

## **Gestion et valorisation des déchets agroalimentaires**

**Dr BOUAOUDIA-MADI .N**

Année universitaire 2020 /2021

## Introduction générale

La notion de déchet est subjective. Un déchet est un résidu que les hommes jugent inutile dans un contexte donné. Les déchets organiques sont des éléments du cycle de la vie. La diversification des techniques de traitement des déchets amène à des choix parfois complexes. Chaque mode de traitement présente des avantages et des inconvénients et il n'existe pas de panacée. Il faut déterminer le mode de traitement le plus adapté au contexte socio-économique local. L'acceptabilité sociale des installations de traitement des déchets est médiocre. Leur proximité est considérée comme une atteinte importante à la qualité de la vie. L'accumulation de déchets provoque des inquiétudes pour la santé ou l'environnement.

La valorisation des déchets, lorsqu'elle est possible, permet d'en retirer des produits utiles ou de l'énergie. Les méthodes de valorisation tendent à être considérées comme des processus industriels, soumises à des normes de plus en plus rigoureuses qui, dès lors qu'elles seront respectées, devraient contribuer à dépassionner le débat social autour de la question des déchets. C'est pour ces raisons la notion de **déchet** est remplacé par le terme de **coproduit**.

L'exploitation des coproduits agricoles en vue d'une valorisation a bénéficié au cours de ces dernières années d'un regain d'intérêt pour des raisons économiques aussi bien qu'environnementales. L'importance de ces coproduits agricoles réside dans leur abondance, leur faible coût ainsi que dans le fait qu'ils représentent une source organique naturelle disponible partout sur la planète. Cependant, aujourd'hui, l'industrie mondiale utilise moins de 10% de la biomasse végétale produite et des quantités énormes des résidus d'agriculture sont brûlées chaque année, ce qui cause un problème environnemental sérieux.

Actuellement, plusieurs pays ont imposé de nouvelles réglementations pour limiter la Combustion de ces coproduits en réponse aux restrictions concernant l'émission de gaz à effet de serre à l'origine du réchauffement climatique. Ceci a permis de stimuler l'intérêt pour l'utilisation des coproduits agricoles en tant que ressource naturelle renouvelable.

En effet, des coproduits de l'agriculture ont été utilisés comme une source renouvelable d'énergie et pour la production de nombreux composés chimiques, incluant le bioéthanol, le charbon actif. Les résidus agro-industriels ont été aussi utilisés dans les procédés de fabrication de pâte à papier et la production de bio-produits permettant d'une part, de fournir des substrats alternatifs et d'autre part de résoudre le problème de pollution engendré par la non utilisation effective de ces résidus.

## Chapitre I : Nature, origine et gestion des déchets

**Les industries agroalimentaires ont produit, en 2008, 1146000 tonnes de déchets usuels, Des déchets en mélange surtout, ainsi que 2654000 tonnes de boues et 805000 tonnes de déchets organiques. Elles sont les principales activités industrielles génératrices de boues et de déchets organiques.**

### **I.1. Une production conséquente de déchets organiques**

La matière première utilisée par les industries agroalimentaires est généralement d'origine animale ou végétale dont une partie est inutilisable lors de la préparation des produits alimentaires. C'est le cas par exemple des fanes, épluchures, pépins ou noyaux pour les végétaux, et des peaux, carcasses, graisses, plumes, coquilles pour les animaux.

Ces produits constituent les déchets organiques. Ils peuvent être destinée à l'abandon mais une grande partie est recyclée ou valorisée. Les résidus de fabrication, ainsi que les matières évacuées lors des opérations de nettoyage des installations sont également inclus dans ces déchets organiques. Les tonnages produits en 2008 sont conséquents : 805 000 tonnes au total (équivalent extrait sec). 339 000 tonnes de déchets organiques sont d'origine animale, le reste, 466 000 tonnes, sont soit des déchets végétaux, soit des déchets comportant un mélange animal et végétal.

Au total, les industries agroalimentaires produisent 93 % du total des déchets organiques de l'ensemble de l'industrie. Avec 204 500 tonnes, l'industrie des viandes est, de loin, le plus gros producteur de déchets organiques d'origine animale. Les déchets à risque, notamment les organes vecteurs de l'ESB ne sont pas pris en compte.

L'industrie laitière vient en deuxième position, avec, toutefois, deux fois moins de déchets. Les autres déchets organiques (végétal ou plus rarement mélange végétal – animal) sont essentiellement produits par l'industrie des fruits et légumes et l'industrie des boissons (respectivement 40 % et 34 % du total des IAA pour chaque activité).

La quasi-totalité des déchets organiques est traitée à l'extérieur de l'usine. La collecte est généralement confiée à un prestataire. 45 % des déchets organiques sont valorisés soit en réutilisant la matière, soit en alimentation animale, ou encore pour produire de l'énergie (graisses animales ou pépins de raisin par exemple). L'épandage des déchets organiques, qui consiste à répandre directement les

déchets sur des surfaces cultivées, est également assez courant, en particulier dans l'industrie des boissons et dans l'industrie laitière. Au total, ce mode de traitement concerne 27 % des déchets organiques des IAA, mais les déchets compostés (8 %) font également l'objet d'épandage. Seulement 13 % des déchets organiques sont incinérés, dans l'industrie des viandes essentiellement. Les autres modes de traitement des déchets organiques sont peu fréquents : méthanisation, mise en décharge ou traitement dans une station d'épuration externe. Ce dernier procédé, qui permet de traiter également les eaux usées

génère un nouveau type de déchet : les boues.

## I.2. La gestion des déchets par l'entreprise

En matière de gestion des déchets, les industries agroalimentaires adoptent un comportement similaire aux autres secteurs industriels. La préoccupation d'une gestion rationnelle des déchets est plus marquée dans l'industrie des boissons que pour le reste des IAA.

La gestion des déchets est perçue à 50 % comme une préoccupation environnementale mais aussi comme une contrainte, une obligation (perception à 25 %). Dans une grande majorité des établissements (la totalité dans les industries des boissons), la gestion des déchets est organisée. Les moyens affectés sont surtout la mise à disposition d'équipements de tri, la sensibilisation et la formation du personnel à la gestion des déchets, mais aussi le recours à des prestataires.

La gestion des déchets s'effectue majoritairement au niveau de l'établissement, rarement au niveau du groupe. En matière de prévention, l'industrie des boissons conserve également une avance par rapport à la majorité des autres industries agroalimentaires. Les principales mesures envisagées sont prioritairement la réduction des chutes, pertes et rebus de fabrication pour les industries alimentaires et la réduction des emballages de matières premières dans l'industrie des boissons.

Des actions sont envisagées sur le recyclage, même si certaines sont déjà menées dans l'entreprise. Il s'agit notamment du tri sélectif, cité à 70 % et de la recherche de nouvelles filières

## I.3. Déchet

On appelle déchet « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout bien meuble abandonné que son destinataire destine à l'abandon » (Loi n°75-633 du 15 juillet 1975).

Du point de vue de l'environnement, un déchet constitue une menace à partir du moment où l'on envisage un contact avec l'environnement. Ce contact peut être direct ou résulter d'un traitement.

Sur le plan économique, un déchet est une matière ou un objet dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur à un moment et dans un lieu donné. Cette définition exclut une bonne part des déchets recyclables, qui possèdent une valeur économique, même faible. Différentes classifications sont possibles selon que l'on distingue les déchets par leur producteur, par la façon dont ils sont collectés ou encore par leur devenir, on distingue :

### I.3. 1. Déchets municipaux ou résidus urbains

- **Les déchets ménagers** : C'est l'ensemble des déchets produits par l'activité quotidienne des ménages. Ils comprennent les ordures ménagères, les encombrants, les déchets ménagers spéciaux, les déchets de l'assainissement individuel et les déchets ménagers liés à l'automobile.
- **Déchets issus des activités économiques** : Ce sont les déchets issus de l'artisanat, des commerces, des bureaux et petites industries ou d'établissements collectifs (éducatifs,

socioculturels, militaires, pénitentiaires, hospitaliers, etc.) et utilisant les mêmes circuits d'élimination que les déchets des ménages.

- **Déchets du nettoyage** : Ce sont les déchets résultant de l'entretien du domaine public.
- **Déchets des espaces verts publics** : Ce sont les déchets végétaux liés à l'entretien des espaces verts.
- **Déchets de l'assainissement public** : Ces déchets proviennent du curage des réseaux d'assainissement ou du traitement des eaux usées collectées.

### I.3.2. Déchets industriels

Ce sont les déchets produits par les entreprises industrielles, commerciales et artisanales dont l'élimination incombe légalement à l'exploitant ou à l'entreprise. Ils comprennent des matériaux de nature et de composition diverse : déchets de fabrication, emballages, sous-produits de fabrication, rebuts, résidus de nettoyage...

Ces déchets peuvent être de natures très diverses. Ils sont répartis en :

- **Déchets inertes** : Ils sont constitués, pour la presque totalité, par des déblais et gravats de démolition ainsi que par les résidus minéraux provenant des industries d'extraction et des industries de fabrication de matériaux de construction.
- **Déchets banals** : Cette catégorie regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, cartons, plastiques, bois, métaux, verres, matières organiques, végétales ou animales. Ils résultent, soit de l'utilisation d'emballages, soit de rebuts ou chutes de fabrication.
- **Déchets spéciaux** : Les autres déchets des entreprises peuvent générer des nuisances. Ils peuvent contenir des substances qui justifient des précautions particulières, à prendre lors de leur élimination. De ce fait, ils font l'objet d'un contrôle administratif renforcé à tous les niveaux : production, stockage, transport, prétraitement et élimination.

### I.3.3. Déchets agricoles, d'activités de soins et des travaux publics

Ils proviennent de l'agriculture, de la sylviculture et de l'élevage. Beaucoup de ces déchets sont liquides et à ce titre, peuvent être généralement considérés comme des effluents. Certains d'entre eux sont utilisés sur place en raison de leur richesse en matières organiques. Dans cette catégorie, nous pouvons citer les déjections d'élevage, les déchets des cultures et de la forêt.

Les déchets d'activités de soins sont les déchets venant des hôpitaux et cliniques, mais aussi de divers établissements de soins tels que maisons de retraite, dispensaires, services vétérinaires... La responsabilité de l'élimination de ces déchets incombe au producteur.

Les déchets du bâtiment et des travaux publics sont des déchets inertes produits par les secteurs du bâtiment (démolition), des travaux publics (grands chantiers d'infrastructure), des mines et des carrières mais également d'autres déchets comme du plâtre, des bois traités, des restes de peinture...

### **I.3.4. Selon leur nature les déchets sont classés en trois catégories :**

Les déchets organiques composés de matière organique caractérisée par la présence de carbone issu d'organismes vivants, végétaux ou animaux. Ces déchets peuvent subir un phénomène de biodégradabilité.

Les déchets banals regroupent les déchets municipaux au sens large du terme et les déchets banals des entreprises qui peuvent être valorisables par recyclage, par fermentation ou par incinération avec récupération d'énergie. Ils ne sont par définition ni toxiques ni dangereux.

Les déchets toxiques ou dangereux regroupent des déchets essentiellement d'origine industrielle (DIS), mais également produits par des petites entreprises ou structures (DTQD), par les ménages (DMS) ou par le monde agricole (produits phytosanitaires). Ils contiennent des substances toxiques ou dangereuses en concentration plus ou moins forte. Leur traitement doit faire l'objet de précautions particulières. Certains d'entre eux, du fait de leur toxicité reconnue, sont soumis à des contrôles et des réglementations spécifiques (ex : PCB).

### **I.3.5. Selon leur devenir on distingue principalement quatre types de déchets**

Les déchets biodégradables ou compostables (résidus verts, boues d'épuration des eaux, restes alimentaires...), Ils s'assimilent en première approche à la biomasse. Ces déchets sont au moins pour partie détruits naturellement, plus ou moins rapidement, en général par les bactéries, champignons et autres micro-organismes et/ou par des réactions chimiques (oxydation, minéralisation), laissant des produits de dégradation identiques ou proches de ceux qu'on peut trouver dans la nature, parfois néanmoins contaminés par des résidus de

pesticides, de métaux, dioxines, ....etc., selon leur origine.

Les déchets recyclables (matériaux de construction, métaux, matières plastiques), ces matériaux peuvent être réutilisés tels quels (via des recycleries ou ressourceries) dans d'autres domaines ou recyclés : par exemple, les métaux sont refondus et réintégrés dans de nouvelles pièces, les plastiques sont hachés et servent de rembourrage ou de combustible...

Les déchets ultimes, ils ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions

techniques et économiques du moment». Eux seuls devraient encore pouvoir être mis en décharge (depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2002 en France), après inertage le cas échéant, pour les plus dangereux.

Les déchets spéciaux et déchets industriels dangereux (DID) sont anciennement appelés déchets industriels spéciaux (DIS), à la différence du déchet banal, peuvent entrer dans la catégorie des déchets dangereux, dont font partie les déchets toxiques et les déchets radioactifs qui doivent faire l'objet d'un traitement tout à fait particulier en raison de leur nocivité particulière liée à la radioactivité. Parmi les déchets nucléaires, on distingue les déchets radioactifs ultimes qui « ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment ».

La production du poulet de chair à l'échelle industrielle a connu un développement Considérable au cours des vingt-cinq dernières années et génère une grande quantité de déchets.

Cette industrie figure parmi les plus polluantes en raison des grandes quantités de déchets générés .Ces déchets d'abattoirs constituent cependant une source potentielle de biomasse valorisable en raison de leurs teneurs en matière organique. Les techniques et procédés biotechnologiques appropriés pouvant être utilisés dans la biotransformation et la valorisation de ces déchets s'adressent tout d'abord a la fertilisation des sols dans une optique de protection de l'environnement .Cette approche explique incontestablement l'importance de la biotechnologie comme outil de biotransformation des déchets des abattoirs.

#### **I.4. Sous-produit**

Un sous-produit est un produit résiduel qui apparaît durant le processus de fabrication, de transformation ou de distribution d'un produit fini. Il est non intentionnel, non prévisible, et accidentel. Il peut être utilisé directement ou bien constituer un ingrédient d'un autre processus de production en vue de la fabrication d'un autre produit fini.

Il ne faut pas confondre sous-produit et coproduit, Un sous-produit ou résidu peut être :

**En alimentaire :** Un sous-produit des récoltes ou de la transformation des aliments.

**En biologie :** L'un des composants à la base d'une macromolécule : les bases azotées pour les acides nucléiques, les acides-aminés pour les polypeptides, ou encore les sucres simples constituant les polysaccharides.

