effet des subventions de l'Etat)

- **Production d'acides aminés**

Des acides aminés principalement : Cystine, Tyrosine, Kéramine sont produits à partir de plumes en se basant sur les méthodes d'hydrolyse (avec du HCl ou NaOH) et nécessitant une technologie adéquate. On estime qu'environ 10 tonnes de plumes séchées sont nécessaires pour produire 400 à 500 Kg de cystine. Ainsi, le traitement d'une tonne de plumes séchées génère 50 à 60 kg de kéramine. Le marché des acides aminés reste très étroit et corrélé à celui des ingrédients utilisés.

- **Autres valorisations**

L'utilisation de méthodes de conversion mécaniques et chimiques permet de produire des polymères intéressants. Ces derniers possèdent des propriétés uniques telles que : la faible densité, la bonne flexibilité, la résistance modérée, en plus de la longueur, durabilité, le regain d'humidité élevé et la résistance à la décoloration à la lumière élevée. Ainsi, les plumes offre un potentiel pour développer des textiles aux propriétés uniques.

Les polymères issus des plumes sont considérés comme une alternative pour remplacer les matériaux actuellement utilisés pour la livraison des aliments réfrigérés, congelés et d'autres produits susceptibles de se dégrader à des températures élevées lors de la livraison en fournissant un emballage thermiquement isolant.

La kératine extraite des plumes pourrait servir à la fabrication de fibres entrant dans la composition de masques ou de filtres industriels. Elle se prêterait même à la production de peau artificielle, par exemple pour le traitement de brûlures de grande surface

III-2 Os issus d'abattoirs de volaille

La transformation et la valorisation des os dépendent pour plus de la moitié des volumes de collecte, d'intervenants spécialisés. Les os, après broyage et dégraissage pourront être utilisés pour la fabrication de gélatines. En fonction de la méthode utilisée, plusieurs farine ou poudre sont produites à partir de ces os.

La farine d'os fournit du calcium et du phosphore et des d'oligo-éléments lorsqu'elle est administrée au bétail comme aliment. Elle est parfois mélangée avec des concentrés ou utilisés comme pierre à lécher sur le terrain.

L'os est à la base de la fabrication de nombreux produits avec une large gamme d'applications industrielles (colle, émulsion photographique, cosmétique, etc.). Il n'existe pas de marché distinct de farine d'os, et ses débouchés sont soumis aux mêmes contraintes conjoncturelles et structurelles que celle des farines de viande.

III-3 Sang issu de l'abattoir de volailles

Le sang est une substance «noble», qui est «hautement valorisable» en raison de ses propriétés nutritionnelles inhérentes uniques, il est donc à la fois un produit d'abattage et un contaminant d'effluent liquide. D'un point de vue microbiologique et biochimique, la nature du sang fait de ce tissu animal un produit extrêmement sensible, et la valorisation de ce produit signifie une excellente maîtrise de ses conditions de recyclage et de traitement. Il est donc jugé que l'abatteur maîtrise sa récupération si 90% du sang est récupéré.

Le traitement du sang comme un produit à haute ou moyenne valeur ajoutée permet de bénéficier des différents marchés qu'il génère. Le processus de transformation technologique est organisé dans l'unité d'abattage. Par conséquent, un investissement réel et raisonnable doit prendre en compte les coûts de valorisation, de la non valorisation et la nature du marché des produits de transformation pour optimiser sa rentabilité et adapter l'organisation de la production pour atteindre les objectifs de qualité du produit. Néanmoins, le sang reste encore, dans la grande majorité des abattoirs de petite taille ou de moyenne dimension, un sous-produit faiblement valorisé. Les conditions de récupération, de traitement et de stockage et les quantités impliquées rendent les produits de sang peu attractifs pour ces abattoirs

- ***Production de la farine de sang***

Elle se caractérise par une forte teneur en protéines (de 90% à 95%), des acides aminés essentiels importants et une forte digestibilité (supérieure à 90%). La résistance des protéines à la dégradation dans le rumen fait d'elle une source intéressante de protéines dans l'alimentation des ruminants. Ces farines sont produites par atomisation, une méthode de déshydratation du sang sous forme de poudre par passage dans un flux d'air chaud.

Cependant, malgré une bonne organisation de collecte, il n'y a pas de véritable marché des farines de sang. Etroitement liée au marché des farines de viande, la valorisation des farines de sang dans l'alimentation animale est limitée par la menace d'épidémies animales (maladies qui affectent plus ou moins une espèce animale ou un groupe d'espèces dans son ensemble).

Le marché de la consommation d'aliments pour animaux de compagnie se développe. Lorsque la méthode de récupération préserve la qualité microbiologique et d'ingrédients suffisants, le sang et ses dérivés constituent l'ingrédient alimentaire de choix, il est donc incorporé dans les usages traditionnels (par exemple, les saucisses).

Sous forme de sang entier, il rentre dans la préparation de diverses formules charcutières à différents taux (saucisses entre 5 et 10%, pâté de foie entre 2 et 3%, cervelas 12%, etc.) et en fabrication biscuiterie. Elle sert d'engrais riche en azote, c'est l'une des sources non synthétiques d'azote les plus élevées.

Le plasma est additionné lors des processus de fabrication des steaks hachés, des aliments prêts à consommer (notamment ses propriétés adhésives).

III-4 Viscères, pattes et têtes

Les viscères sont des composés complexes, relativement riche en cellulose et en matières fécales. Elles sont destinées à l'équarrissage, pour la production de farines (rendement moyen : 35 à 45% selon les mélanges, avec têtes, pattes et autres coproduits d'abattage). Après ajout d'antioxydants (stabilisation) aux viscères, ceux-ci sont broyés, cuits, déshydratés et pressés. La partie protéique ainsi que la graisse qui subit une centrifugation et une filtration sont utilisées en alimentation pour animaux de compagnie. Les déchets viscéraux peuvent également trouver une utilisation dans les engrais agricoles par épandage. Cependant, des craintes de dissémination de maladies ont été soulevées. De ce fait, un procédé biologique permettant la transformation de ces déchets en un produit stable a été mis au point en se basant sur l'utilisation de bactéries lactiques et de levures. En effet, lors de la phase fermentaire, les températures augmentent fortement permettant de résoudre ce problème en stabilisant le produit.

Certains boyaux sont traités dans des ateliers et installations spécialisées, pour des valorisations spécifiques, dont le débouché majeur est l'industrie alimentaire (charcuterie).

Faiblement mécanisées, ces opérations sont fortement consommatrices de main d'œuvre.

L'énorme demande pour la consommation en alimentation humaine a fait augmenter le prix des pattes et têtes de volailles, utilisées habituellement comme aliment pour le bétail ou engrais dans d'autres pays.

Chapitre VI :

Valorisation des coproduits d'industrie oléicole

I- Généralités sur l'olivier

L'olivier est l'arbre qui donne les olives comme fruit, ce dernier est consommé sous diverses formes, et partir duquel l'huile d'olive, une huile comestible, est extraite. Cet arbre appartient à l'une des sous-espèces d'*Olea europaea* de la famille des *Oleaceae*, domestiquée depuis des milliers d'années, principalement cultivée dans les régions à climat méditerranéen.

L'olive (Fig. 25) est une drupe, à peau lisse, à mésocarpe charnu riche en matière grasse, renfermant un noyau ligneux, qui contient une graine. Sa forme ovoïde est typique. Après la pleine maturité dans la plupart des variétés, sa couleur est d'abord verte puis vire au noir. Dans l'hémisphère nord, la maturité est atteinte entre octobre et décembre.

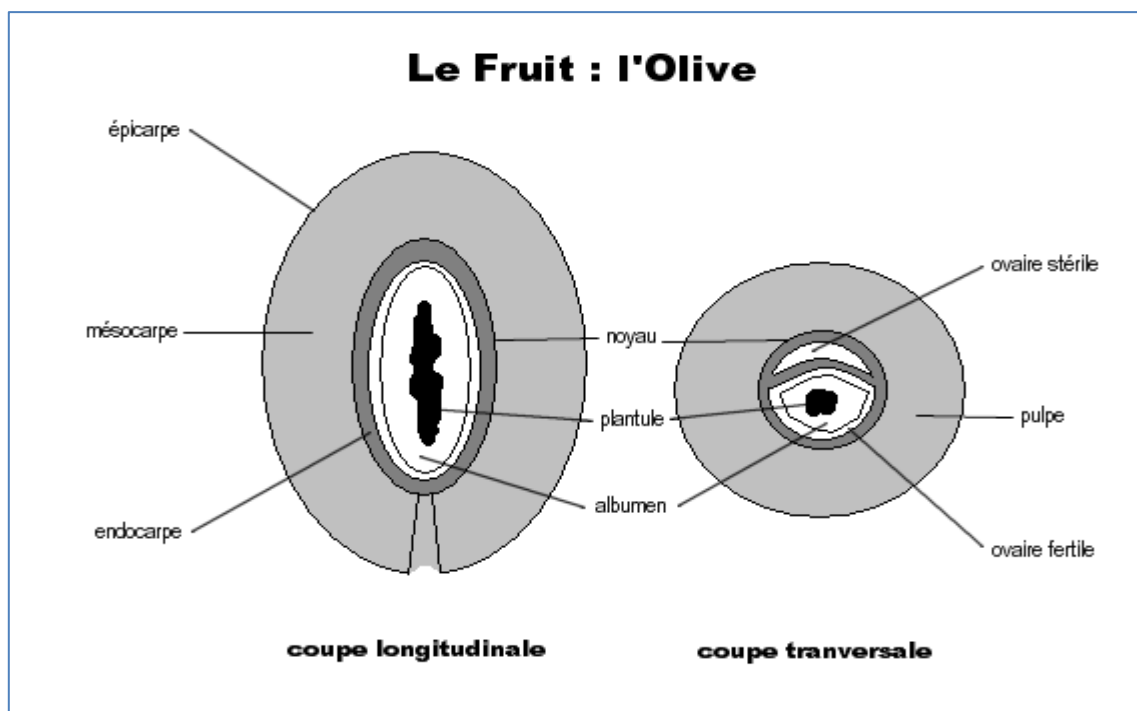


Figure 25. Structure de l'olive

II- Production mondiale d'olives

Selon les données du Conseil oléicole international à la fin de 2018, la production d'huile d'olive en 2018 était de 3135000 tonnes. Le patrimoine d'oliviers est estimé à 830 millions

voire plus d'un milliard d'oliviers selon certaines estimations. Il est distribué autour du bassin méditerranéen, avec plusieurs pays producteurs, Espagne, Portugal, Italie, Grèce, Turquie, Tunisie et Maroc. A eux seuls ces pays représentent plus de 90% de la production mondiale. Mais on trouve des oliveraies au Proche-Orient, aux USA, en Amérique latine et en Afrique du Nord.