**En chimie :** Un matériau obtenu après un chauffage plus ou moins intense d'un échantillon, voir par exemple en chimie analytique : Extrait sec et Taux de cendres ; un produit de la distillation.

**En écologie :** Les restes d'une opération chimique ou physique.

**I.5. 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 tous les deux répondre à des spécifications de caractéristiques, et chacun est apte à être utilisé directement pour un usage particulier.

Les coproduits sont aussi caractérisés par leur valorisation économique : marché spécifique du coproduit en question, cotation...

En effet, à partir du moment où l'on cherche à valoriser un **déchet**, celui-ci devient un **coproduit**.

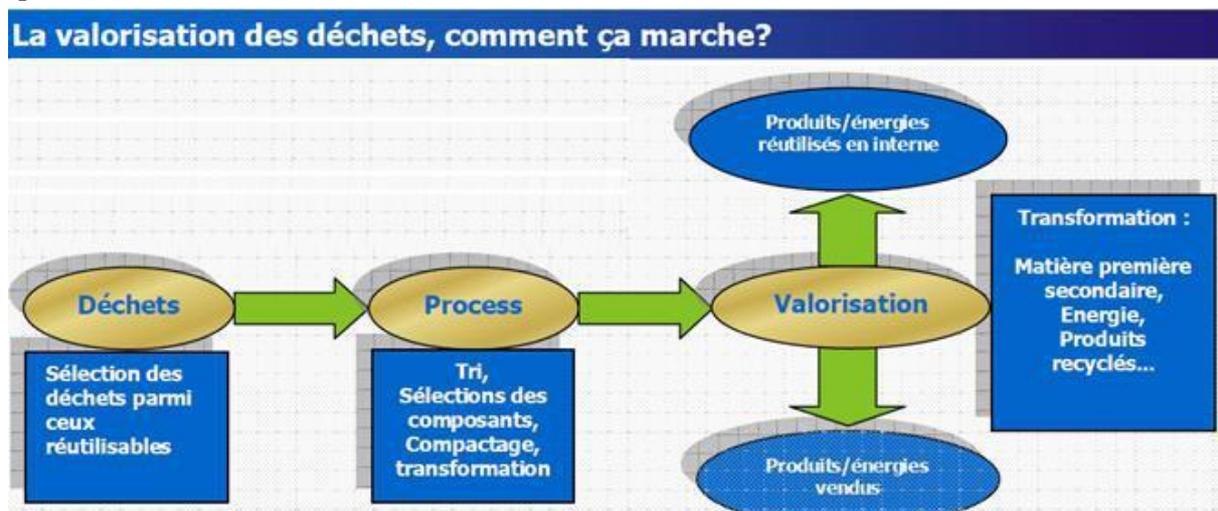
## I.6. Valorisation

Par valorisation, on entend toute transformation de résidus ou de sous-produits industriels alimentaires en vue de les réintroduire sur le marché à titre de nouveaux ingrédients ou comme nouveaux produits.

L'agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) définit la valorisation comme "le ré-emploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir de déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie".

Chaque procédé de valorisation permet de réaliser des économies de matières premières et contribue de façon directe au respect et à la sauvegarde de l'environnement.

Le concept de valorisation des déchets est né de l'idée que l'entreprise doit considérer ses déchets comme une ressource à exploiter et non comme des rebuts dont il faut se débarrasser! En effet beaucoup de matériaux sont réutilisables dans diverses applications après leur fin de vie attribuée.



### 1.6.1. Valorisation matière

La valorisation matière recouvre la récupération, la réutilisation, la régénération et le recyclage des matériaux extraits des déchets. Les nouveaux matériaux générés sont appelés « matières premières secondaires » ou « matières premières recyclées ».

La valorisation matière consiste à introduire en entier ou en partie de la matière déjà existante dans un nouveau processus de production, on distingue différents types :

- **Le recyclage matière et organique** : le (ou l'un des) matériau(x) du déchet, après transformation, devient la matière première d'un nouveau produit. Le recyclage consiste à trier les déchets de manière à isoler les différentes matières présentes afin de les réutiliser. Ainsi, on parle de recyclage lorsque l'on fait fondre des bouteilles en plastique pour les transformer en fibres synthétiques.

- **Le réemploi** : le produit usagé, après réparation ou remise à l'état neuf, est à nouveau utilisé pour le même usage ou un usage différent, le ré-emploi se définit comme l'utilisation

d'un déchet pour un même usage. L'exemple type est la consigne de bouteilles.

- **La réutilisation** : le produit est utilisé plusieurs fois pour le même usage.

- **La régénération** : le déchet, après transformation, retrouve les mêmes caractéristiques physico-chimiques et peut être utilisé comme une matière vierge.

- **Valorisation biologique (Valorisation organique)** : c'est le mode de traitement des déchets organiques ou fermentescibles par compostage ou méthanisation. Il existe deux principaux modes de dégradation naturelle de la matière organique par des micro-organismes :

- En présence d'oxygène (aérobiose), c'est le compostage suivant deux procédés : le compostage individuel et le compostage effectué par l'intermédiaire des plateformes de broyage et de compostage.

- En l'absence d'oxygène (anaérobiose), c'est la méthanisation.

Le compostage aboutit à la fabrication du compost, matière organique servant à la régénération des sols. La valorisation des composts en amendements et fertilisants organiques améliore la qualité des sols tout en participant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et constitue une solution alternative au traitement des bio-déchets. L'utilisation du compost en agriculture aide à la protection des sols par une diminution d'utilisation d'engrais chimique. Déchets biodégradables et boues de stations

d'épuration sont soumis à une fermentation accélérée, pour être transformés en compost de qualité. Une tonne de déchets valorisée fournit ainsi 400 kg de compost.

La méthanisation est, comme le compostage, un procédé de fermentation mais aboutissant à la création de méthane. Le méthane est ensuite utilisé pour les mêmes applications que le gaz naturel.

Il existe plusieurs flux de déchets organiques :

- Les boues (fumier, lisier, boues d'épuration) ;
- La fraction fermentescible des ordures ménagères (épluchures, etc.) ;
- Les déchets fermentescibles de l'industrie agro-alimentaire ;
- Les déchets verts et sous-produits de l'agriculture (marcs, rafles de vendanges...).

Sont aussi concernés par la valorisation organique les déchets verts des particuliers et professionnels déposés en déchèteries : tontes de pelouse, feuilles mortes, petits branchages,

La dégradation non maîtrisée de ces déchets ménagers en décharges est source de production de gaz méthane très néfaste à la couche atmosphérique (effet de serre). La valorisation biologique apporte une solution à cette problématique, ceci en faisant appel à des procédés qui correspondent à une dégradation naturelle de la matière organique par une flore microbienne.

### 1.6.2. Valorisation énergétique

La valorisation énergétique consiste à utiliser le pouvoir calorifique du déchet en le brûlant et en récupérant cette énergie sous forme de chaleur ou d'électricité et à l'utiliser dans d'autres applications. Donc, c'est l'utilisation de la chaleur dégagée par la combustion des déchets (incinération) ou des biogaz produits par ces déchets pour alimenter des réseaux de chaleur (chauffage, eau chaude sanitaire, serres agricoles...) ou pour la production d'électricité. Cette valorisation des déchets produit des fumées et des cendres souvent toxiques qui doivent être traitées et stockées en Centre de Stockage des Déchets Ultimes (CSDU).

En pratique, la valorisation énergétique est essentiellement appliquée aux déchets susceptibles de produire de l'énergie thermique par incinération. Cela concerne essentiellement les déchets contenant des molécules à base de carbone, de chlore et d'hydrogène, c'est-à-dire les matières plastiques, les résidus de solvants et les matières organiques sèches comme le papier, le carton, le bois, les tissus.

L'objectif de la valorisation énergétique est d'utiliser les déchets ayant une valeur énergétique élevée en lieu et place des sources d'énergie conventionnelles pour produire de l'électricité et

de la chaleur. La valorisation thermique est l'une des formes de la valorisation énergétique. Elle est notamment pratiquée dans les usines d'incinération des déchets. Les déchets dont le traitement n'est pas jugé suffisamment rentable d'un point de vue économique ou écologique sont incinérés et la chaleur ainsi produite peut être réutilisée. Désormais, un nouveau procédé existe : la pyrolyse. C'est une réaction thermique, entre 400 et 600 °C et qui aboutit à la décomposition des déchets organiques. Ceux-ci sont alors transformés en combustibles solides, liquides ou gazeux.

## Chapitre II : Valorisation des déchets des Industries Agro- Alimentaires (IAA)

## II.1. Valorisation des coproduits de l'industrie sucrière

Il semble que notre prédilection pour les douceurs est innée. Ces dernières incarnent pour la plupart d'entre nous un plaisir gustatif particulier très apprécié. Alors qu'autrefois on édulcorait essentiellement avec du miel, aujourd'hui on emploie principalement le sucre cristallisé, appelé couramment « sucre de ménage » ou « sucre blanc ».

Le sucre est un produit alimentaire d'origine végétale, composé pour l'essentiel de saccharose et diverses substances naturelles appartenant à la classe des glucides responsables d'une des quatre saveurs gustatives fondamentales (le sucré).

Les coproduits de l'industrie sucrière sont la mélasse, la bagasse et les vinasses.

### 1. Industrie sucrière

Le saccharose est extrait de la betterave sucrière ou de la canne à sucre. Ces plantes possèdent la particularité d'avoir comme glucide de réserve le saccharose résultant de la synthèse chlorophyllienne, ces plantes accumulent le sucre, au niveau de la racine pour la betterave ou de la tige pour la canne.

La betterave sucrière *Beta vulgaris* est une espèce bisannuelle. En Europe métropolitaine, on produit presque uniquement du sucre à partir des betteraves. Elle se caractérise par d'assez bons rendements (entre 50 et 90 t/ha) variant selon la quantité du semis, du sol, des soins et du climat.

La récolte s'effectue à partir de septembre avec des durées de campagne de deux à trois mois en moyenne par an.

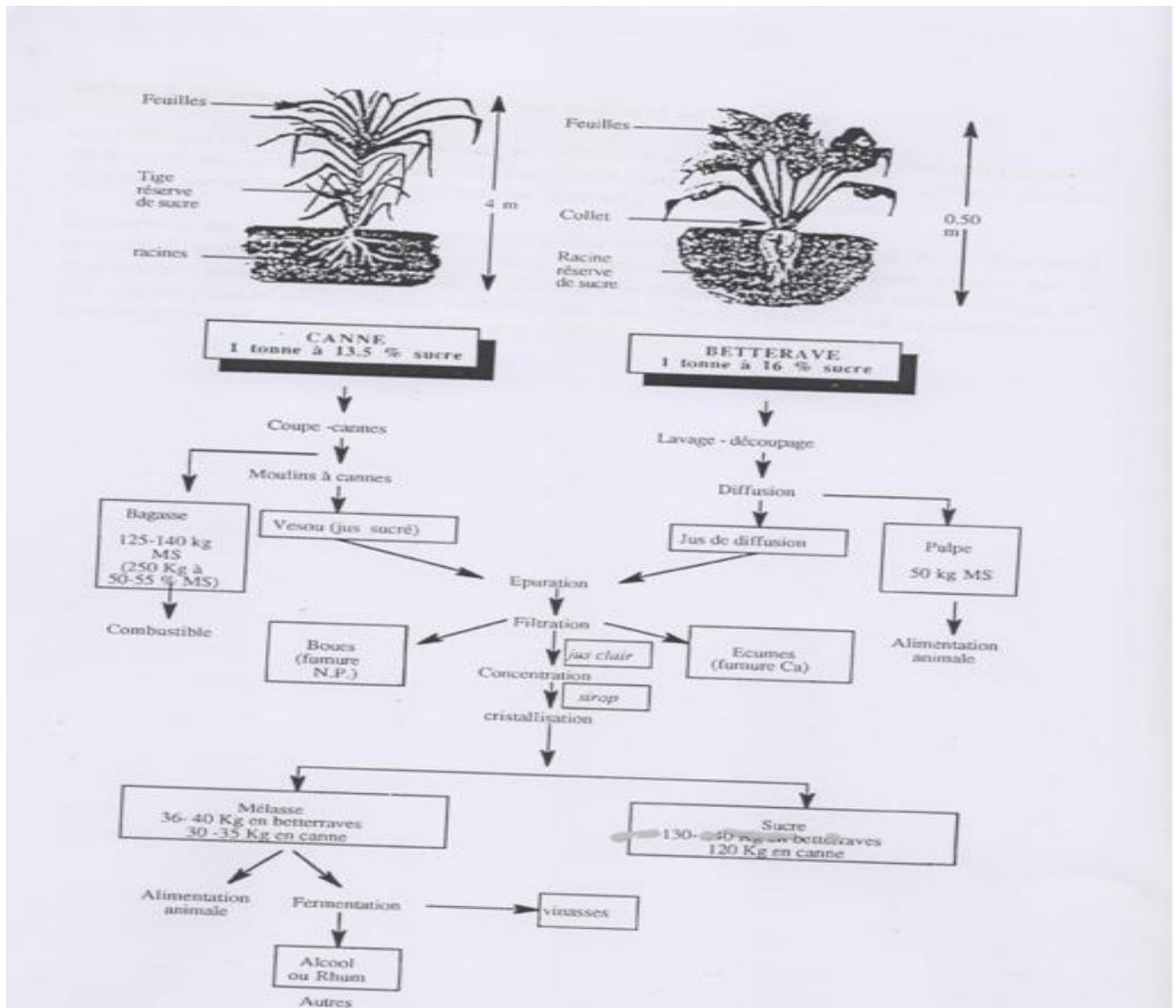
La canne à sucre « *Saccharum officinarum* » est une plante de la famille des Poacées (graminées). Toutes les espèces du genre « *Saccharum* » sont des graminées vivaces de grande longévité dont l'aspect rappelle celui du roseau. Il existe plusieurs variétés qui possèdent des caractéristiques diverses s'adaptant ainsi aux différentes régions de culture : robustesse, résistance aux maladies, teneur en sucre plus ou moins élevée, etc.

La culture de la canne nécessite de forts taux d'ensoleillement et de chaleur, son rendement peut atteindre 70 t/ha. La richesse en sucre de canne varie selon les pays de 11% à 16%. La composition de la canne à sucre et de la betterave sucrière est donnée dans le tableau suivant :

**Tableau I** : Composition chimique de la canne à sucre et de la betterave sucrière

Canne à sucre	Betterave sucrière
71% d'eau	76% d'eau
14% de saccharose	15 à 18% de saccharose
13 à 14% de fibre ligneuse	4 à 5% de pulpe
2 à 3% d'impureté	2 à 3% de non sucre

Le processus de fabrication du sucre à partir de la betterave sucrière et de la canne à sucre est illustré dans la figure 1 suivante :



**Figure 1** : Processus de fabrication du sucre

## 2. Coproduits de l'industrie sucrière

### 2.1 Mélasse

La mélasse désigne le principal sous-produit de préparation du sucre cristallisé à partir de la betterave sucrière, canne à sucre ou de raffinerie.

La mélasse se présente sous forme d'un résidu sirupeux, pâteux visqueux, de coloration brun noirâtre, incristallisable, obtenu après le turbinage de la masse cuite du 3<sup>ème</sup> jet.

De manière générale nous pouvons définir la mélasse comme étant la quantité de saccharose retenu par le non sucre.

La composition chimique des mélasses de betterave et de canne est donnée dans le tableau suivant :

**Tableau II** : Composition chimique des mélasses de betterave et de canne (d'après la méthode de calcul INRA 1988)

Paramètres de mesure	Mélasse de betterave	Mélasse de canne
Matière sèche (%)	73	73
Matières minérales (%)	13	14
Matières azotées totales	15	6
Sucres totaux	64	64
Calcium (g/Kg MS)	3,7	7,4
Phosphore (g/Kg MS)	0,3	0,7
Potassium (g/Kg MS)	82	40

Les mélasses présentent des teneurs en cellulose brute et en matières grasses très faibles. Pour les deux mélasses, la teneur en acides aminés est faible : en lysine, méthionine, cystine, tryptophane et thréonine. En revanche, la mélasse de betterave est bien pourvue en bétaine et acide glutamique (4 à 5% de la MS).

L'autre fraction de la matière organique « non sucré » des mélasses de betterave correspond à des acides organiques (6 à 8%) : acide lactique, malique, acétique, oxalique principalement ; tandis que les mélasses de canne contiennent une quantité non négligeable de gommes solubles et complexes hydrocarbonés (4%) et acides organiques (3%) : acides acotinique, citrique, malique, succinique.

Les mélasses de canne sont plus riches en phosphore et calcium que les mélasses de betterave.

## 2.2 Valorisation de la mélasse

### 2.2.1 Alimentation des animaux

La mélasse est généralement mélangée ou simplement épandue sur le fourrage, outre le fait qu'elles accroissent l'appétibilité, les mélasses se substituent à d'autres glucides plus coûteux. Leurs propriétés laxatives constituent, dans de nombreux cas, un avantage supplémentaire. On ne dépasse pas les doses suivantes dans les aliments secs : bovin : 15%, Ovins: 8%, porcs : 15% et volaille : 5%.

La mélasse est très fermentescible et on l'ajoute parfois à l'herbe à une dose de 5% environ. On peut également utiliser la mélasse pour rendre les ensilages en tas étanches à l'air. Il suffit d'ajouter 50 Kg par mètre carré. On peut pulvériser la mélasse au cours de la fenaison pour réduire la défoliation.

Si la consommation de protéines joue le rôle de facteur limitant de la production, on peut mélanger de l'urée à la mélasse ; jusqu'à la dose de 2 à 3%, du fait qu'un tel mélange est carencé en phosphore, il est capitale d'apporter de l'acide phosphorique soit dans le mélange soit dans le complément minéral, l'eau de boisson doit être fournie à proximité du distributeur. Ces produits ont une très forte teneur en urée, en général voisine de 10%, mais parfois beaucoup plus élevée. Leur consommation journalière est réduite, le plus souvent de l'ordre de 0,5 Kg/jour. D'autre part, la mélasse et les suppléments à base de mélasse et d'urée ont un effet très net sur la productivité du bétail et ses capacités reproductives lorsque le fourrage et les autres aliments font défaut, comme c'est le cas en saison sèche.

- **Utilisation de la mélasse pour les vaches laitières**

La mélasse est généralement mélangée ou simplement épandue sur le fourrage. Elle doit venir en remplacement du concentré dans le calcul de la ration.

Dans le rumen, les acides gras volatils formés (acide butyrique) ne sont pas particulièrement favorable à la production laitière. Voici un exemple de ration pour vaches laitières, équilibrée à 20 litres de lait.

**Tableau II** : Ration pour vache laitière

Mélasse de betterave	2,5 Kg
Ensilage de maïs à 27% de MS	40 Kg
Complément azoté à 42% de MAT	2,4 Kg
Aliment minéral type 10-20P-Ca	0,2 Kg

- **Utilisation de la mélasse par les ovins**

La mélasse peut remplacer une partie des céréales de la ration. On limitera l'apport à 0,6 Kg par brebis et par jour à environ 0,2 Kg par agneau de 30 Kg. Il ne faut surtout pas oublier de mettre une pierre à sel à la disposition des animaux. L'emploi de la mélasse en aspersion sur des fourrages de qualité médiocre permet d'augmenter les quantités ingérées du fait de son appétence.

### 2.2.2 Fabrication du rhum

Deux types de rhum sont produits à la réunion ; le rhum traditionnel issu de la distillation de la mélasse et le rhum agricole issu de la distillation du jus de la canne à sucre. La fabrication du rhum traditionnel comporte six phases successives :

**-La dilution** : la mélasse est diluée avec de l'eau afin d'en réduire la densité et ainsi obtenir un mout sucré.

**-L'ensemencement** : une fois diluée, on ajoute à la mélasse des levures qui se multiplient dans les cuves mères. Lorsqu'elles sont nombreuses, elles sont transférées dans des cuves de grande capacité pour la fermentation.

**-La fermentation** : Les levures privées d'oxygène, transforment le sucre du mout en alcool. Cette fermentation dure environ 24 heures, on obtient « un vin de canne » (mélange d'eau, de composés aromatiques et d'alcool) dont le degré en alcool est à environ 10°.

**-La Distillation** : le vin obtenu est centrifugé afin d'en séparer les levures ; on appelle cette phase la clarification. Le vin est réchauffé dans une cuve appelé « chauffe vin » puis dirigé vers les colonnes à distiller.

Grace à la chaudière, de la vapeur d'eau est injectée à la base de la colonne puis elle remonte à travers plusieurs plateaux eux-mêmes recouverts d'alcool.

La colonne à distiller est constituée d'un empilement de plateaux perforés qui a pour but de laisser passer la vapeur pour extraire l'alcool de l'eau. L'alcool s'évapore et monte le long de

la colonne tandis que l'eau reste en bas pour être évacuée. La vapeur ainsi récupérée et refroidie donnera le rhum blanc à 49°.

**-Maturation et vieillissement :** la maturation et le vieillissement ont pour but de donner de la couleur au rhum et de lui faire développer son arôme. Plus le vieillissement sera long, plus il sera moelleux et fruité.

### 2.2.3 La mélasse milieu de culture pour la production de levure et de bioéthanol a) Production de levure

Les mélasses ont une composition complexe ce qui fait d'elles un milieu de culture adéquat, un certain nombre d'opérations doivent être effectuées pour permettre la culture des levures.

La clarification n'est pas obligatoire avec les mélasses de betteraves, mais généralement bénéfique avec les mélasses de canne. Son but est l'élimination partielle des boues minérales, des gommes et d'une partie du calcium.

Le sirop de mélasse doit être dilué jusqu'à l'obtention de la concentration souhaitée. La solution est par la suite ajustée à pH souhaité et épuré par centrifugation. Ensuite la solution est autoclavée.

Les mélasses de betterave et de cannes à sucre permettent d'obtenir des biomasses protéiques ou des levures pour la panification ; les deux espèces les plus cultivées sur ces substrats sont *saccharomyces cerevisiae* et *Candida utilis*.

Un fermenteur de 100 m<sup>3</sup> permet d'obtenir 5 tonnes de levure en 20 heures. Les contrôles d'alimentation du milieu, du pH, d'aération et de température, sont très rigoureux afin d'optimiser la qualité des levures finales. Une période de maturation est effectuée avant la collecte : elle consiste à arrêter l'alimentation du milieu en maintenant l'aération de façon à ce que le bourgeonnement soit stoppé.

Les levures sont concentrées et séparées du mout. L'opération est réalisée en continu sur des appareils centrifuges qui permettent de laver la levure et d'obtenir une crème, puis filtration par des filtres rotatifs continus sous vide. Le gâteau obtenu à 30% de matière sèche est extrudé en pain de levures qui se conservent quelques semaines à 4°C.

### b) Production de bioéthanol

#### -La souche utilisée :

En général, les levures appartenant aux genres *Saccharomyces* sont les plus utilisées, malgré les nombreuses espèces de microorganismes connues pour leur capacité à fermenter les sucres en éthanol. En effet, les souches telles que *Saccharomyces cerevisiae* possèdent plusieurs avantages dont :

- La stabilité génétique.
- La capacité de fermenter le milieu le plus rapidement possible et produire de l'éthanol avec un rendement proche du rendement théorique.

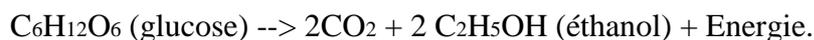
Peu exigeantes en facteur de croissance pour limiter les additions en vitamines aux milieux industriels.

- Haute tolérance à l'éthanol, afin de conserver une bonne viabilité en fin de fermentation.
- Croît rapidement, sur un substrat peu coûteux.
- Conserve dans le temps ses caractères biochimiques, sans risque de variations génétiques.

#### **-Caractéristiques de *Saccharomyces cerevisiae***

La levure saccharomyce utilise la respiration pour oxyder le glucose, elle extrait ainsi 40% de l'énergie contenue dans ce métabolite. Grâce à cette énergie, elle réalise ses travaux cellulaires et se reproduit par bourgeonnement. Mais elle utilise aussi la fermentation alcoolique qui, elle, n'extrait qu'environ 2% de l'énergie du métabolite. La fermentation alcoolique est une dégradation très incomplète du glucose puisqu'elle produit en plus du dioxyde de carbone, un résidu organique qui contient de l'énergie potentielle : l'éthanol. L'équation de l'oxydation

incomplète du glucose au cours de la fermentation alcoolique est:



Dans les cultures de *Sacchchromyces cerevisiae* développées en anaérobiose, seulement 10% du glucose est converti en biomasse et le restant est incorporé dans l'éthanol, le glycérol et le pyruvate, parfois même dans le succinate.

#### **-Paramètres influant la production d'éthanol**

**-Biomasse :** En fermentation alcoolique, plusieurs modèles cinétiques, expriment la croissance cellulaire en fonction de la concentration cellulaire par une relation linéaire. Les résultats expérimentaux démontrent qu'à de grandes concentrations cellulaires, la relation linéaire est incorrecte. Ceci apparaît vrai, car, à des concentrations cellulaires élevées, la disponibilité des éléments nutritifs en quantité suffisante pour la croissance et la production d'éthanol sera amoindrie. Par conséquent, les cellules de levure sont dégénérées petit à petit, diminuant ainsi la population viable en levure.

- **Substrat** : Plusieurs études ont reporté qu'une concentration élevée en substrat montre un effet inhibiteur sur la croissance de la levure, ainsi, que sur la fermentation alcoolique.

Les levures utilisent plusieurs monosaccharides ou disaccharides comme substrat, et l'effet des sucres est strictement contrôlé par les transporteurs de la membrane. Cependant, aux fortes concentrations en sucre, on observe l'existence d'une phase de latence plus ou moins marquée liée à l'adaptation des cellules au milieu traduisant l'inhibition par le substrat ainsi.

Aussi l'accumulation du glucose a un rôle inhibiteur pour la saccharification lors de l'utilisation de céréales, il est peut être utile de réaliser les deux étapes (saccharification et fermentation) de manière simultanée.

L'hydrolyse rapide du saccharose fait accumuler le fructose qui aboutit à l'augmentation de la pression atmosphérique, et comme résultat, la production d'éthanol baisse.

-**pH** : Comme toutes les levures, *Saccharomyces cerevisiae* présente l'avantage de croître sur milieux acides pour lesquels la plus part des bactéries ne se développent pas.

La fermentation alcoolique se déroule à un pH acide (pH 5 à 6). En milieu alcalin, le glycérol et l'acide acétique a tendance à s'accumuler au fur et à mesure que le pH augmente donc on préconise un pH de fermentation de 5, Comme au cours de la majorité des fermentations industrielles, la formation de CO<sub>2</sub> et d'acides organique acidifie progressivement le milieu et empêche le développement des micro-organismes, on utilise dans ce but :

a) - Des tampons tels que les phosphates mais dont le coût en limite l'emploi ou le carbonate de calcium largement utilisé dans les industries de fermentation. Ces produits sont employés généralement en excès et ils sont incorporés au milieu de culture dès le début de la fermentation ;

b) - Des agents neutralisants peu coûteux tels que l'acide chlorhydrique, ou les lessives de soude ou l'ammoniaque, ce dernier produit pouvant en plus servir d'aliment azoté aux micro-organismes capables de l'utiliser.

-**Température** : La température exerce un effet déterminant sur l'ensemble des activités cellulaires du micro-organisme. Selon les travaux de Navarre (1988), l'action de la température sur les levures est multiple :

- Les levures sont incapables de se multiplier au dessous de 10°C. Elles peuvent cependant supporter sans inconvénient, des températures beaucoup plus basses lorsqu'elles sont à l'état de spores-Leur résistance vis-à-vis de la chaleur est différente, suivant qu'elles sont à l'état sec ou humide :

-Etat humide : Lorsque la température atteint 20°C la prolifération des levures s'accélère, sans passer par un maximum vers 30°C. Au dessus de 35°C, leur activité diminue rapidement ; la fermentation risque de s'arrêter.

-Etat sec : Les levures sont beaucoup plus résistantes (5 minutes à la température de 115- 120 °C).La température optimale pour un bon rendement en éthanol est 30°C.

**-Aération :** Les levures peuvent se développer en présence ou en absence d'oxygène, la présence de ce dernier augmente néanmoins le rendement de la fermentation.

L'oxygène intervient, non pas au niveau d'un métabolisme respiratoire mais au niveau de la biosynthèse de constituants de la biomasse dont les mieux identifiées sont les stérols et les acides gras insaturés. Pour éviter que le métabolisme de la levure soit perturbé une légère aération du système de fermentation est indispensable.