III- Industrie oléicole et la production de l'huile d'olive

L'industrie oléicole donne à partir des olives un produit final qui est l'huile d'olive. La transformation nécessite un ensemble de procédés qu'on appelle « la trituration ». Lors d'une production industrielle, il y a au moins 10 étapes depuis le tri des fruits jusqu'au stockage et la conservation du produit fini.

III-1 Extraction de l'huile d'olive

L'extraction de l'huile d'olive est le processus (Fig. 26) industriel, réalisé dans des huileries, qui a pour but de récupérer l'huile du fruit de l'olivier. Cette dernière est contenue dans les cellules du mésocarpe (pulpe) plus exactement, des lipovacuoles.

Généralement les olives séjournent pendant 24 heures au grenier avant de commencer leur transformation en huile. En effet, juste après la récolte et le tri des olives, elles sont stockées, ce qui provoque un entassement qui risque de moisir le fruit. Rajoutant que l'exposition des olives à l'air durant le stockage a tendance à faire perdre leurs arômes.

Le processus d'extraction s'étale en plusieurs étapes qui consistent en l'extraction de la phase liquide des cellules, la séparation des fractions solides et la séparation de la fraction lipidique de la fraction aqueuse. Ce processus prévoit deux étapes fondamentales : le *broyage* qui est une préparation de la pulpe suivie de l'*extraction* qui est la séparation de la fraction huileuse des autres composants solides et liquides

Les productions industrielles par extraction mécanique diffèrent par les méthodes employées dans les différentes phases, il existe donc plusieurs types de technologies utilisées. Outre leurs caractéristiques techniques, les installations se différencient de manière marquée par la capacité de production, le niveau de mécanisation, l'organisation du travail, le rendement qualitatif et quantitatif et les coûts de production.

En général, toutes les installations comportent les quatre phases suivantes :

- **Opérations préliminaires** : elles ont pour objet de préparer les olives à la suite du travail tel que le lavage ;
- **Broyage** : il permet de briser les parois des cellules et d'en faire sortir les sucs. Cette étape génère ce qu'on appelle « *pâte* » ;
- **Extraction du moût d'huile** : elle consiste à séparer la phase liquide, l'émulsion eau-huile, de la phase solide, les « *grignons* ». Ceux-ci comportent des résidus solides des peaux, de la pulpe, des graines et des fragments des noyaux (grignons). L'émulsion eau-huile est nommée « *moût d'huile* » ou parfois « *jus d'olives* ». Le moût contient aussi le dépôt qui est un résidu solide, en suspension dans l'émulsion ;
- **Séparation de l'huile et de l'eau** : elle a pour objet de séparer les deux composants du moût d'huile. Dans ce processus, les deux phases liquides non miscibles et la plupart des dépôts sont séparés. La phase aqueuse restante est appelée margines.

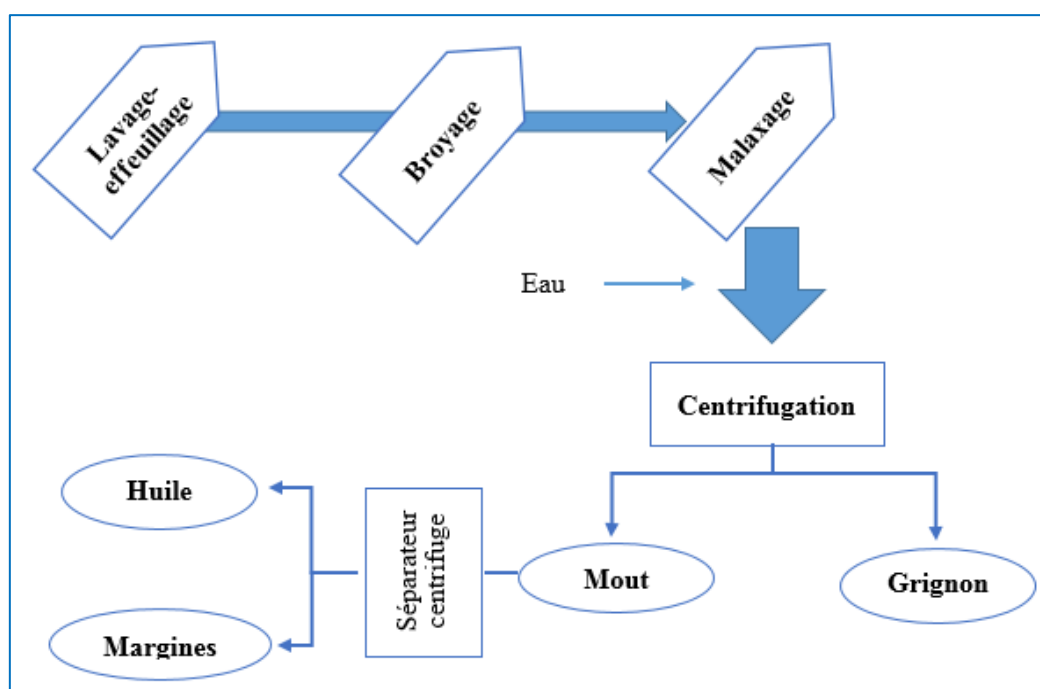


Figure 26. Etapes d'extraction de l'huile d'olive

IV- Valorisation des coproduits de l'olivier

En plus de l'huile comme produit principal, l'industrie oléicole génère de grandes quantités de coproduits. En effet, 100 kg d'olives produisent en moyenne 35 kg de marc et 100 litres d'eau végétale. La taille de l'olivier laisse en moyenne 25 kg de feuilles et de brindilles par an. La valorisation de ces résidus est devenue une nécessité pour éviter des pollutions de plus en plus graves, et contribuer à améliorer la rentabilité de la filière et combler les déficits fourragers,

notamment dans les pays du sud de la Méditerranée. Les domaines d'application des coproduits de l'olivier sont nombreux et variés.

IV-1 Grignons d'olives

Les grignons sont les résidus solides issus de la première pression. Ils sont formés de la pulpe et des noyaux d'olives. Le poids des grignons représente environ un tiers du poids des olives fraîches triturées. Ces déchets contiennent en moyenne 28,5% d'eau, 41,5% de coque, 21,5% de pulpe et 8,5% d'huile. La composition chimique du grignon varie en fonction des variétés d'olives triturées, le stade de maturité des olives, le procédé d'extraction et du solvant d'épuisement. Généralement, le grignon est composé d'une fraction riche en lignine provenant des fragments de noyaux et d'une autre fraction renfermant principalement des glucides, la cellulose et l'hémicellulose, et de faibles teneurs en protéines et en minéraux

IV-1-1 Valorisation des grignons d'olives

La valorisation des grignons (Fig.27) se fait dans diverses applications suivant les pays et le contexte.

- **Extraction de l'huiles de grignon**

Les grignons d'olives ont un débouché important dans l'industrie agroalimentaire, par l'extraction de l'huile résiduelle à l'aide de solvants.

Les produits concernés par cette méthode sont les grignons d'olives résultant de l'élaboration de l'huile d'olive vierge dans les moulins, celle-ci étant obtenue uniquement au moyen de procédés mécaniques thermiquement contrôlés de façon à ne pas altérer l'huile.

Le grignon gras humide est constitué de la pulpe, de la peau, du noyau de l'olive et d'une quantité variable de margines et d'huile en fonction du système de production de l'huile d'olive vierge utilisé, de la qualité des olives traitées par le moulin et de son équipement :

- Grignon obtenu de la pression de la pâte d'olives : sa teneur en huile est de l'ordre de 3 à 9 % dans le grignon et son taux d'humidité est de 25 à 35 % ;
- Grignon obtenu de la centrifugation à trois phases de la pâte d'olives : sa teneur en huile est de l'ordre de 2,5 à 4 % et son taux d'humidité est de 45 à 55 % ;

- Grignon obtenu de la centrifugation à deux phases de la pâte d'olives : sa teneur en huile est de l'ordre de 2 à 3,5 % et son taux d'humidité est de 60 à 70 %.

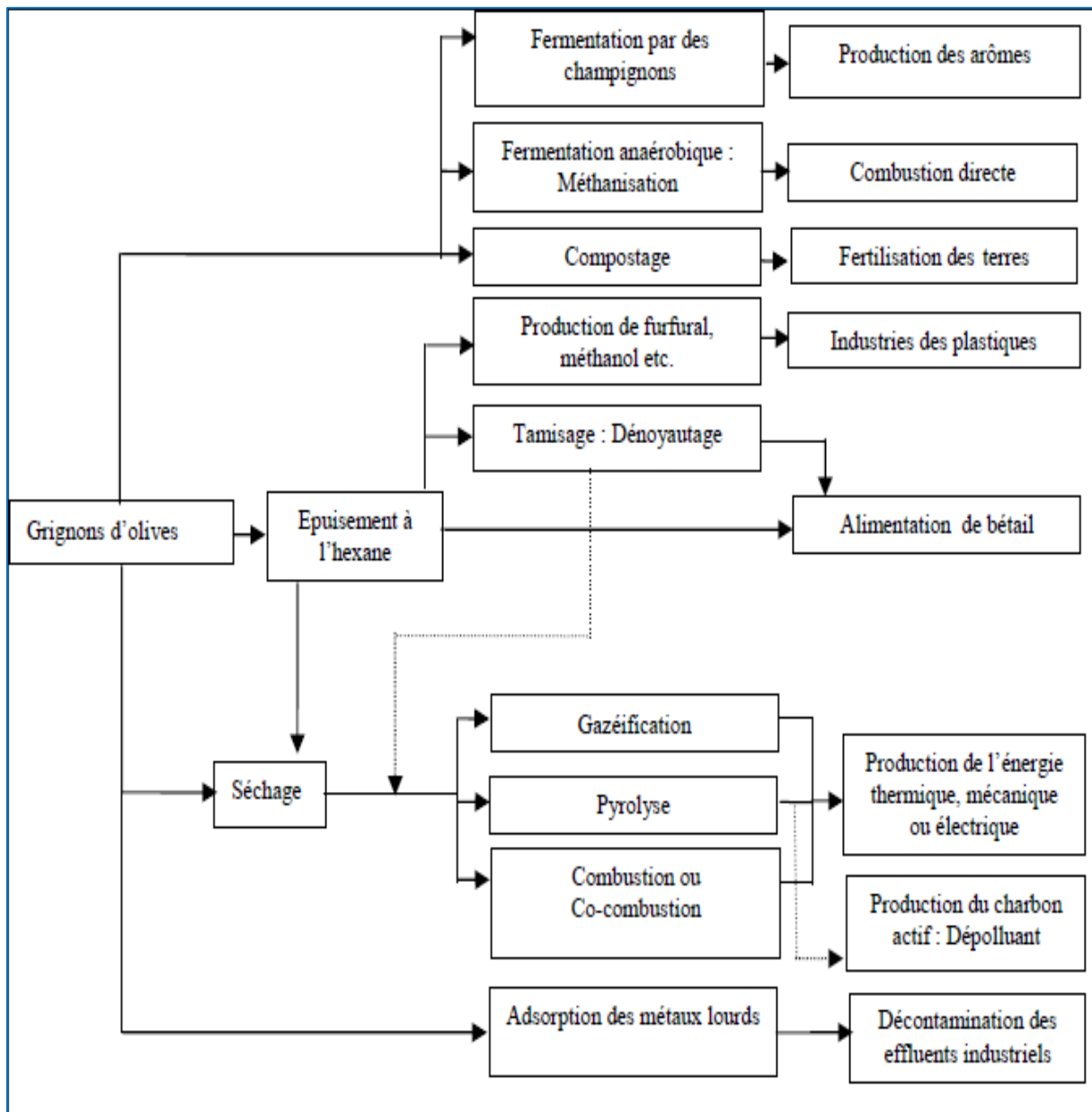


Figure 27. Les différentes voies de valorisation des grignons d'olives

❖ Processus industriel d'extraction de l'huile de grignon

Plusieurs étapes sont suivies lors de l'extraction de l'huile du grignon d'olive (Fig. 28 ; 31)

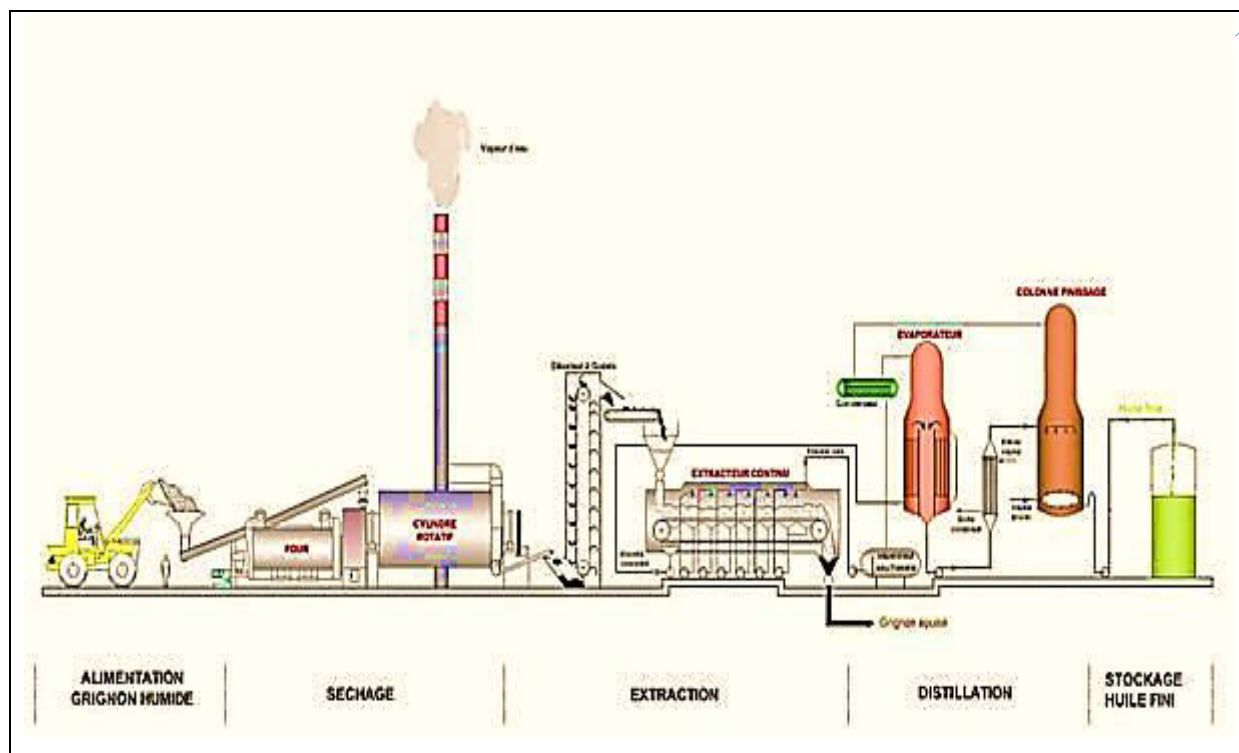


Figure 28. Principales étapes de l'extraction de l'huile du grignon d'olive

- **Réception et stockage des matières premières et auxiliaires**

Les grignons d'olive provenant de la pression, de la centrifugation à trois ou à deux phases, réceptionnés des différentes huileries sont stockés dans des aires aménagées aérées, évitant ainsi toute pollution, infiltration dans l'environnement ainsi que contamination des grignons.

En parallèle le solvant d'extraction hexane ou autres solvants autorisés à des fins alimentaires est stocké en citernes isolées, éloignées de l'installation de séchage, de préférence enterrées, conformément aux règles générales de sécurité applicables aux produits inflammables.

- **Séchage du grignon**

Le séchage se fait au moyen d'un courant d'air chaud appliqué sur le grignon lors de son passage dans un cylindre rotatif (trommel) en vue d'abaisser son taux d'humidité aux alentours de 10 %, la température du grignon en fin de séchage ne devrait pas dépasser 70-80° C. Cette opération vient interrompre les fermentations au niveau du grignon afin de permettre l'extraction pour obtenir un produit de qualité et préserver les caractéristiques organoleptiques du produit final.

Un refroidissement au moyen d'une ventilation naturelle ou forcée du grignon séché est réalisé dans le cas d'un éventuel stockage.

- **Extraction**

L'extraction par solvant des huiles de grignons est essentiellement réalisée de manière industrielle par mise en contact de grignons séchés avec un solvant. On obtient le « *miscella* », une solution d'huile et d'hexane, dont la concentration varie en fonction de la teneur en huile de l'oléagineux traité.

Deux types d'extracteurs peuvent être utilisés dans l'extraction de l'huile de grignon, à savoir :

1/- Extracteur discontinu

Le principe de l'extracteur discontinu (Fig. 29) est l'utilisation de plusieurs extracteurs en série et qui a pour objectif d'augmenter la capacité d'extraction ainsi que d'enrichir le miscella.

L'hexane enrichi d'huile sort du premier extracteur pour alimenter le deuxième extracteur et de la même manière jusqu'à en arriver au dernier extracteur. Le miscella récupéré du dernier extracteur devient de plus en plus concentré en huile et sera envoyer vers l'étape de distillation.