La fermentation alcoolique produit des quantités importantes de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), qui étouffent la levure. L'aération fait diminuer la concentration en CO<sub>2</sub> dans la culture. Cependant, l'apport en oxygène ne doit pas être élevé, car une aération intense fait augmenter la concentration en biomasse et diminue le rendement de production d'éthanol.

**-Produit :** Parmi les facteurs responsables de l'arrêt de la fermentation, l'éthanol est certainement l'un des plus importants.

L'éthanol inhibe l'activité de l'hexokinase, enzyme qui assure la première réaction de la glycolyse.

L'éthanol agit sur le transport des nutriments (acides aminés, glucose) : il pénètre dans la membrane cytoplasmique et modifié sa fluidité, ce qui aboutit au dysfonctionnement de l'ATPase, ainsi, l'énergie nécessaire au bon fonctionnement des perméases ne pourra plus être assurée ; l'une des autres conséquences de l'action de l'éthanol est la dissipation du gradient électrochimique de protons au niveau de la membrane cytoplasmique. Le pH interne de la cellule n'est plus régulé.

Cependant, l'effet de l'éthanol varie selon les souches de levure utilisées et les multiples manipulations génétiques vont dans le sens d'améliorer leur tolérance vis-à-vis de l'éthanol. Les domaines d'utilisation du bioéthanol sont résumés dans la figure qui suit :

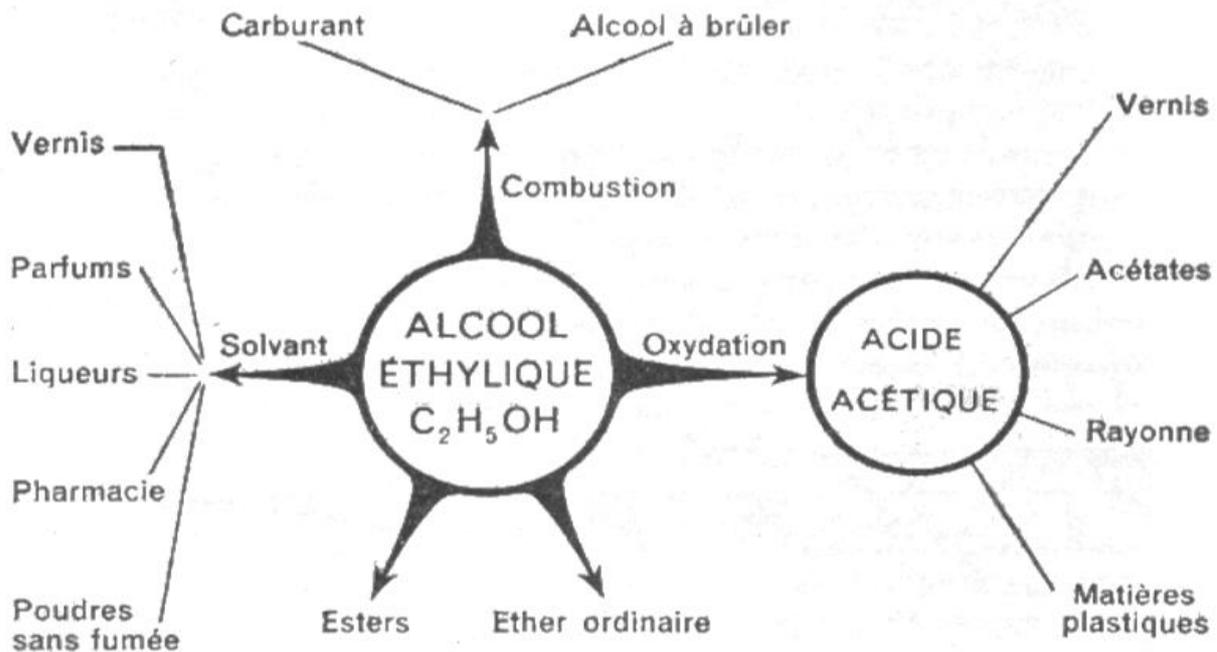


Figure 2 : Domaines d'utilisation du bioéthanol

### 2.2.4 Autres utilisations

- **La mélasse pour remédier au problème des chaussées glissantes** : Afin de rendre leurs routes moins glissantes, certaines municipalités du centre de Québec ont recours à un mélange de sel et de mélasse, ce produit baptisé « Clear Lane », a été adopté par plessisville, le produit à base de chlorure de sodium de magnésium et de mélasse de canne est distribué par la firme centricoise sels Warwick. Ce produit offre de nombreux avantages comparativement au sel traditionnel. Il va avoir moins de roulement et de rebondissement sur la chaussée.

- **La mélasse comme insecticide** : Le charançon rouge est l'ennemi n°1 du palmier, la lutte contre ce ravageur est très difficile et nécessite de mettre en place des moyens importants à grande échelle. Le Dr. Victoria Soroker a proposé un protocole de piégeage : un à sept pièges par ha sont installés en fonction de la densité de l'infection, de l'âge et de rejets.

Le piégeage sert avant tout à détecter les foyers de charançon et secondairement à réduire la population. Les pièges utilisés sont composés d'une capsule à phéromone associée à un attractif alimentaire (dattes et mélasses de canne à sucre). Un insecticide prévient toute fuite des insectes capturés.

### 2.3 Bagasse

La bagasse est le résidu fibreux obtenu après broyage de la canne pour en extraire le jus.

D'une tonne de canne, il subsiste 320Kg de bagasse, Elle est utilisée comme source d'énergie : dix tonnes de bagasse équivalente à presque deux tonnes de fuel lourd avec l'avantage d'être moins polluants et d'être renouvelables. Elle est composée de 80% de fibre, 56% de cellulose, 24,3% d'hémicellulose et 19,5% de lignine.

### 2.3.1 Valorisation

- **Valorisation énergétique : électricité**

A la Réunion, une stratégie de canne-énergie a été développée depuis 1982. Après l'extraction du sucre, la bagasse est transportée vers les centrales thermiques pour produire de l'énergie, vapeur pour la sucrerie et électricité vendue sur le réseau EDF. Les centrales de Bois-rouge et du Gol produisent environ 1256 GW/an dont plus de 273 GW/an avec la bagasse. Cette stratégie de cogénération a depuis été reprise dans de nombreux pays sucriers (Brésil, Thaïlande, Guatemala, Ile Maurice, Guadeloupe...). Les agrocarburants de seconde génération sont issus de l'hydrolyse des fibres végétales (bois, paille, bagasse...). Le bilan énergétique des agrocarburants de seconde génération est 2 à 3 fois supérieur à celui de ceux de première génération.

La compagnie Dedini SA (Piracicaba, Sao Paulo) au Brésil a breveté un procédé de saccharification de la bagasse par hydrolyse acide. Le procédé n'est pas encore industrialisable et un pilote de 500 L/jour est en test. L'hydrolyse de la cellulose et des hémicelluloses des fibres de bagasse conduit à des sucres simples en C6 et en C5. L'éthanol est obtenu par la fermentation de ces sucres avec des résultats satisfaisants. Les recherches sont en cours afin d'améliorer les rendements de fermentation notamment pour les sucres en C5.

Les voies de conversion les plus prometteuses pour produire les biocarburants de seconde génération sont celles qui utilisent les procédés thermochimiques de pyrolyse et de gazéification. La plante entière est ainsi convertie en gaz de synthèse ou syngaz (CO et H<sub>2</sub>).

Ils peuvent être valorisés par deux voies. La première en utilisant des réactions catalytiques de conversion de gaz à l'eau qui permet d'optimiser la production d'hydrogène pour les piles à combustibles. La deuxième en utilisant le procédé connu Fisher-Tropsch pour produire des hydrocarbures de synthèse pouvant substituer le gasoil ou l'essence.

Le CO<sub>2</sub> des centrales thermiques pourrait aussi être considéré comme un coproduit notamment avec le développement des réacteurs microalgues qui vont fixer le CO<sub>2</sub> grâce à la photosynthèse. Ces microalgues sont ensuite valorisées pour des synthons (lipides...) ou en énergie (éthanol ou thermique).

- **Valorisation en molécules organiques**

La bagasse est également à la base de production du furfural et d'hydroxyméthyl furfural comme c'est le cas en Afrique du Sud. Une grande proportion du furfural est réduite en alcool

furfurylique, qui est une matière première pour diverses résines furaniques, caractérisées par une très bonne résistance à la température et aux agents chimiques agressifs, ces résines sont ensuite utilisées pour la fabrication de plastique. La bagasse est aussi une source de xylose obtenue par hydrolyse des hémicellulose. Le xylose peut être converti par réduction en xylitol qui est utilisé dans de nombreux médicaments, ainsi que dans l'industrie alimentaire, comme édulcorant naturel.

Par rapport aux tiges, les bouts blancs ont de plus fortes teneurs en molécules organiques. La mise en place de procédés de valorisation est en cours notamment en Louisiane avec des pistes par voie fermentaire.

- **Valorisation agronomique**

La bagasse sert de support à la culture de champignons comme c'est le cas à la Réunion, en Guadeloupe et en Indonésie. Les pailles qui restent aux champs sont une source non négligeable de minéraux et de matière organique pour le sol. La bagasse, la paille et les bouts blancs peuvent aussi être utilisés comme aliment pour le bétail seul ou en mélange avec la mélasse.

- **Valorisation en matériaux**

Parmi les sources de fibres autres que le bois, la bagasse est la plus utilisée (20%) pour la fabrication des pâtes à papier, devant le roseau (17,5%) et les pailles de céréales (17%). Des papeteries à base de bagasse sont implantées en Inde, Afrique du sud, Mexique...

La pâte à papier est obtenue par délignification selon 2 procédés classiques : cuisson « Kraft » (soude et sulfure de sodium) ou cuisson alcaline (soude-anthraquinone).

Des innovations récentes permettent la fabrication de contenant alimentaire (assiettes, gobelets, barquettes...). Au Brésil, la société EDRA réalise un composite de différents plastiques recyclés avec de la bagasse comme renfort pour réaliser différents objets (chaises, boîtes...).

La transformation de bagasse en panneaux existe au stade industriel dans différents pays, à la Réunion, l'usine de la Mare a produit du « bagapan » dans les années 1970.

Les panneaux en bagasse actuels ont une faible résistance à l'humidité et aux champignons. Des travaux ont permis de modifier chimiquement les fibres de bagasse pour améliorer leur propriété technologique : Hoareau (2005) a modifié la lignine ; Paiva et Frollini (2002) ont modifié la cellulose et les hémicelluloses.

## 2.4 Vinasse

### 2.4.1 Composition chimique de la vinasse

La composition chimique de la vinasse présente des variations dans la teneur des principaux composants (voir Tableau IV) ces variations sont dues :

A l'origine et à la composition des betteraves et par la suite, des mélasses dont sont issues les vinasses et aux différents processus technologiques mis en œuvre.

**Tableau III** : Composition chimique de la vinasse de mélasse de betterave en fonction du traitement de fabrication

Traitement	Acides aminés	Levurerie	Levurerie	Distillerie	Distillerie	Acide citrique
	Déminéralisée	Normale	Dépotassifiée	Normale	Dépotassifié	Dépotassifiée
Matière sèche (%)	70-75	65	65-75	60-65	70	70
Matières minérales (% MS)	6,5	26	13	32	4,5	17
MAT (% MS)	66	38	53	35	43	40
N ammoniacal (% N total)	45	5	35	0	6	11
Calcium (g/Kg MS)	néglig.	néglig.	néglig.	néglig.	néglig.	néglig.
Phosphore (g/Kg MS)	-	1,5	1,5	1,5	3	néglig.
Potassium (g/Kg MS)	7	95	40	135	25	-
Sodium (g/Kg MS)	16	30	20	30	4	-
Soufre (g/Kg MS)	14	9	14	16	11	10

#### 2.4.2 Valorisation des vinasses (sous-produit de l'industrie rhumière)

Les vinasses constituent les principaux effluents des distilleries et les déchets les plus problématiques de la filière canne-sucre-rhum. Ces résidus de distillation sont composés d'eau, de matières organiques issues de la canne à sucre et du métabolisme bactérien, de matières minérales (cuivre issu des plateaux des colonnes de distillation), d'ions ajoutés lors de la fermentation alcoolique. Les vinasses peuvent constituer une source non négligeable de pollution des eaux. Des mesures doivent être mises en place pour l'élimination et le traitement des vinasses.

Un procédé a été développé par une distillerie de la Guadeloupe dans le but de réduire la charge polluante des vinasses. Il consiste à filtrer les vinasses sur terre d'infusoire, afin d'absorber la matière organique qu'elles contiennent. L'adsorbat est extrait au moyen d'un solvant apolaire, le cyclohexane, afin de récupérer les cires brutes. Le rendement de l'extraction est d'environ 7%. Les cires sont utilisées dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique. Les vinasses peuvent être utilisées pour la production de biogaz, cette technique de valorisation existe à l'échelle industrielle depuis plus de 20 ans en Guadeloupe.

Les vinasses sont généralement valorisées comme fertilisant (apport en potassium) pour les cultures cannières. Des systèmes de fertiirrigation existent au Brésil.

### **-Valorisation en énergie et en molécules organiques**

L'optimisation des techniques de méthanisation permettra la généralisation de la valorisation énergétique des vinasses avec un couplage à des chaudières alimentant la distillerie. La pyrolyse de vinasse de betterave est en cours d'essais en Champagne Ardenne. Cette technique permet de transformer la charge organique des vinasses en énergie.

La vinasse est une importante source de molécules avec notamment des acides organiques. **-Les eaux usées**

Les nouvelles normes environnementales seront probablement de plus en plus strictes. Les eaux usées issues du process (lavage de la canne, eaux de process, lavage usine...) pourraient aussi être traitées par méthanisation pour récupérer de l'énergie qui pourrait compenser les coûts de traitement.

### **-Vinasse en alimentation des ruminants**

L'utilisation de vinasse dans l'alimentation des ruminants est diversifiée :

- ✓ Fabrication d'aliments composés (vaches laitières, bovins, ovins en croissance et à l'engraissement) : taux d'incorporation de 4 à 8% du produit brut ;

Fabrication d'aliments composés liquides : taux d'incorporation de 15 à 20 % du produit brut ;

- ✓ Fabrication d'aliments déshydratés (pulpes, luzerne, maïs) : taux d'incorporation de 4  
à 8% du produit brut ;
- ✓ Fabrication d'aliments granulés (issues de céréales, pailles) : taux d'incorporation de 4  
à 8% du produit brut ;
- ✓ Complémentation protéique de la pulpe de betterave surpressée (mélange effectué à la  
sucrerie au taux d'incorporation de 3,5 à 4% du produit brut) ;
- ✓ Utilisation directe à l'auge.