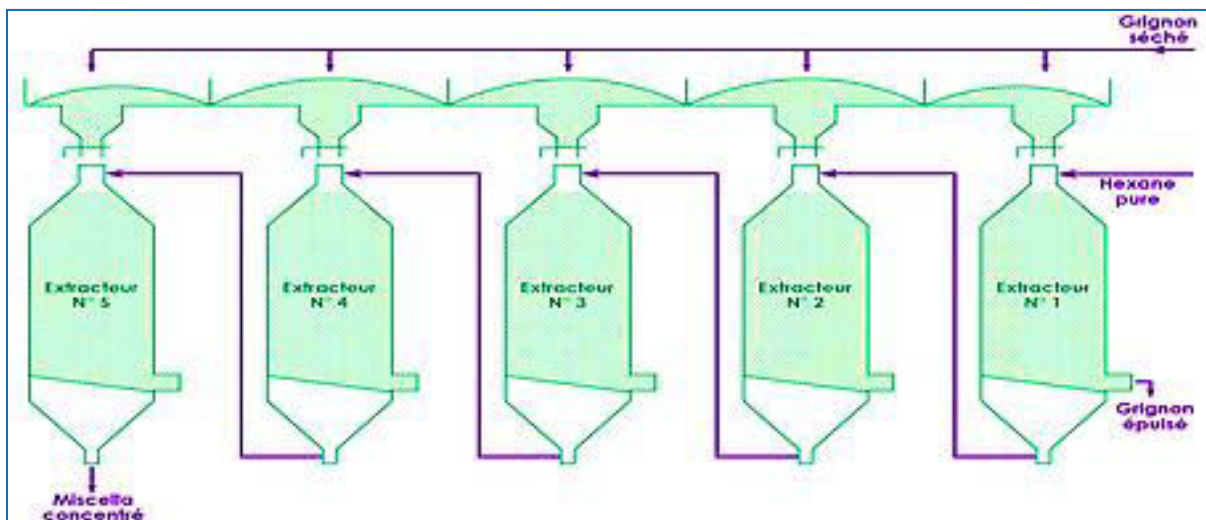


Figure 29. Extracteur discontinu

2/- Extracteur continu

Le principe de l'extraction continue (Fig. 30) consiste à assurer un déplacement continu des grignons séchés et celui de l'hexane, de telle sorte que ces grignons s'appauvrissent régulièrement en huile, tandis que l'hexane se transforme en miscella de plus en plus concentré.

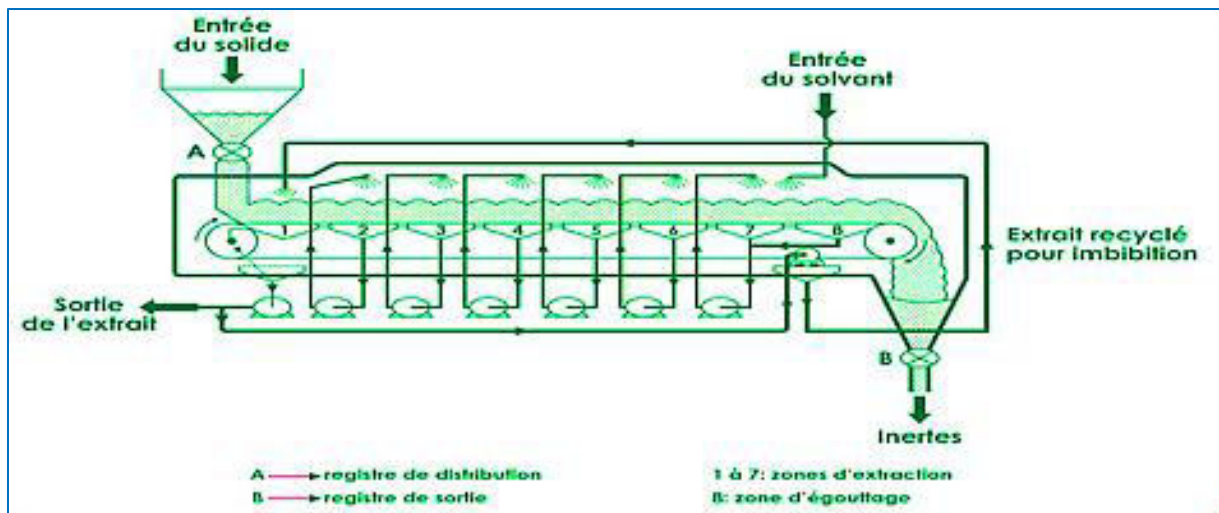


Figure 30. Extracteur continu

- **Distillation**

La distillation du mélange huile-hexane se fait dans un distillateur, à une température maximale de 100 - 110° C, contribuant à la séparation de l'hexane et de l'huile. A la fin de la distillation, l'huile est refroidie.

- **Stockage de l'huile obtenue**

L'huile de grignons d'olive brute obtenue est stockée dans des conteneurs en acier inoxydable de préférence. Quant au grignon épuisé, il sera stocké dans des hangars ou des aires aménagées à l'air libre de manière à éviter toute contamination du grignon ou de l'environnement.

Cette technique permet la récupération d'au moins 6% d'huile alimentaire.

Il existe différentes catégories d'huile de grignons on cite par exemple :

a) Huile de grignon d'olive brute : Cette huile de grignons d'olive brute a été obtenue par une double extraction à l'hexane. Elle est destinée au raffinage en vue de son utilisation dans l'alimentation humaine ou destinée à des usages techniques.

b) Huile de grignon d'olive raffinée : C'est une huile, limpide, de couleur jaune à jaune brun, sans odeur ou saveur spécifique, obtenue à partir de l'huile de grignons d'olives brute par des techniques de raffinage n'entraînant pas de modifications de la structure glycérique initiale et dont l'acidité ne peut être supérieure à 0,3g pour 100g.

c) Huile de grignon d'olive : C'est une huile constituée d'huile de grignons d'olive raffinée que l'on assemble généralement avec de l'huile d'olive vierge, afin de produire l'huile de grignons d'olive. C'est une huile alimentaire et bon marché.

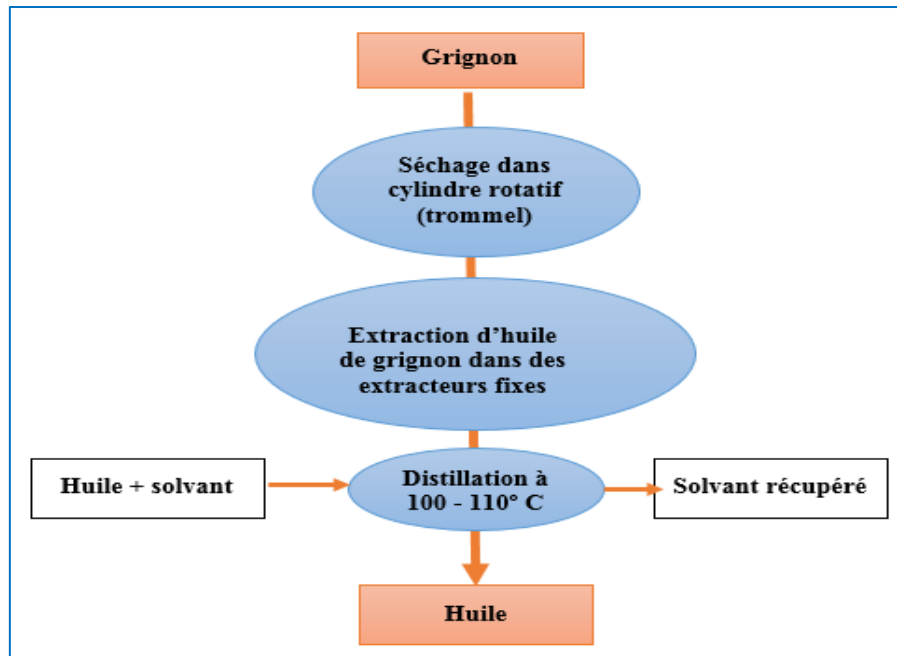


Figure 31. Étapes suivies lors de l'extraction de l'huile du grignon d'olive

- **Valorisation dans l'alimentation animale**

Le grignon d'olive est destiné à l'alimentation des ruminants, en particulier les ovins. Beaucoup d'études ont été réalisées pour améliorer la valeur nutritive du grignon d'olive par des procédés de traitement alcalins.

Les grignons d'olive en mélange à du son ou même du cactus est utilisé pour alimenter les dromadaires ou les ovins pendant les périodes difficiles (manque d'aliments). Toutefois, très peu d'essais ont été effectués avec ce type de grignon.

- **Valorisation dans la production de composts**

Dans le domaine agricole, les grignons d'olive peuvent être employés comme fertilisants, après avoir subi un compostage (processus bio-oxydatif contrôlé, sous l'action des microorganismes) pour faciliter leur dégradation et éliminer leurs effets phytotoxiques. Le compost des grignons d'olive est utilisé dans les terres agricoles pour l'amélioration de la fertilité des sols et de la productivité des cultures. Cette technique permet d'une part, de réduire les coûts de fertilisation et d'autre part, de limiter la pollution due à ces rejets.

Les composts de grignons ne sont généralement pas commercialisés, mais utilisés le plus souvent localement par les agriculteurs qui les ont compostés.

- **Valorisation dans la production de biogaz**

La fermentation en anaérobie des grignons d'olive produit du biogaz (57 - 65% du méthane). Le méthane est utilisé comme une source d'énergie pour le chauffage de l'eau et la production de l'électricité à usage domestique.

- **Valorisation comme combustible**

Après séparation du grignon de la pulpe et des fragments de noyaux, il est utilisé comme combustible, d'emploi facile et doté d'un pouvoir calorifique élevé, il constitue alors un substitut au bois de chauffage en granulés pour les chaudières et les poêles.

Il est toutefois nécessaire de traiter le grignon car il est constitué d'une importante quantité d'eau, pénalisant sa combustion. De plus, la vaporisation de l'humidité aide à la volatilisation de molécules odorantes, rendant problématique l'utilisation du grignon comme combustible à usage domestique.

- **Utilisation comme charbon actif**

La fabrication du charbon de grignon d'olive a été faite dans une station pilote en phase de validation selon les normes. Le grignon est purifié de ses résidus huileux pour ensuite être brûlé dans un four, notamment par torréfaction, jusqu'à l'obtention d'une matière noire. Cette dernière, une fois concassée sous forme de poudre, est mélangée à un liant, comme de l'eau, pour obtenir une pâte homogène qui est comprimée puis séchée pour obtenir un charbon solide.

Ce charbon est alors plus facile à allumer pour un pouvoir calorifique constant et plus long que le charbon de bois. De plus, sa combustion n'émet pas de flamme, sans émission de fumée, pour une quantité de cendres résiduelles très faibles.

Le charbon est aussi étudié pour l'adsorption du phénol et des métaux lourds. C'est un excellent décontaminant des eaux polluées.

- **Valorisation en savonnerie**

Le traitement d'environ 1 000 tonnes de grignons produira environ 250 000 barres de savon. Le procédé «Marseillais» est un procédé discontinu traditionnel de préparation de savon durant lequel la pâte est cuite dans un grand chaudron. Il est composé de phases caractéristiques, et dure environ 80 heures pour un cycle.

Le procédé se compose de plusieurs étapes à savoir :

– **Empâtage et Epinage**

On introduit en même temps le grignon d'olive (matières grasses) et la soude dans une cuve ou une chaudière que les savonniers appellent « le chaudron », de grande contenance, et on les mélange à 120 °C. La saponification démarre, elle est accélérée par la température élevée. En effet, les lipides (graisses) et la soude ne sont pas miscibles. La réaction est facilitée par rajout de savon (provenant d'une précédente fabrication) comme fond, qui sert à former une émulsion (phases huileuses et aqueuses). Cette opération est favorisée par l'agitation du mélange.

La glycérine est aussi obtenue et éliminée avec la phase aqueuse en fond de cuve. Ainsi, l'industrie du savon donne naissance à des industries annexes telle que : la fabrication des bougies par précipitation de l'acide stéarique en ajoutant un acide dans une solution de savon à base de gras saturé comme le suif.

– **Cuisson**

Lors de cette étape, de la soude est encore rajoutée afin d'avoir une réaction plus complète des matières grasses. Dans le cas où une partie des matières grasses ne réagissait pas avec la soude, elle risquerait de réduire la qualité du produit (rancir et poserait des problèmes de conservation). La pâte est cuite plusieurs heures.

– **Relargage**

La pâte est nettoyée à l'eau salée pendant plusieurs heures pour éliminer la soude en excès. Cette opération est réalisée dans une solution aqueuse saturée de chlorure de sodium (soit 360 g de NaCl par litre d'eau). Contrairement à la soude, le savon a une très faible solubilité dans l'eau salée. Il forme un précipité qui est récupéré par extraction. Le savon fini ne contient pas du tout de soude, car s'il est lavé avec soin, l'eau salée enlèvera la soude, les autres impuretés de l'huile et la glycérine. C'est le dégraissage (delipidation) du savon.

– **Liquidation**

La pâte est laissée au repos puis elle est lavée à l'eau.

– **Coulage et Séchage**

La pâte fluide est versée dans des moules, puis le savon humide est mis à sécher pour le durcir.

– **Découpage et Estampillage**

Le savon solidifié est découpé en cubes, puis marqué. À l'origine, le savon de Marseille traditionnel affiche 72 % d'huile d'olive. Il contient cette teneur massique en acide gras originaire de l'huile d'olive. Ce pourcentage était estampillé sur le savon.

• **Production de molécules d'intérêt**

La fermentation des grignons d'olive en milieu solide par des champignons produit des enzymes (Lipases), des composés aromatiques et biopesticides d'intérêt dans les domaines agroalimentaire, cosmétique, pharmaceutique et agricole

IV-2 Feuilles et rameaux

Il semblerait de toute évidence que l'utilisation des feuilles et rameaux d'olivier en raison de leurs valeur nutritive serait de constituer des rations. Ils sont rajoutés comme aliment pour animaux, supplémentés par d'autres sources de fourrage.

Il y a donc lieu d'intégrer la production animale à la production oléicole, ce qui existe d'ailleurs traditionnellement dans de nombreuses régions du Bassin Méditerranéen. Cette intégration serait profitable aux deux secteurs d'activité : animal et végétal. Les animaux valorisent des sous-produits constituant une alimentation bon marché, et qui seraient autrement gaspillés, l'olivieraie bénéficie en retour d'une fumure organique dont les sols ont souvent bien besoin.

En comparant avec des fourrages de qualité moyenne, la feuille fraîche de l'olivier présente une digestibilité acceptable de la matière organique. Cependant, pour les feuilles sèches, la qualité diminue et devient comparable à celle de la paille de céréales. Dans le cas où le pourcentage du bois est relativement élevé, la valeur est encore réduite et devient inférieure à celle de la paille de céréales ordinaires. La valeur protéique des feuilles fraîches est très faible en comparaison à celle des feuilles sèches qui est presque nulle. Le niveau d'ingestion est encore faible, mais il peut être amélioré par un apport limité de compléments (énergétiques et azotés). Le traitement mécanique peut séparer le bois, améliorant ainsi considérablement l'utilisation comme aliments.

Les rares essais de traitement aux alcalis sur feuilles séchées n'ont pas eu d'effet significatif, tandis qu'avec des rameaux d'oliviers récoltés frais conservés avec des alcalis une amélioration nette de la digestibilité *in-vitro* a été observée. Il y a malheureusement très peu d'essais d'alimentation sur animaux permettant de juger les effets chiffrés de l'incorporation des feuilles et rameaux d'oliviers dans les rations, sur la production des animaux (lait ou viande). Mais il n'y a aucune difficulté pratique pour leur emploi.

IV-3 Margines

Le procédé d'extraction de l'huile d'olive engendre la production d'effluents liquides, nommés margines. Quelques fois, on peut trouver le terme « eaux de végétation ». Les margines se présentent sous la forme d'un liquide visqueux ayant une coloration brune noirâtre et une odeur désagréable.

Le pressage d'une tonne d'olives avec les modes de production modernes produit en moyenne 1,5 tonnes de margines, même si cela varie avec les différents processus d'extraction (lavage préalable des olives ou non, humidification des pâtes durant le pressage). Cet effluent est très toxique car il contient une forte teneur en polyphénol (Tableau VI) et il a une DCO (demande chimique en oxygène) d'environ 100 à 220 kg/m³ et un TCO (carbone organique total) importante.

Tableau VI : Composition chimique des margines

Paramètres physicochimiques	Margines brutes
pH	4,62 ± 0,01
Conductivité électrique (mS·cm ⁻¹)	7,76 ± 0,06
Salinité (mg·L ⁻¹)	5,43 ± 0,06
Densité	1
Humidité (%)	5,59 ± 0,29
Matière sèche (%)	94,41 ± 0,26
Matière organique (%)	60,79 ± 0,06
Carbone organique total (%)	35,26 ± 0,06
Matière minérale (%)	39,19 ± 0,02
Polyphénols (mg·L ⁻¹)	9 070
Demande biochimique en oxygène (DBO ₅) (mg·L ⁻¹)	5 650
Demande chimique en oxygène (DCO) (g·L ⁻¹)	39 950
Na ⁺ (mg·L ⁻¹)	476
K ⁺ (mg·L ⁻¹)	3 880
PO ₄ ³⁻ (mg·L ⁻¹)	499

Les substances phénoliques, telle que l'oleuropéine sont toxiques et empêchent le développement de certains microorganismes. Cependant, certains microorganismes présentent une croissance sur les margines en l'utilisant comme seule source de carbone.