Les caractéristiques de composition chimique ainsi que la qualité des constituants de la matière organique des vinasses concourent à leur conférer un intérêt nutritionnel fort.

En apportant l'azote avec une vinasse, on apporte également de l'énergie à la ration, énergie qui peut venir remplacer une partie des apports réalisés par les fourrages ou autres concentrés de la ration (céréales, pulpes surpressée).

La vinasse de mélasse offre aussi la possibilité de valoriser des fourrages pauvres (paille, foin de qualité médiocre...) notamment par les animaux à faibles besoins (animaux à croissance faible, génisses d'élevage....).

## II.2. Valorisation des coproduits de l'olivier

### 1. Production oléicole

Bien que la production de l'olivier soit répartie sur les cinq continents, elle est surtout prédominante dans la zone du Bassin Méditerranéen qui représente 98% de la surface et des arbres en production et 97% de la production totale d'olives.

Les quatre pays (Espagne, Grèce, Italie, Tunisie) représentent à eux seuls:

- 65% de la surface.
- 76% des arbres en production.
- 74% de la production totale d'olives.

Au niveau mondial l'importance de la production oléicole est résumée dans le tableau :

**Tableau IV:** Importance de la production oléicole dans les principaux pays producteurs

Pays	Plantations			Productions			
	Surface (1 000 ha)	(1 Plantes Production (x1 000)	en Densité (Plantes/ha)	Olives (1 000 T)	Huile (1 000 T)		
<u>Europe</u>							
Albanie	20	1	500	75	53	7	
France	30	3	800	130	16	2	
Grèce	420	79	000	190	1	350 280	
Italie	1	200	160	000	133	2	800 566
Portugal	480	26	000	54	220	33	
Espagne	2	300	180	000	78	1	348 281
Yougoslavie	60	4	700	78	13	2	
<u>Afrique</u>							
Algérie	125	10	000	80	100	11	
Egypte	2	100		50	6	0,5	
Libye	154	4	000	26	162	16	

Maroc	140	6	700	48	350	38
Tunisie	600	37	000	62	700	140
<u>Asie</u>						
Turquie	1	200	59	000	49	650
Autres	137	14	000	102	395	68
<u>Amérique</u>	122	12	800	105	214	29,7
<u>Océanie</u>	-	40	-	-	6	0,6
TOTAL	6 990	598	740	86	8 383	1581,8

L'industrie oléicole, en plus de sa production principale qui est l'huile laisse deux résidus, l'un liquide (les margines) et l'autre solide (les grignons). De plus, l'olivier à travers la taille engendre des feuilles et brindilles et du gros bois. En adoptant la moyenne de 35% pour le % de grignons bruts par rapport aux olives traitées, on peut estimer la production mondiale de grignons bruts à environ 2,9 millions de tonnes. Sachant qu'en moyenne 100 kg d'olives traitées engendrent 100 litres de margines, la production mondiale de margine serait de 8,4 millions de mètres cubes. Par ailleurs, et selon les estimations de nombreux pays, 25 Kg de feuilles et brindilles sont produites par an et par arbre. Ceci se traduit par une production annuelle mondiale d'environ 15 millions de tonnes de feuilles et brindilles fraîches. Ce qui se traduit par la nécessité de valoriser ces sous produits.

## 2. Composition de l'olive

L'olive est une drupe, sa composition physique est indiquée dans la Figure 3:

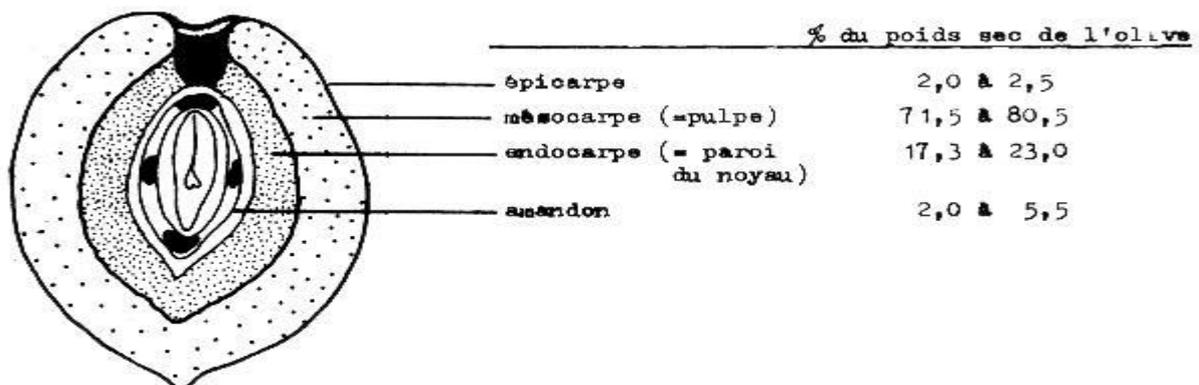


Figure 3: Section transversale (a) et composition physique de l'olive (b).

## . Fabrication de l'huile

La technologie utilisée est très variable et a fait l'objet d'importantes modifications durant les dernières décennies. A titre d'exemples deux procédés sont décrits ci-après:

- Par pression: Tunisie (figure 2)
- Par centrifugation : Italie (figure 3)

Les pourcentages d'huile et de coproduits obtenus (grignons et margines) sont indiqués.

Il existe d'autres procédés, comme le procédé Acapulco qui comprend la séparation préalable du noyau et de la pulpe.

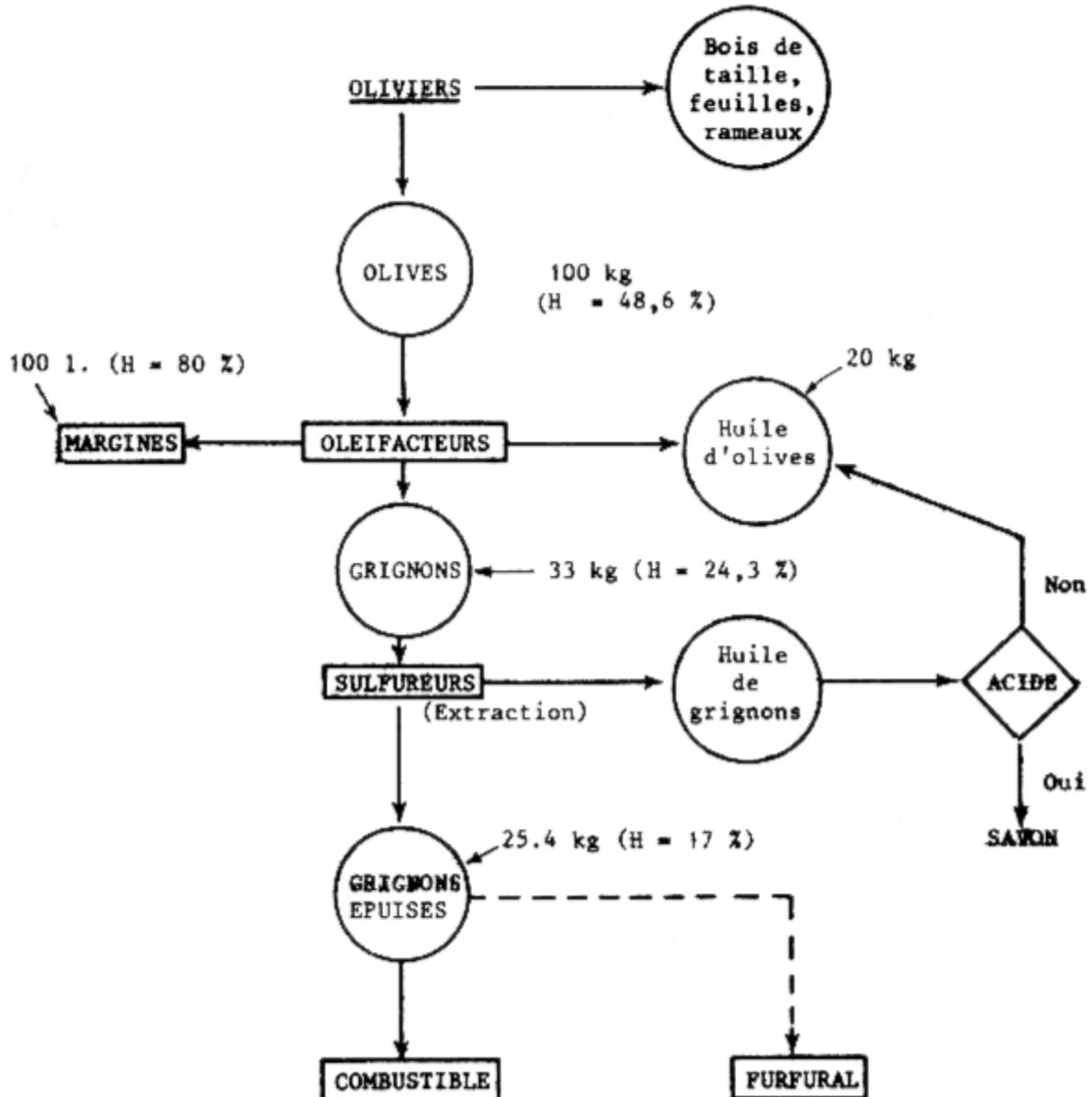


Figure 4 : Schéma actuel de l'industrie oléicole en Tunisie

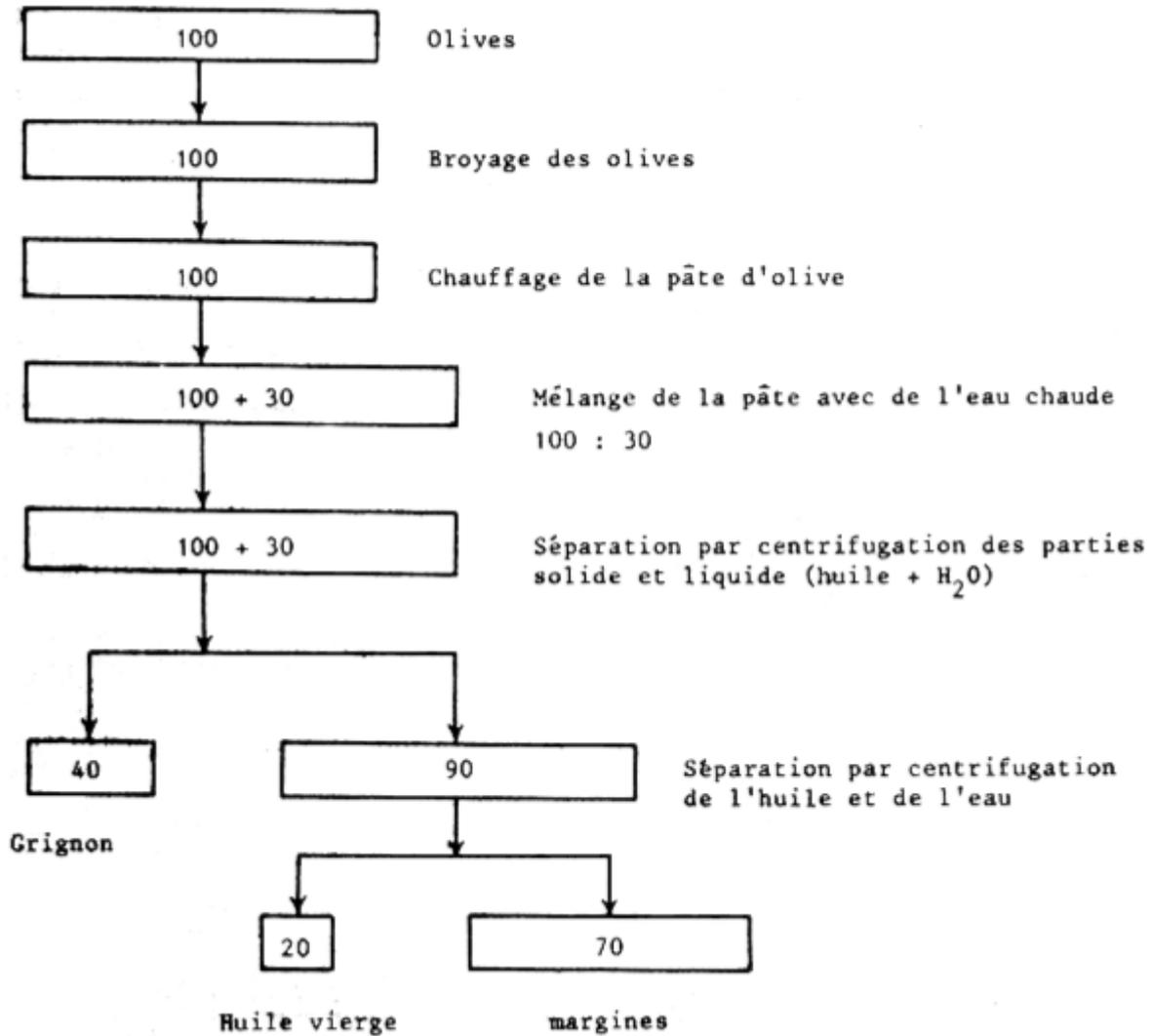


Figure 5 : Usine "Pieralisi" dans le Lazio (Italie): procédé par centrifugation.

## 4. Les principaux coproduits

Il est important de définir les différents coproduits car il existe une certaine confusion dans les publications qui ne permet pas toujours d'identifier clairement de quel coproduit il s'agit. L'on distinguera donc:

### a) Les coproduits d'huilerie

- **Le grignon brut:** c'est le résidu de la première extraction de l'huile par pression de l'olive entière, ses teneurs relativement élevées en eau (24%) et en huile (9%) favorisent son altération rapide lorsqu'il est laissé à l'air libre.
- **Le grignon épuisé:** c'est le résidu obtenu après déshuilage du grignon brut par un solvant, généralement l'hexane.
- **Le grignon partiellement dénoyauté:** résulte de la séparation partielle du noyau de la pulpe par tamisage ou ventilation
  - il est dit "gras" si son huile n'est pas extraite par solvant ;
  - il est dit "dégraissé ou épuisé" si son huile est extraite par solvant.
- **La pulpe d'olive:** c'est la pâte obtenue lorsque le noyau a été séparé de la pulpe préalablement à l'extraction de l'huile. Elle est riche en eau (60%) et de conservation très difficile.
- **Les margines:** c'est le résidu liquide aqueux brun qui s'est séparé de l'huile par centrifugation ou sédimentation après le pressage.
- **Les feuilles collectées à l'huilerie:** ce ne sont pas les résidus de la taille, mais des feuilles obtenues après le lavage et le nettoyage des olives à l'entrée de l'huilerie. Leur quantité est estimée, en Grèce, à environ 5% du poids des olives.