IV-3-1 Principales voies de valorisation des margines

Il existe plus de 20 procédés applicables au traitement des margines. Il s'agit dans la plupart des cas d'opérations élémentaires ou combinées, testées en laboratoire ou dans une installation pilote sans projection industrielle ultérieure. Leur valorisation a fait l'objet de plusieurs études, certaines d'entre elles sont encore au stade d'expérimentation. Parmi les techniques de valorisation (Fig. 32) on peut citer :

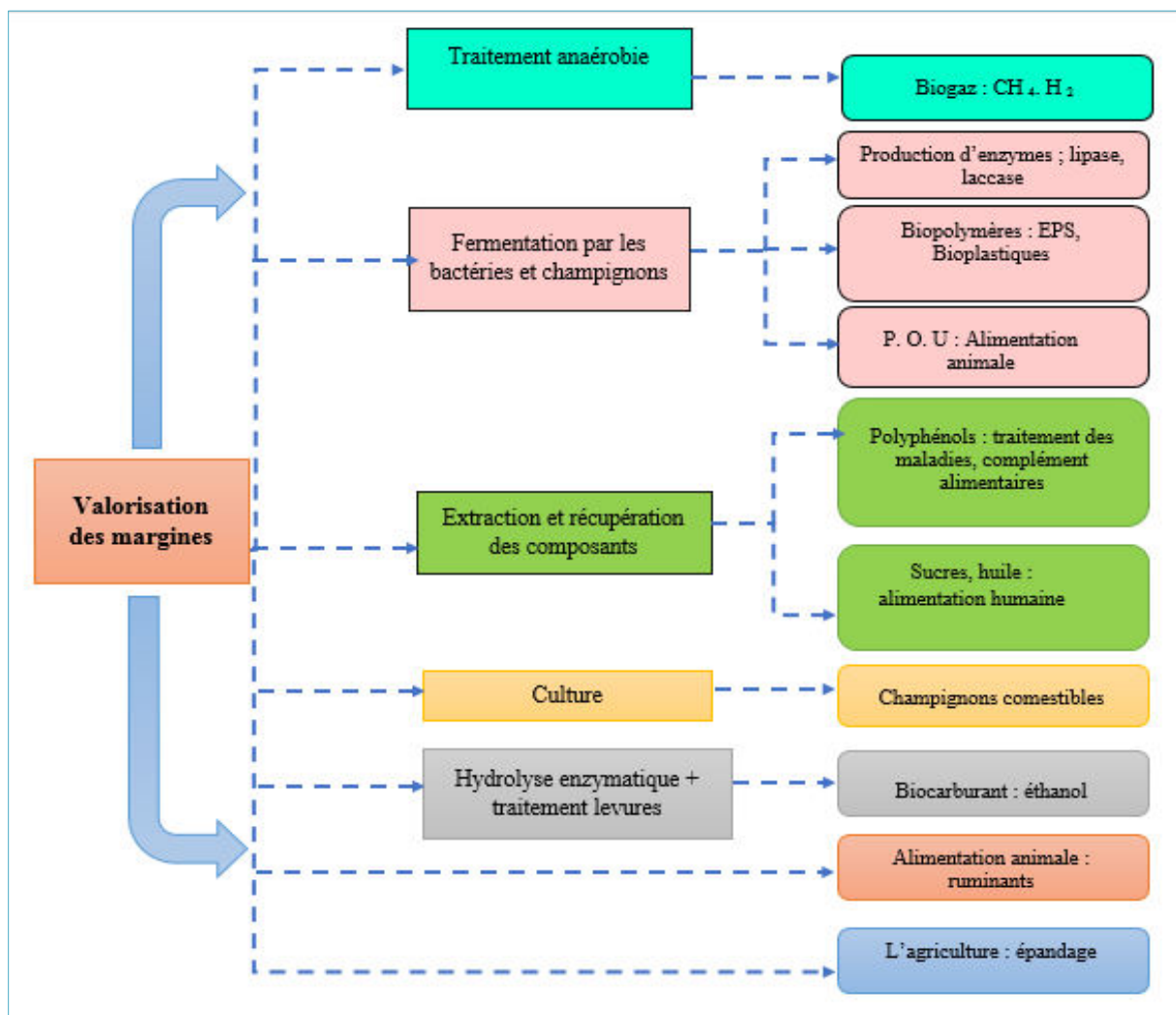


Figure 32. Voies de valorisation des margines

- **Compostage**

Les margines peuvent être utilisées pour obtenir un compost fertilisant pour les sols. L'avantage du compost formé à partir des margines est que, contrairement aux autres résidus habituels, il n'y a pas de microorganismes pathogènes à cause des fortes concentrations de phosphore et de potassium dans ces eaux végétales.

Les margines sont souvent simplement stockées pour subir une évaporation naturelle dans des bassins. Les boues résultantes sont très chargées en matières organiques et contiennent des quantités importantes en nutriments (N, P, K, Ca, Mg et Fe) (Paredes et al., 1999). De ce fait, le traitement de ces boues par compostage pour obtenir des fertilisants organiques est, en principe, très approprié. Lors du compostage, les microorganismes dégradent en aérobie des composés organiques, telles les protéines, les acides aminés et les peptides, pour produire le dioxyde du carbone, l'eau, les sels minéraux et une matière organique très stable (Humic-like substances) (Senesi, 1989).

- **Epandage et fertilisation des sols**

L'épandage agricole des margines pourrait être très intéressant pour les zones où l'eau constitue un facteur limitant.

En effet, l'utilisation directe comme fertilisant est surtout adaptée à l'olivier, vigne et certaines cultures annuelles, sans risque ni pour l'environnement ni pour la culture. Les margines sont riches en eau et en minéraux nutritifs. Elles apportent environ 3,5 à 11 kg de K_2O , 0,6 à 2 kg de P_2O_5 et 0,15 à 0,5 kg de MgO par m^3 , cependant, leur utilisation dans l'irrigation doit être contrôlée et maîtrisée en respectant les doses à appliquer. Une réticence envers l'épandage demeure jusqu'à nos jours, en raison des craintes d'éventuelles incidences microbiologiques négatives sur le sol.

- **Production de protéines unicellulaires et d'enzymes**

Les cultures de levures en fermenteurs aérés sur les margines produisent des protéines d'organismes unicellulaires (POU) qui peuvent être employées pour l'alimentation animale. Le rendement est intéressant, on estime que 13 kg de levure sont obtenus par mètre cube de margines.

D'autre part, la fermentation des margines permet la production d'enzymes. L'utilisation des margines pour la croissance de levure *Yarrowia lipolytica* a été validée suite au bon rendement obtenu, en effet, la production de lipases a été très intéressante. En addition, les levures sont capables d'absorber le colorant brun dans les margines qui empêche les eaux usées d'être parfaitement purifiées.

- **Valorisation des margines par récupération de molécules d'intérêt**

Les margines peuvent être valorisées dans l'extraction des composants aromatiques et phénoliques et des solutions de glucides. En comparant le pouvoir antioxydant des extraits phénoliques obtenus avec celui des antioxydants de synthèse les plus connus, il s'est avéré que l'extrait des margines protégerait de façon plus efficace contre l'oxydation de l'huile.

- **Obtention de biogaz**

Le traitement anaérobie des margines (Fig. 33) par fermentation méthanique apparaît comme une solution possible alliant les avantages de la dépollution à ceux de la production d'énergie. Cette technique permet de convertir plus de 80% des substances organiques en biogaz (méthane) avec un rendement d'environ 65 à 70%, qui implique la rupture de la substance organique par des réactions biochimiques qui transforment les grandes molécules en petites molécules, jusqu'à leur transformation en méthane et gaz carbonique.

Les margines contiennent d'une part des substrats très facilement fermentescibles comme les sucres et les acides carboxyliques qui provoquent l'acidification, et d'autre part des composés très difficilement biodégradables et très toxiques pour la flore bactérienne du digesteur et en particulier les bactéries méthanogènes comme l'acide oléique et les composés aromatiques. Ces problèmes d'acidification et d'inhibition peuvent être surmontés en diluant les margines. Cependant, la biodégradation des composés aromatiques simples et complexes entrave la méthanisation des margines.

L'épuration anaérobie des margines permet de parvenir à l'autonomie énergétique, voire à un léger excédent. Cependant l'installation et la gestion de bioréacteurs anaérobies est considéré comme un investissement de base important et coûteux.

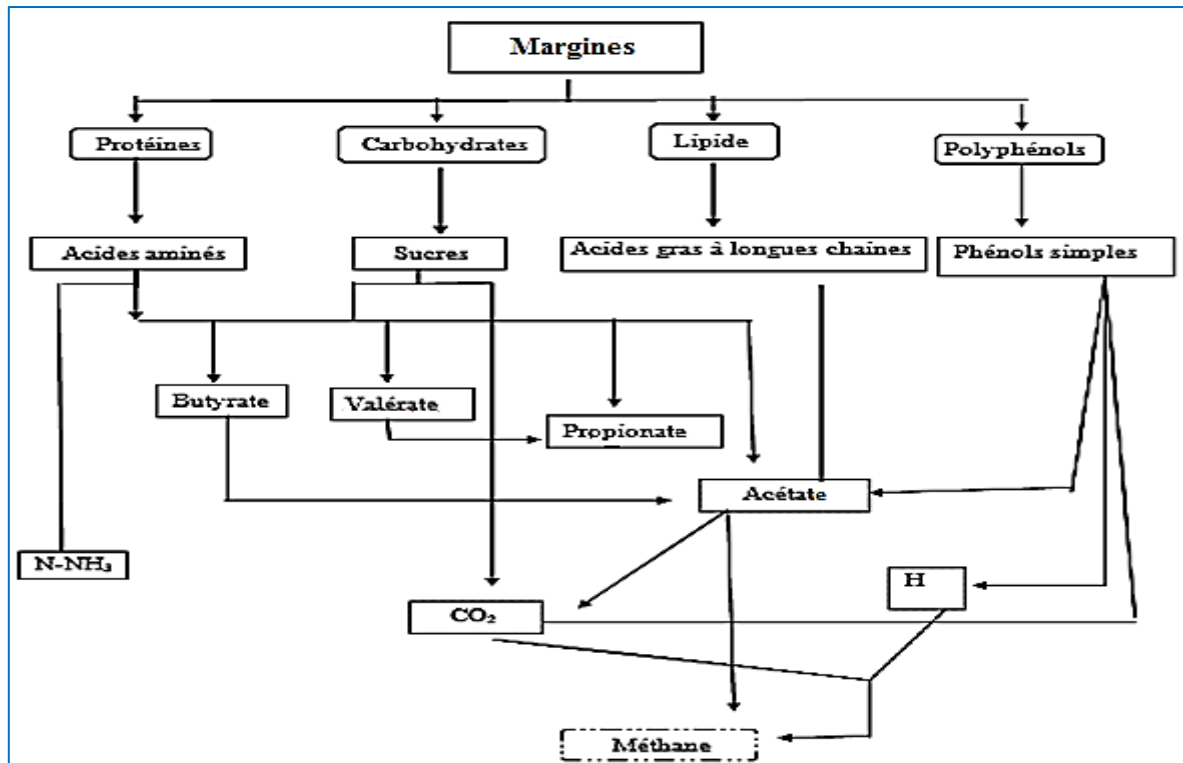


Figure 33. Conversion biologique des composants de la margine en anaérobiose

- **Valorisation dans l'alimentation des ruminants**

La valorisation des margines dans l'alimentation des ruminants à travers leur utilisation comme supplément alimentaire, apportant aux vaches des composés phénoliques ou vitamines permettant d'améliorer la valeur nutritionnelle du lait. Leur teneur élevée des margines en polyphénols a des effets positifs sur la digestion de ces animaux par la protection des protéines de la ration dans le rumen ou par la réduction de la production de méthane.