### b) Les résidus de la taille et de la récolte

Les oliviers subissent en général une taille sévère un an sur deux et une taille légère l'autre année. Après séparation des grosses branches les feuilles et ramilles (diamètre inférieur à 3 cm) peuvent être distribuées aux ruminants.

## 4.1 Grignons d'olives

### 4.1.1 Caractéristiques physiques et chimiques

Les grignons bruts renferment la coque du noyau, réduite en morceaux, la peau et la pulpe broyée de l'olive, environ 25% d'eau et encore une certaine quantité d'huile qui favorisent leur altération rapide. Les grignons épuisés diffèrent essentiellement par une plus faible teneur en huile et une teneur en eau réduite du fait qu'ils ont été déshydratés au cours du processus de l'extraction.

Les grignons épuisés partiellement dénoyautés sont constitués essentiellement par la pulpe (mésocarpe) et contiennent encore une petite proportion de coques qui ne peuvent être séparées complètement par les procédés de tamisage ou de ventilation utilisés.

Contrairement aux autres tourteaux oléagineux les grignons bruts sont pauvres en matières azotées et riches en cellulose brute. Ils restent relativement riches en matières grasses.

L'épuisement par les solvants diminue la teneur en matières grasses et augmente relativement les autres teneurs. Le dénoyautage partiel par tamisage ou ventilation réduit les teneurs en cellulose brute. (Tableau III).

Les pulpes, du fait de la séparation totale du noyau avant pression, ont la valeur la plus faible en cellulose brute.

**Tableau V:** Composition chimique indicative des différents types de grignons

Type	Matière Sèche	% de la Matière Sèche			
		Matières minérales	Mat. Az. totales	Cellulose brute	Matières Grasses
<b>Grignon brut</b>	75–80	3–5	5–10	35–50	8–15
<b>Gr. gras part. dénoyauté</b>	80–95	6–7	9–12	20–30	15–30
<b>Grignon épuisé</b>	85–90	7–10	8–10	35–40	4–6
<b>Gr. épuisé part. denoyauté</b>	85–90	6–8	9–14	15–35	4–6
<b>Pulpe grasse</b>	35–40	5–8	9–13	16–25	26–33

Les valeurs indiquées ci-dessus sont très variables principalement pour les grignons bruts et les grignons gras partiellement dénoyautés et ne peuvent être considérées que comme indicatives.

Il est à noter que ces différents grignons proviennent d'olives d'origines variées et ont subi des traitements différents ce qui explique l'hétérogénéité de certains résultats.

#### 4.1.2 Conditions de conservation des grignons

Le problème principal que se pose pour la conservation des grignons bruts est leur teneur relativement élevée en eau et la présence d'une quantité encore importante de matières grasses. Ces grignons abandonnés à l'air libre rancissent rapidement et deviennent vite inconsommables par les animaux.

Il est estimé que les grignons bruts obtenus par centrifugation, plus humides, se détériorent après 4–5 jours, les grignons obtenus par pression après environ 15 jours, ces mêmes grignons déshydratés ne se conserveraient guère plus de 45 jours. Par contre les grignons épuisés qui ont de plus été déshydratés au cours de l'extraction pourraient se conserver plus d'un an.

La déshydratation est actuellement un procédé coûteux compte tenu du coût élevé de l'énergie nécessaire. De plus, dans le cas des grignons bruts encore riches en matières grasses son efficacité comme mode de conservation semble très limitée.

Les quelques essais effectués à petite échelle de conservation par ensilage laissent prévoir une possibilité de conservation plus simple, plus économique et plus efficace en utilisant la méthode des silos-taupinières qui permet de stocker des quantités très variables de quelques tonnes à plusieurs centaines de tonnes.

Compte tenu du fait que le grignon brut frais se conserve très peu de temps il doit être distribué très rapidement aux animaux ou ensilé le plus tôt possible afin de ne pas s'altérer.

Il est toutefois à noter qu'il est généralement économiquement plus rentable d'extraire préalablement l'huile du grignon, mais lorsque pour des raisons spécifiques l'extraction n'a pas lieu, ce grignon brut peut être conservé pour être distribué ultérieurement aux animaux.

### 4.1.3 Valeur alimentaire des grignons d'olive

#### a) Digestibilité

Tout d'abord il convient de rappeler que dans le cas de l'étude de certains coproduits du type des grignons, plusieurs chercheurs (Michalet-Doreau, 1981, Orskov, 1977, Preston, 1981) ont mis en évidence l'importance du niveau de participation de l'aliment dans la ration totale, le type d'aliments (fourrages, concentrés) associés, le niveau d'alimentation de l'animal et finalement le mode de calcul ou d'estimation de la digestibilité.

Il est parfois difficile d'après les comptes-rendus d'expérience de classer le type de grignon dont il s'agit, les conditions d'expérience ne sont pas toujours clairement définies, de plus elles correspondent à des années différentes, des produits d'origines variées, etc. Il s'ensuit souvent des difficultés pour l'interprétation des résultats présentés.

D'une façon générale on peut toutefois conclure que:

- la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique reste faible (20 à 50%) quel que soit le type de grignon ;
- les matières grasses ont toujours une digestibilité élevée (60 à 90%) ;
- les matières azotées ont en moyenne une faible digestibilité de l'ordre de 20 à 25% mais très variable ;
- la cellulose brute a une digestibilité estimée variant de 0 à 40%.

#### b) Dégradabilité

Très hautement lignocellulosiques les grignons d'olive ont selon Nefzaoui (1983) une dégradabilité très lente et les valeurs maximales atteintes sont très modestes (32% de la MS est dégradée après une durée de séjour de 72 h dans le rumen pour le grignon tamisé épuisé). La dégradabilité des protéines est aussi très faible, et cela peut s'expliquer par le fait que 75 à 90% de l'azote est lié à la fraction lignocellulosique entraînant ainsi une très faible solubilité de l'azote qui n'est que de 2,3% (N soluble % N total) pour le grignon brut, et de l'ordre de 0,2 à 0,4% pour les grignons tamisés.

## C) Caractéristiques biochimiques au niveau du rumen

Les rares données existantes proviennent des travaux effectués en Tunisie par Nefzaoui et *al.*

(1979, 1982) sur du grignon épuisé tamisé.

- L'ammoniogenèse est limitée lorsque ce grignon est distribué ad-libitum à des ovins la production de NH<sub>3</sub> est en effet inférieure au seuil limite de 50 mg/l de jus de rumen. Avec des rations où 40% d'orge sont remplacés par 40% de grignons la production de NH<sub>3</sub> varie de 64 à 78 mg/l selon l'heure de prélèvement.
- L'ingestion de grignon d'olive seul engendre une faible production d'acide gras volatil total (51 mM/l). La proportion des différents A.G.V. (71% acétique, 19% propionique et 10% butyrique) correspond au type de fermentation caractéristique des aliments grossiers (paille, foin).
- Le pH du jus de rumen d'animaux nourris avec des grignons d'olive varie de 6,6 à 7,2 et est donc favorable à une activité cellulolytique optimale.

### 4.1.4 Possibilités d'amélioration de la valeur alimentaire des grignons

Comme pour la paille ce sont surtout les traitements aux alcalis qui ont fait l'objet de plus de travaux.

#### a) Traitement à la soude

Les faibles quantités de soude, inférieures à 4% n'ont que peu d'effets sur la digestibilité in-vitro de la matière sèche. Celle-ci augmente progressivement pour atteindre des valeurs de 50 à 70% pour des quantités de 6 à 8% de soude. Le lavage et la filtration du grignon pour éliminer l'excès de soude réduit la digestibilité.

Le traitement de grignons gras à la soude peut entraîner la formation de savon par saponification. Ce phénomène a aussi été souligné par Karalazoo (1979). D'où la nécessité de ne traiter que des grignons épuisés ou d'utiliser des alcalis (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>OH) qui n'engendrent pas de réactions de saponification.

La dégradabilité des protéines et de la matière sèche est améliorée. La digestibilité in-vivo de la matière sèche, et surtout celle des protéines et de la cellulose brute, sont augmentées.

L'ingestion déjà importante n'est pas augmentée. Par contre la consommation d'eau de l'animal est plus que doublée et l'excrétion urinaire plus que triplée.

Des études en micro-silos (1,51) ont mis en évidence une amélioration de la digestibilité "in situ" importante avec des fortes doses de soude (8%), et supérieure à celle obtenue avec l'ammoniac.

### b) Traitement à l'ammoniac

Des grignons tamisés épuisés préalablement mélassés ont été stockés en sac plastique avec injection de NH<sub>3</sub> (3%). Il en résulte une amélioration importante de la valeur nutritive (Tableau IV) notamment par:

- Un enrichissement en azote (+ 200%) .
- Une amélioration de la digestibilité de tous les nutriments et particulièrement des matières azotées (+ 90%).
- Une augmentation de la rétention azotée.

**Tableau V** : Digestibilité, ingestion et bilan azoté de grignons tamisés épuisés ensilés avec de l'ammoniac

	Grignon non traité	Traité 3% NH <sub>3</sub>
Digestibilités (%)		
MS	36	41
MO	40	43
MAT	29	55
MG	77	86
CB	39	49
NDF	32	39
ADF	25	32
ADL	13	19
Hémi-cellulose	60	63
Cellulose	43	49
Ingestion g MS/jP <sup>0.75</sup>	99	98

Bilan azoté: g N/j/P <sup>0.75</sup>		
Ingéré	1,903	3,610
Fécal	1,353	1,632
Urinaire	0,240	1,147
Retenu	0,310	0,831

\* Expérience factorielle en cross-over, avec des agneaux de la race Texel, recevant les grignons à volonté et 100 g d'orge par jour.

### C) Ensilage de grignons tamisés avec des fientes de volaille

Les essais réalisés par Nefzaoui et Deswysen (1982) ont montré que des ensilages comportant 70% de fientes ayant été accumulés pendant moins de 21 jours et 30% de grignons tamisés épuisés se conservaient de façon excellente (selon les critères d'appréciation de FLIEG).

### d) Traitement au Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>

Vaccarino et *al.* (1982) ont comparé des traitements à différentes doses de NaOH et Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sur des grignons partiellement dénoyautés pendant 150 minutes à 70°C avant l'addition du solvant. Les deux méthodes améliorent considérablement la digestibilité in-vitro, la soude se révélant toutefois plus efficace (Tableau V).

**Tableau VI** : Effets de traitements de grignons partiellement dénoyautés avec NaOH ou Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sur la digestibilité in-vitro

	Témoin	Na OH, %			Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , %		
		2,9	5,7	8,6	3,8	7,2	11,4
<b>Digestibilité de Mat. Organique</b>	15,8	20,7	32,3	50,8	26,9	40,6	47,9
<b>Digestibilité Matière sèche</b>	9,7	8,8	27,2	31,9	5,1	39,4	46,5

### e) Traitement mécanique

Le seul traitement mécanique pratique consiste en la séparation partielle de la coque du noyau par tamisage ou ventilation. Ceci a pour effet de réduire notablement le taux de cellulose brute et de cellulose vraie mais paradoxalement très peu le taux de lignine.

Cependant des travaux récents comparant des grignons épuisés non tamisés, traités avec différents alcalis ont montré que le tamisage seul améliorait:

- la digestibilité de la matière organique de 10 à 15 point soit dans des proportions légèrement plus faibles que les traitements à la soude ou l'ammoniaque mais supérieures au  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  et à l'urée.
- la digestibilité de la matière azotée de l'ordre de 30 points, soit de façon nettement supérieure à tous les autres traitements

Le tamisage semble donc une méthode de traitement très efficace pour l'amélioration de la valeur nutritive des grignons épuisés.

### f) Traitements biologiques

Peu d'expériences ont été réalisées dans ce domaine. Cependant Karapinar (1977) et Worgan (1978) ont reporté que les tissus contenus dans les grignons d'olive sont résistants à la dégradation microbienne. Des cultures de champignons sur le résidu n'ont pas diminué de façon notable la teneur en fibres, même après un traitement aux alcalis. La culture de *Sporotrichum pulverulentum* sur le résidu tamisé a augmenté la teneur en matières azotées mais pas diminué significativement la teneur en cellulose brute.

#### 4.1.5 Valorisation des grignons

##### a) Dans l'alimentation des animaux

Les grignons bruts sont utilisés en Tunisie en mélange à du son ou même du cactus pour alimenter les dromadaires sur une bonne partie de l'année ou les ovins pendant les périodes difficiles. Mais très peu d'essais ont été effectués avec ce type de grignon. Concernant Les grignons gras partiellement dénoyautés:

- sur ovins: Bloemeyer (1977) distribuant un concentré contenant de 0 à 40% de grignon avec mélasse-urée a obtenu des gains de poids de 125 à 101 g/j avec des moutons au pâturage recevant 500 g de foin et le concentré en fonction du poids vif (20 à 30g/kg. poids vif).

Ben Aneur et Ben Hamouda (1975) substituant 0 à 30% d'orge par du grignon dans des rations de moutons ont obtenu des croissances sensiblement identiques mais légèrement décroissantes (274 g/j à 226 g/j) mais avec un indice de consommation supérieur.

En Sardaigne, Piccarolo et Paschino (1978) Paschino et Piccarolo (1980) Dattilo (1980) Dattilo et Congiu (1979) ont introduit des grignons d'olives tamisés (environ 20%) dans des pellets contenant différents autres sous-produits et rapporté des productions laitières avec des brebis comparables à celles obtenues au pâturage.

-sur bovins: Des expériences effectuées en Italie semblent montrer un effet positif des grignons sur la teneur en matière grasse du lait de vaches, avec une production de lait (à 4% MG) sensiblement équivalente, lorsque les vaches reçoivent de 1,8 à 4 kg de grignons/jour.

En Grèce Belibasakis (1982) alimentant des vaches laitières avec des proportions de 10 à 20% de grignons dans le concentré n'a pas constaté de différences significatives dans la production et la composition du lait. Maymone et Giustozzi (1935) utilisant des génisses de 295 kg nourries pendant 60j avec du foin et de l'ensilage de luzerne plus de la farine de maïs ou des grignons (à 8% de MG) ont obtenu des gains de poids respectif de 630 g/j (avec 922 g/ j de maïs consommé) et 370 g/j (avec 775 g/j de grignons consommés)

Concernant Les grignons partiellement dénoyautés épuisés traités aux alcalis, il apparait que Le traitement à la soude de grignons épuisés tamisés permet d'améliorer la digestibilité.

**Tableau VI** : Engraissement de moutons de la race barbarine avec des grignons tamisés traités ou non à la soude

	Témoin	40% grignon non traité	40% grignon traité 4% NaOH	40% grignon traité % NaOH + Urée
<b>Composition des rations</b>				
Grignon non traité	-	40.00	-	-
Grignon traité 4% NaOH	-	-	40.00	40.00
Orge	89.00	49.00	49.00	47.40
Mélasses	8.00	8.00	8.00	8.00
Urée	-	-	-	1.60
Minéraux + vitamines	3.00	3.00	3.00	3.00
<b>Performances</b>				
Poids initial, kg	41.94	37.49	37.64	36.78
Poids final, kg	54.18	49.31	52.09	51.04
GMQ, g/ jour	175.00	169.00	206.00	203.00
Ingestion, g MS/j/P0.75	89.00	109.00	108.00	110.00
Indice consommation, kg MS/kg gain	9.29	10.94	9.04	9.24

- (1) Chaque lot est composé de 10 moutons mâles, âgés de 15 à 16 mois
- (2) Les animaux reçoivent 200 g de foin de vesce-avoine par jour et les concentrés à volonté
- (3) L'essai a duré 90 jours

Alors que le remplacement de 40% d'orge par 40% de grignon non traité dans le concentré distribué ad libitum à des moutons recevant par ailleurs 200 g/ j de foin n'a pas modifié leur croissance, le traitement avec 4% de soude a permis une augmentation du gain de poids et une amélioration de l'indice de consommation. L'addition d'urée n'a pas modifié ce résultat. Les différences ne sont cependant pas spectaculaires. Ceci peut provenir du fait que la proportion de grignon reste limitée; 40% de la ration, que le reste de la ration est assez riche (environ 50% d'orge et 8% de mélasses) et que la proportion de soude est sans doute trop

faible: 4% seulement (voir paragraphe 252). Il est douteux que dans les circonstances économiques actuelles ce traitement à la soude soit rentabilisé par cette amélioration limitée des performances.

### **b) Utilisation des grignons comme combustible**

Elle a représenté et représente encore dans la majorité des pays, l'application la plus courante. En réalité le grignon d'olive est un combustible de valeur calorifique moyenne (2950 Kcal/kg). Cette quantité de chaleur est apportée principalement par la coque qui représente 60% du total et qui a un pouvoir calorifique relativement élevé (4000 Kcal/kg). La pulpe n'apporte que peu de calories.

### **C) Utilisations possibles de la coque**

Après séparation, la coque peut-être utilisée comme combustible ou comme matière première pour la fabrication du furfural. Elle peut aussi être utilisée dans l'industrie du bois (fabrication de panneaux de particules). Les informations dignes d'intérêt sont celles relatives

à l'industrie du furfural. La coque séparée des grignons a un contenu en pentosanes de 26% ce qui représente 15% de furfural de la matière première humide. Le procédé d'obtention du

furfural peut être continu ou discontinu, mais de toute façon l'obtention d'un rendement adéquat, pour rentabiliser l'opération, n'est pas encore atteint. La principale difficulté de ce procédé reste le prix de la coque (coût de la séparation, utilisation concurrentielle comme combustible,...).

### **4.2 Feuilles et rameaux**

Feuilles et rameaux sont utilisés frais de façon traditionnelle dans de nombreux pays et peuvent constituer une ressource fourragère non négligeable. La composition chimique des feuilles et rameaux dépend de nombreux facteurs (variété d'oliviers, conditions agroclimatiques, époque de prélèvement de l'échantillon, et finalement des différents traitements subis).

D'une manière générale ces différents coproduits présentent des caractères relativement homogènes et bien définis:

- La matière sèche des feuilles vertes se situe autour de 50%, celle des feuilles sèches autour de 90% ;

- La teneur en matières azotées totales est faible: de 7 à 8% pour les feuilles sèches ou ensilées, légèrement supérieure pour les feuilles vertes ;
- La teneur en matière grasse d'environ 6% est supérieure à celle des fourrages classiques ;
- La teneur en cellulose brute est variable et relativement modérée ;
- La teneur en constituants pariétaux augmenté sensiblement avec la proportion de bois surtout le teneur en lignocellulose, le taux de lignine paraît stable: 18 à 19%.

#### 4.2.1 Valeur alimentaire des feuilles et rameaux d'olivier

Des travaux plus récents effectués principalement en Espagne pour mesurer la digestibilité des feuilles et rameaux de différents types sont résumés dans le tableau suivant:

**Tableau VII** : Coefficient de digestibilité de différents types de feuilles et rameaux d'olivier

coproduit	Mat.Sèche	Mat.Orga.	Mat.Az.totales	Cellulose brute	Mat.Grasse
Rameau vert	57	60	32	46	51
Rameau sec	52	55	13,5	27	16
Feuilles vertes	54*	-	-	-	-
F.séchées à l'air	54*	47*	-	-	-
" + 8,8% bois	36,5	39	<0	-	-
" + 11,4% bois	47,2*	-	-	-	-
" + 15% bois	-	42	7	36	29
" + 22,6% bois	30,5	32	<0	-	-
Feuilles ensilées, avec 8,8% bois	40*	29,5	<0	-	-

\* Digestibilité in-vitro; dans les autres cas: digestibilité in-vivo

La digestibilité des rameaux séchés apparaît légèrement plus faible pour la matière sèche et la matière organique et beaucoup plus faible pour les matières azotées par rapport aux rameaux frais.

### 4.2.3 Valorisation des feuilles et rameaux

#### a) Utilisation des feuilles et rameaux en alimentation animale

Comme souligné précédemment feuilles et rameaux sont distribués traditionnellement aux animaux soit à l'auge, soit au champ, dans les régions productrices d'olives. Il est difficile d'évaluer le pourcentage réservé à cet usage et celui-ci varie considérablement d'un pays à l'autre. De toute façon la distribution ad-libitum aux ruminants ne pose aucun problème particulier, si ce n'est la valeur nutritive limitée de ce fourrage.

Peu de véritables expériences ont été réalisées dans ce domaine. Nigh (1980) a rapporté qu'en Crête au Centre de Kolymberi, les feuilles d'oliviers collectées au niveau de l'huilerie étaient distribuées fraîches (datant de moins de 2 jours), à raison de 15 kg par jour à des vaches. Zoïopoulos (1983) a noté qu'actuellement le niveau de distribution de ces feuilles fraîches a atteint 30 kg/j en deux repas. Des quantités similaires sont distribuées sous forme d'ensilage après la période de récolte. Bien que des contrôles précis n'aient pas été effectués scientifiquement, l'auteur indique un effet positif sur la production laitière. Les feuilles fraîches sont parfois aussi distribuées à des truies. Les feuilles et brindilles fraîches ont été distribuées en Grèce à des moutons et chèvres à des taux de 6% du poids vif constituant le seul fourrage, et jusqu'à 10% à des lapins (Kalaisakis, 1975). Cependant Zoïopoulos (1983), suggère que le niveau optimum serait de 2,5% du poids vif pour les ruminants.

En Espagne Muñoz et *al.* (1983) étudiant des rations ad-libitum de feuilles séchées distribuées à des agneaux de 36 kg avec un supplément d'orge et un complément protéique de farine de poisson (230 g/agneau/ jour) ont obtenu des croissances de 77 g/ j contre seulement 40 g avec de l'urée, le lot témoin recevant du foin de luzerne et 200 g d'orge ayant un croît de 154 g/ j ceci sur une durée de 90 jours. En ce qui concerne les feuilles séchées, Alibes et *al.* (1982) recommandent une utilisation comparable à celle des fourrages pauvres comme la paille, c'est-à-dire avec un supplément protéinique, un léger apport d'énergie facilement fermentescible et finalement une complémentation minérale.

Dans le cas des feuilles fraîches, la situation serait plus avantageuse spécialement pour les chèvres.

## 4.3 Valorisation des margines

### 4.3.1 Caractéristiques physiques et chimiques des margines

Les margines posent un sérieux problème de contamination pour tous les pays oléicoles. Il est en relation avec l'industrie et l'environnement. Sachant qu'un habitant correspond environ à 54 g de DBO par jour, 1 mètre cube de margine équivaut à la pollution engendrée par 1200 habitants. 25 à 40 millions de mètres cubes de margine sont produits annuellement, dont 90% sont localisés dans le bassin méditerranéen et déversés dans la nature sans traitement préalable. De plus, les nouveaux systèmes d'extraction de l'huile (centrifugation) multiplient par 3 la quantité d'eau utilisée et donc de margine. Le problème de la valorisation des margines est donc inquiétant et se pose en termes de préservation de l'environnement.

L'utilisation d'une telle technique ou une autre ne doit pas être considérée uniquement sous l'angle de la rentabilité économique mais surtout doit tenir compte de l'efficacité d'épuration. Il est impossible de développer de manière exhaustive l'ensemble des techniques actuellement testées, on se limitera à rappeler les caractéristiques de ce résidu et évoquer les procédés d'épuration les plus prometteurs.

Les composés fondamentaux des margines sont l'eau (83,2%), les substances organiques (15%) et les substances minérales (1,8%). Ils contiennent en moyenne 170 kg de résidus secs par mètre cube. Ces résidus secs contiennent 20 kg de substances minérales et 150 kg de substances organiques. Les substances minérales sont composées de 0,6 à 2 kg d'azote, 0,1 à 0,5 kg de phosphore, 1,2 à 3,6 kg de potassium et de 0,05 à 0,2 kg de magnésium.

Les substances organiques contiennent principalement, 50 kg de sucres (fructose, glucose, saccharose, ...) et 0,3 à 10 kg d'huile résiduelle. L'autre caractéristique des margines est la très grande variabilité de leur composition et partant leurs propriétés.

Les paramètres définissant le pouvoir polluant du produit n'échappent pas aussi à cette variation. Il s'agit du DBO (demande biologique en oxygène) (22000 à 110000 mg/ml), la DC0 (demande chimique d'oxygène) (40000 à 200000), les résidus solides (3 à 10%) et les solides insolubles (0,04 à 0,596).

Les substances phénoliques contenues dans les margines sont potentiellement toxiques et inhibent le développement des microorganismes aussi bien en présence ou en l'absence d'oxygène. Vazquez Roncero et *al.* (1970) ont identifié un certain nombre de flavonoïdes, de phénols et des glucosides phénoliques. Il s'agit en particulier, de l'oleuropéine qui a la 54

propriété d'inhiber le développement de certaines bactéries, dont des lactobacilles et des champignons comme les Geotrichum, Rhizopus et Rhizoctonia.

#### 4.3.2 Traitements des margines et quelques utilisations potentielles

Les dix dernières années ont vu se multiplier le nombre de chercheurs qui travaillent sur l'utilisation des margines dans les domaines de la biotechnologie, de la chimie, de l'agriculture et voire même du bâtiment.

##### a) Biodégradation naturelle des margines dans des bassins ouverts

Ce procédé d'évacuation consiste à accumuler les margines dans des bassins pour qu'elles s'évaporent et éviter ainsi leur déversement dans la nature. L'inconvénient que peut revêtir cette méthode d'évacuation est qu'en essayant d'éviter une pollution hydrique, nous risquons de provoquer une pollution de l'environnement en raison des problèmes de manque d'esthétique et de mauvaises odeurs que présentent les bassins d'évaporation.

##### b) Valorisation des margines par récupération de quelques composants

L'expérience dans ce domaine est très récente. Il s'agit, en particulier de la récupération des composants aromatiques et phénoliques et des solutions de glucides. Les extraits phénoliques obtenus ont été comparés aux antioxydants de synthèse les plus connus (BHA, BHT), dans des essais de résistance à l'oxydation. Il a été constaté que l'addition de l'extrait des margines protège de l'oxydation de l'huile de manière plus efficace que l'addition du BHA. La fraction de margine dépourvue de ces composants phénoliques et aromatiques peut être utilisée pour la production de biomasse.

##### c) Obtention des protéines unicellulaires

Ce procédé ne manque pas d'intérêt car il se traduit par une diminution de la DBO (60 à 70%) et l'obtention de 13 kg de levure par mètre cube de margine. De plus, les cellules de levure absorbent le colorant brun des margines qui empêche l'épuration parfaite des eaux polluées.

##### d) Obtention de biogaz

Ce processus de digestion anaérobie 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. C'est ainsi que 1 m<sup>3</sup> de margine à 70 kg de DC0 produit quelque 24,5 m<sup>3</sup> de méthane (rendement du DC0 en méthane de 60% ou, 1 kg de DC0 produit 0,35 m<sup>3</sup> de méthane). Un procédé par "contact" a été testé dans plusieurs conditions, du stade expérimental au stade unités pilotes, et utilisant des margines de

15 à 70 kg DCO/m<sup>3</sup> ainsi que des digesteurs de 3 à 70 m<sup>3</sup> de capacité. L'efficacité de l'épuration exprimée en % du DCO a été de 80 à 85%.

### e) Utilisation des margines comme fertilisant

De part leur teneur élevée en minéraux, les margines peuvent être utilisées comme fertilisant. Elles apportent 3,5 à 11 kg de K<sub>2</sub>O, 0,6 à 2 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 0,15 à 0,5 kg de MgO par m<sup>3</sup>. Les essais réalisés permettent de fixer certaines précautions à savoir :

- \* Ne pas dépasser la dose de 30 m<sup>3</sup>/halan.
- \* Arroser toujours entre les arbres.
- \* Pour les cultures annuelles, arroser au moins 1 mois avant les semailles, pour éviter les effets phytotoxiques et ne jamais arroser pendant la période de végétation.

### f) Production d'enzymes

La croissance de *Cryptococcus albidus* sur margine durant 48 h élimine environ 75 % de la DBO tout en produisant de la biomasse et des enzymes (13 U/ml). La production d'enzymes atteint jusqu'à 29,5 U/ml après élimination des polyphénols par floculation. Ces enzymes ont été testés pour l'amélioration du système d'extraction d'huile d'olive. L'addition de 2 litres d'une solution de ces enzymes concentrée par ultrafiltration (90 UV/ml) pendant un cycle de broyage, a augmenté le taux d'extraction de 84,3 % à 90,7 %.