Conclusion générale

Le développement du secteur agro-industriel est accompagné par une augmentation significative des quantités de déchets. Le traitement de ces résidus est particulièrement coûteux. Il est donc plus intéressant de les recycler, de les composter ou de s'atteler véritablement à leur valorisation. La biotechnologie seule ou conjuguée à d'autres technologies offre un moyen prometteur pour la gestion de ces résidus, et contribue au développement de nouvelles productions. Ainsi, cette pratique relève de multiples enjeux : économique, sécurité sanitaire, environnement, etc.

Les résidus de l'agro- industrie forment des gisements identifiés qui sont valorisés de manière satisfaisante. On note ainsi une certaine constance dans les choix de valorisations. En effet, l'alimentation animale reste la voie de valorisation privilégiée des coproduits de ces industries, que ce soit par l'industrie de la nutrition animale ou directement en élevage, le compostage et la méthanisation se présente également comme une alternative. En outre, la valorisation en biocarburants pourraient aussi concerner beaucoup de coproduits. Ces sources d'énergie pourraient être des substituts de choix aux combustibles fossiles.

Néanmoins, il convient de s'interroger dès aujourd'hui sur les concurrences d'usage entre chaîne alimentaire, énergie, fertilisation, etc. La bonne gestion des sous-produits des agro-industries est un atout à promouvoir.

Références bibliographiques

1. Acourène S. et Taima M. (2001). Utilisation des dattes de faible valeur marchande. (Rebutts de deglet-nour, tinissine et tantboucht) comme substrat pour la fabrication de la levure boulangère. *Revue des Energies Renouvelables*. pp 1-10.
2. Actu Environnement. https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement (Consulté 28/12/2020).
3. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). <https://www.ademe.fr/expertises/dechets/quoi-parle-t/types-dechets> (Consulté 28/12/2020).
4. Amellal H. (2008). Aptitudes technologiques de quelques variétés de dattes : formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé. Thèse de Doctorat. Faculté des sciences de l'ingénieur. Université M'hamed Bougara. Boumerdas. Algérie. pp 6-20.
5. Amic A., et Dalmaso C., (2013). Production de produits à haute valeur ajoutée : lombricompost, savon, collagène et lombrics. Mémoire de Master en Sciences de la Biodiversité et Ecologie. Université Aix-Marseille. Marseille. France. 50 p
6. Andersen L.P., (1998). Method for dehairing of hides or skins by means of enzymes. US Patent, 5, 834-299.
7. Anonyme, (1985). L'huile d'olive en Méditerranée : Histoire, anthropologie, économie de l'Antiquité à nos jours. Institut de recherches et d'études sur les mondes arabes et musulmans. EAN. Aix-en-Provence. France. 211 p.
8. Anonyme, (1999). MADRMP/DE (Ministère de l'Agriculture, du Développement rural et des Pêches maritimes, Direction de l'Élevage, Rabat). Secteur avicole au Maroc : Situation et perspective. *Revue d'Ecologie*, 161, 34-45.
9. Anonyme, (2003). Etat des lieux et perspectives du recyclage des déchets issus du traitement des plumes et duvets en France. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, Direction Industrie, pp16-26.
10. Anonyme, (2006). Guide de gestion de la qualité de l'industrie d'extraction de l'huile de grignons d'olive. Conseil Oléicole International Príncipe de Vergara, Madrid, pp 154 - 280.
11. Anonyme, Prévention de la pollution dans l'industrie de la viande. Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP) Plan d'action pour la Méditerranée. p172
12. Anonyme (2010). Mémento pour la mise en oeuvre sur ouvrages d'art – MEMOAR – Collection de fiches techniques. Fiche n° XIX-I "La gestion des déchets". Chapitre XIX : Protection de l'environnement 1 Fiche n°I : La gestion des déchets.
13. Archimède H., Xande X., Gourdine J.-L., Fanchone A., Alexandre G., Boval M., Coppry O., Arquet R., Fleury J., Regnier C., Renaudeau D., (2011). La canne à sucre et ses co-produits

dans l'alimentation animale. *Innovations Agronomiques*, 16, 165-179

14. Arzate A., (2005). Extraction et raffinage du sucre de canne, centre de recherche et développement et de transfert technologique en acériculture, pp 6.
15. Ashurst P.R., (1995). Production and Packaging of Non-Carbonated Juices and Fruit Beverages, Chapter 2: Chemistry and Technology of *Citrus* Juices and By-Products. Blackie Academic & Professional, pp 53-87.
16. Baississe S., (2009). Extraction et appréciation des pectines à partir d'écorces d'oranges, d'abricot et de pommes. Faculté des sciences. Mémoire de Magister en Technologie alimentaire. Qualité et sécurité alimentaire. Département d'agronomie. Université El Hadj Lakhdar. Batna. Algérie. 175 p.
17. Belguedj N., (2015). Préparations alimentaires à base de dattes en Algérie : Description et diagrammes de fabrication. Magister en sciences alimentaires Option : Technologie Alimentaire. Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires. Université de Constantine. Constantine. Algérie. 243 p.
18. Benahmed D.A., (2012). Possibilité de fabrication d'un jus naturel à base d'un sirop de dattes communes et d'un extrait de spiruline et jus de citron naturel. Thèse de doctorat, Faculté des sciences de l'ingénieur. Université M'hamed Bougara. Boumerdas. Algérie. 212 p.
19. Benaiche J., (2001). Jus d'orange concentré : extraction et conservation. Techniques de l'Ingénieur, Traité Agroalimentaire, 6280 p.
20. Bennama T., (2016). Les bases de traitement des déchets solides. Polycopié de Cours. Faculté de Chimie. Département de Génie Chimique Janvier. Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf, Oran. 80 p
21. Benyahia N. et Zein K. (2003). Analyse des problèmes de l'industrie de l'huile d'olive et solutions récemment développées. Contribution spéciale de Sustainable Business Associates (Suisse). 8 p
22. Bernard M., Chapoutot P., Chatelet M., Gueroult M., Jubert M., Morel d'Arleux F., Taccard M., Mariani M. et Tierny M. (1991). Synthèse sur : la mélasse. Comité des sous-produits-RNED Bovins, 19 p.
23. Besancenot J.M., Morel d'Arleux F., (1991). Synthèse sur : la vinasse de mélasse. Comité des sous-produits-RNED Bovins, pp 18.
24. Boucherba N., (2014) Valorisation des résidus agro-industriels. Polycopié de cours. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département de Microbiologie. Université Abderrahmane Mira, Béjaïa, Algérie. 80 p.
25. Boudebza Y. et Ouchtati N., (2018). Valorisation des noyaux de datte dans la fabrication d'un café décaféiné. Mémoire Master en Sciences Alimentaires. Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers. Université 8 Mai 1945. Guelma. Algérie. 58 p.

26. Boukhatem M. N., Ferhat A., Kameli A., (2019). Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature. *Revue Agrobiologia*, 9(2), 1653-1659.
27. Boulal A., Benali B., Moulai M. et Touzi A. (2010) Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol. *Revue des énergies renouvelables* 13 (3), 455-463.
28. Centre de ressources économie circulaire et déchets- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (Optigede – Ademe). <https://optigede.ademe.fr/valorisation-dechets-organiques> (Consulté 27/01/2021).
29. Chehma A. et Longo HF., (2001). Valorisation des sous-produits du palmier dattier en vue de leur utilisation en alimentation. *Revue des Energies Renouvelables : production et valorisation-biomasse*, 59-64.
30. Chniti S., (2015) Optimisation de la bioproduction d'éthanol par valorisation des refus de l'industrie de conditionnement des dattes. Thèse de Doctorat. Option : Chimie. Ecole doctorale : Science De La Matière. Université de Rennes 1. Rennes, France. p211.
31. Claustre Environnement. <https://www.claustre-environnement.fr/matieres-recyclees/> (Consulté 28/12/2020).
32. Corcodel L. et Hoareau W., (2020). La bioraffinerie de canne à l'horizon, CERF, service process sucrier, T2-a-06 : 1-10.
33. Code de l'environnement – Légifrance. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000031066500/4 (Consulté 28/12/2020).
34. Davina M., (2013). Evaluation du potentiel fibreux et textile de la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.). Matériaux. Université de Haute Alsace - Mulhouse. France. fftel-01009321
35. Djoudi I., (2013). Contribution à l'identification et à la caractérisation de quelques accessions du palmier dattier (*Phoenix Dactylifera*.L) dans la région de Biskra. Mémoire de Magister en sciences agronomiques Option : Agriculture et environnement en régions arides. Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie. Département des Sciences agronomiques. Université Mohamed Kheider. Biskra, Algérie. 141 p.
36. Eljalil M. H., (2000). Procédé biotechnologique pour le traitement et le recyclage des fientes de volaille et essai de valorisation dans l'alimentation de la poule pondeuse. Thèse de Doctorat National, Faculté des sciences, Université Ibn Tofaïl, Kénitra, Maroc. 72 p.
37. Elmoualdi L., Labioui H., El Yachioui M. et Ouhssine M. (2006).Caractérisation, transformation et valorisation de déchets d'éviscération de volaille de Kénitra, Maroc. *Africain Sciences*. 02 (1) ,102 – 115.
38. Ernst et Young (2003). Etat des lieux et perspectives du recyclage des déchets issus du traitement des plumes et duvets en France Rapport final. ADEME n° 02 02 003. p63
39. Estanove P., (1990). Note technique : Valorisation de la datte. Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes, IRFA – CIRAD. France. pp 301-318.

40. Farhat A., (2011). Vapo-diffusion assistée par micro-ondes : conception, optimisation et application. Thèse Doctorat. L'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse & Ecole Nationale Supérieure Agronomique Spécialité : Chimie. Avignon, France.p.176.
41. Fédération Nationale des Activités de la Dépollution et de l'Environnement (FNADE). <https://www.fnade.org/fr/produire-matieres-energie/valorisation-energetique> (Consulté 27/12/2020).
42. Freeman S.R., Poore M.H., Middleton T.F., Ferket P.R., (2009). Alternative methods for disposal of spent laying hens: evaluation of the efficacy of grinding, mechanical deboning and of keratinase in the rendering process. *Bioresources Technology*. 100 (19), 4515-4520.
43. Cadillon M. et Lacassin J.C. La valorisation agronomique des margines. <https://docplayer.fr/28487282-La-valorisation-agronomique-des-marges.html>. (Consulté 27/03/2021).
44. Ghnimi S., Almansoori R., Jobe B., Hassan M.H., Kamal-Eldin A., (2015). Quality Evaluation of Coffee-Like Beverage from Date Seeds (*Phoenix dactylifera*, L.). *Arab Journal of Food Processing and Technology*, 6 (12), 1-6.
45. Guimaraes R., Barros L., Barreira J.C.M., Sousa M.J., Carvalho A.M., Ferreira I.C.F.R., (2010). Targeting excessive free radicals with peels and juices of *Citrus* fruits: Grapefruit, lemon, lime and orange. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 99-106.
46. Hamdi M. (1993). Nouvelle conception d'un procédé de dépollution biologique des margines, effluents liquides de l'extraction de l'huile d'olive. Doctorat en sciences, Université de Provence. Aix Marseille, Marseille, France. pp 7-19.
47. Harrak H. et Boujenah M., (2012). Valorisation technologique des dattes au Maroc. Inra, Maroc, 9954-0-6675-1.
48. Harrouzi A. A. et Soufi K., (2016). Développement d'huile végétale pour transformateur électrique. Master Académique en Génie des Procédés. Option : Ingénierie du Gaz Naturel. Faculté des Sciences Appliquées. Département de Génie des Procèdes. Université Kasdi Merbah. Ouargla. Algérie. 69 p.
49. Huet R. et Ledergerber A., (1962). Les pates d'oranges. Chapitre I : Généralités. *Al Awamia*, 3, 103-112.
50. Hui Y.H., (2006). Handbook of fruits and fruit processing, Chapter 19: Oranges and *Citrus* juices. Blackwell Publishing. 11 p.
51. Introduction sur les différents procédés d'extraction d'une huile essentielle <http://tpe-huile-essentielle.e-monsite.com/pages/i-les-differents-procedes-d-extraction-d-une-huile-essentielle/6-extraction-par-expression-a-froid-ou-par-pression-a-froid.html>. (Consulté 17/01/2021).
52. Thébault J., Dole P., Lorient C., (2019). Le recyclage des matières plastiques Séminaire Soparco. Présentation IPC. 15 p.

53. Kaidi F. et Touzi A. (2001). Production de bioalcool à partir des déchets de dattes. *Revue des Energies Renouvelables : production et valorisation-biomasse*, 75-78.
54. Khalil K.E., Abd El Bar M.S., Hafiz N.E., Entsar Y.A. (2002). Production, evaluation and utilization of date syrup concentrate (Debis). *Egyptian Journal Food Sciences*, 30(2), 197-203.
55. Larpent J.P. (1991). Les levures : leurs utilisations en alimentation humaine et animale et dans les industries agro-alimentaires. In *Biotechnologie des levures*, 217-270.
56. Leulmi N., (2011). La valorisation nutritionnelle des margines et de leur impact sur la réduction de la méthanogénèse ruminale chez l'ovin. Mémoire de Magister. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département de Biochimie et de Microbiologie. Université Mentouri, Constantine, Algérie. 10 p.
57. Macqueron G., (2009). Recyclage et traitement des déchets http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/developpement-durable/d/recyclage-traitement-dechets_932/c3/221/p1/#xtor=AL-40 Page 1 Futura-Sciences.
58. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR). <http://madrp.gov.dz/telecharger/produits-agricole-juin-2017/> (Consulté 27/03/2021).
59. Ministère de la Transition Ecologique. <https://www.ecologie.gouv.fr/differentes-categories-dechets> (Consulté 29/12/2020).
60. Molina E. et Aguilera J.F. (1991). Utilisation des sous-produits de l'olivier dans l'alimentation des ovins. *Options méditerranéennes-série séminaire*.16, 163-166.
61. Nefzaoui A. (1983). Etude de l'utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animale en Tunisie. Division de la production et de la santé animale. FAO, Rome.
62. Nefzaoui A. (1991). Valorisation des sous-produits de l'olivier. *Options Méditerranéennes-série séminaires*, 16,101-108.
63. Nefzaoui A. et Vanbelle M. (1986). Effects of feeding alkali treated olive cake on intake, digestibility and rumen liquor parameters. *Animal feed science and Technology*, 14,139-149.
64. NOUAD M.A., (2011) Étude technico-économique de projets de valorisation/gestion de déchets liés à la filière avicole en Algérie. 58 p.
65. Ould el Hadj M.D., Sebihi A.H., et Siboukeur O. (2001). Qualité hygiénique et caractéristiques physicochimiques du vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes de la cuvette d'Ouargla. *Revue des Energies Renouvelables*, 87-92.
66. Reddad Z., Gérente C., Andrès Y., Ralet M.-C., Thibault J.-F., Le Cloirec P., (2002). Ni(II) and Cu(II) binding properties of native and modified sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, 49(1), 23-31.
67. Reddad Z., Gérente C., Andrès Y., Le Cloirec P., (2005). Valorisation d'un sous-produit de l'industrie sucrière : mise en œuvre dans un procédé de traitement d'eaux usées industrielles. *Déchets sciences et techniques*, 39, 9-14.

68. Rihani N., (1991). Valeur alimentaire et utilisation des sous-produits des agrumes en alimentation animale. Options Méditerranéennes Série Séminaires, 16, 113-117.
69. Rivière J. et Hestot M., (1979). Culture de levure sur mélasse. Microbiologie et industrie alimentaire. 1, 111-121.
70. Rouanne F., (2000). Produire du sucre et de l'électricité. Industrie. 15, 23-25.
71. Siboukeur O., Ould El Hadj M.D., Zargat F. (2001). Contribution à l'étude de la production d'acide citrique par *Aspergillus niger* cultivée sur mout de dattes de la variété Ghars. Revue des Energies Renouvelables, 93-96.
72. Signoret M.G., (2006). Valorisation de la bagasse de canne à sucre : les biotechnologies au service de l'industrie papetière. Institut de recherche et développement. 252, 1-5.
73. Spiegel-Roy P., Goldschmidt E. E., (1996). Biology of *Citrus*, Cambridge University Press, United states.
74. 78. Technologie des ultrasons Hielscher. Extraction ultrasonique de pectine à partir de fruits et de déchets biologiques. <https://www.hielscher.com/fr/ultrasonic-pectin-extraction-from-fruit-and-bio-waste.htm> (Consulté 17/01/2021). [C:\Users\SALADO\Desktop\poly\Technomitron, AAINB. <http:\technomitron.aainb.com\constituants-pain-et-pate\la-levure-de-boulangerie\>](C:\Users\SALADO\Desktop\poly\Technomitron, AAINB. http:\technomitron.aainb.com\constituants-pain-et-pate\la-levure-de-boulangerie\)(Consulté 11\02\2021)
75. Touati L., (2012). Valorisation des grignons d'olive étude de cas essai de valorisation en biocarburant. Mémoire Magister en Génie Alimentaire, Option : Technologie Alimentaire. Université M'hamed Bougara. Boumerdas. Algérie. 96 p.
76. Waldron K. (2007). Handbook of waste management and co-product recovery in food processing 1: p642.
77. Zhongdong L., Guohua W., Yunchang G., Kennedy J. F., (2006). Image study of pectin extraction from orange skin assisted by microwave. Carbohydrate Polymers, 64, 548-552.