### g) La fermentation méthanologique des margines

Les tentatives précédentes de dépollution paraissent très coûteuses. Cependant, le traitement anaérobie par fermentation méthanique apparaît comme une solution possible alliant les avantages de la dépollution à ceux de la production d'énergie. C'est pourquoi la digestion anaérobie est particulièrement étudiée. En 1977, Anderson *et al.* ont établi la faisabilité de la digestion anaérobie de certaines eaux résiduaires d'industries agro-alimentaires; les margines ont donné de bons résultats. En effet, Fiestas *et al.* (1982) ont montré que lors de la méthanisation des margines dans un digesteur pilote de 68 m<sup>3</sup> la productivité en biogaz a été de l'ordre de 0,838 m<sup>3</sup>/l. j. et le rendement de 25 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de d'effluent traité. Ce méthane produit a donné 85,5 KWh et 2,85 m<sup>3</sup> d'eau chaude à 80 °C.

Cependant, le problème rencontré par tous les auteurs a été le démarrage de leurs digesteurs.

La stabilisation des digesteurs est très longue si les margines sont concentrées. De

plus, durant le démarrage, quand on ajoute la margine, l'acidification par les microorganismes augmente

rapidement et la méthanisation est inhibée à la fois par l'acidité et par les composés phénoliques. Ces mêmes auteurs ont noté que les problèmes de démarrage pouvaient être résolus en diluant la margine et en ajoutant de l'urée.

Plusieurs travaux portant sur la digestion anaérobie des margines par différents procédés ont été réalisés. Les résultats montrent que les procédés contact-anaérobie sont peu performants. Puisque la pollution contenue dans la margine est principalement soluble et colloïdale (90 %), le procédé UASB a donné les meilleurs résultats. Cependant, les charges maximales maintenues après le démarrage sont plus faibles quand les margines sont concentrées et les granules décrits par Lettinga *et al.* (1980) n'ont pas été obtenus.

## II.3. Valorisation des coproduits d'abattoir « le cas de la Volaille »

### 1. Processus d'abattage

On procède d'abord à l'accrochage de la volaille, puis on procède à l'étourdissement, saignée, échaudage, plumaison, éviscération, refroidissement, calibrage, conditionnement et stockage réfrigéré avant expédition (figure 1).

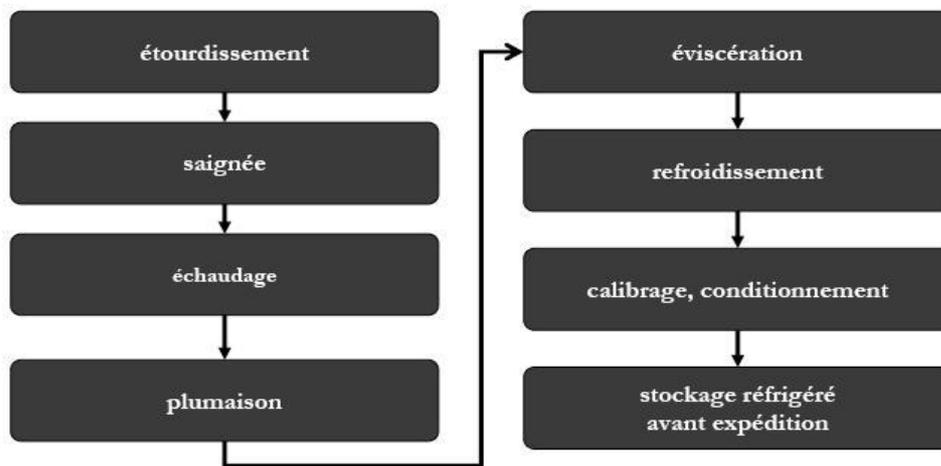


Figure 7 : Description du processus d'abattage

- **Étourdissement** : On peut utiliser de l'électricité à Bas voltage (70 à 100 V) : bain d'eau,

système manuel (Électrodes appliquées sur la tête), couteau électrifié ou à Haut voltage (500

V) : plaque métallique, inclinée et électrifiée disposée dans une enceinte pour protéger le personnel. Comme on peut utiliser un système de bain d'eau à bas voltage ; utiliser l'Eau

propre, tête de la volaille non complètement immergée (sinon aspiration vers les sacs aériens).

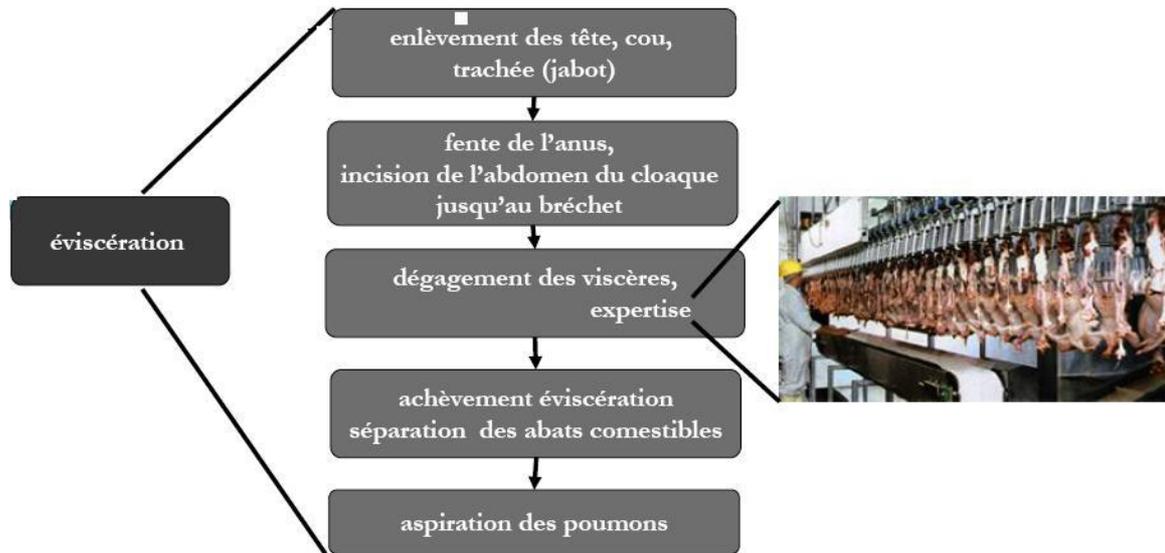
-**Saignée** : Il s'agit d'une Incision sur le côté du cou (couteau, lame de scie circulaire, Cône de saignée) ou bien d'une saignée des volailles au moyen d'un Cône de saignée.

Concernant la récupération, la moitié du volume sanguin de la volaille est égale à  $\pm 3,5$  % par rapport au poids vif à l'abattage.

-**Échaudage et plumaison** : L'échaudage et la plumaison se fait dans un bain d'eau chaude à des températures idéales 62-63 °C, l'avantage est que la plumaison est facilitée ainsi que la

destruction de *Salmonella* et *Campylobacter*, l'inconvénient réside dans l'enlèvement des couches superficielles de l'épiderme (taches sur la peau après réfrigération « freeze burning »).

-**Éviscération** : l'éviscération est schématisée dans la figure 2.



**Figure 8 : Schéma récapitulatif de l'éviscération**

Dans les abattoirs et des ateliers de découpe et de transformation de volailles, les déchets

sont les plumes, les boyaux, les ailerons, les pattes, les têtes et le sang. Les carcasses après levée des filets et des cuisses représentent un volume important. Dans le cas des productions de palmipèdes gras, ces carcasses très riches en matières grasses sont traitées dans des fondoirs.

## 2. Valorisation des plumes de volaille

Les plumes d'oiseaux terrestres (volailles) représentent entre 4,5 et 6,2% en poids sec du poids vif de l'animal. Les quantités de plumes annuelles provenant de l'abattage d'oiseaux terrestre représentent plus de 250 000 tonnes de plumes humides soit l'équivalent de 75 000 tonnes par an de plumes sèches (soit l'équivalent d'environ 75 000 tonnes de plumes sèches hors résidus).

Ces plumes étaient autrefois valorisées en farines destinées à la consommation animale. La forte teneur en protéines de la plume conférait à la farine de plumes une valeur marchande proche de celle de la farine de soja.

## 1 Procédés de valorisation

Le principal débouché des déchets de plumes issus de l'abattage d'oiseaux terrestres est la transformation en farines animales.

Sur les 250 000 tonnes de plumes humides « crues » issues de l'abattage d'oiseaux terrestres, 5000 tonnes (2%) sont valorisées par la société Bretagne Chimie Fine pour la fabrication d'acides aminés. Ce procédé permet d'obtenir de la cystine (principe actif de l'industrie pharmaceutique), de la tyrosine (principe actif utilisé dans la nutrition infantile et sportive) à partir de l'hydrolyse de la kératine. 245 000 tonnes de plumes humides sont transformées en farine de plumes hydrolysée. La production de farine de plumes représente 76 500 tonnes en 2001.

Les farines de plumes produites en 2001 ont été principalement stockées du fait de la saturation des installations d'incinération. De plus, les farines de plumes sont difficilement valorisables en alimentation pour animaux familiers. De fait, la destination des 76500 tonnes de farines produites en 2001 est ainsi proche de la répartition suivante :

Incinération : 10%, Fabrication d'aliments pour animaux familiers : <5%, Stockage : 85% et Fabrication d'engrais : <5%.

Les principaux débouchés de la valorisation des plumes de volaille en France sont résumés dans la figure suivante :

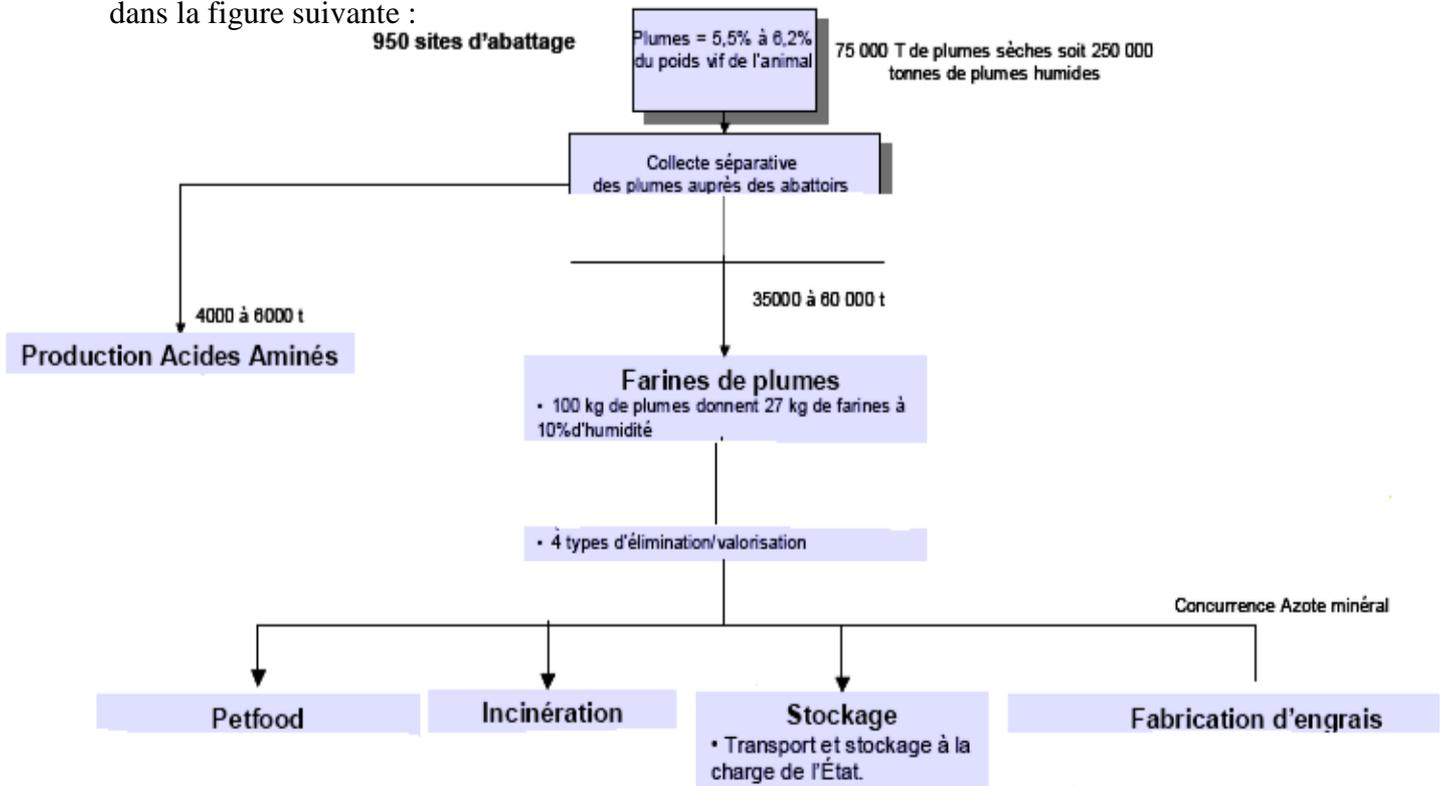


Figure 9 : Débouchés de la valorisation des plumes de volaille en France

Il existe trois types de valorisation :

Filière/valorisation	Valorisation organique	Valorisation énergétique	Recyclage matière
Déchets d'abattage d'oiseaux terrestres – plumes	Compostage	Transformation en farine puis stockage / incinération à terme.	Kératine, acides aminés

### 2.1.1. Valorisation organique : compostage et production d'engrais

La valorisation organique concerne essentiellement le compostage et la production d'engrais. Les plumes ont une très forte teneur en matière azotée (10%) et constituent de ce fait un composant intéressant pour disposer d'unités fertilisantes. Cette « richesse » en matière azotée est plus importante que celle qu'on trouve dans les effluents d'élevage (3%).

Ce sont les fabricants d'engrais biologiques qui manifestent le plus d'intérêt par rapport à l'utilisation des plumes pour la fabrication d'engrais. Leur utilisation comporte cependant des contraintes :

- Forte teneur en matière azotée d'où nécessité d'associer les plumes à du lisier riche en matière organique ou à des déchets verts ;
- Concurrence avec les effluents (fientes de volailles, également riches en matières azotées et dont l'utilisation est subventionnée) ;
- Limite du marché (demande de l'agriculture biologique, pression sur les prix)
- Temps de décomposition des grandes plumes (4 à 6 mois) ;
- Contraintes réglementaires : nécessité de traitement thermique des plumes pour la fabrication d'engrais biologique, besoin de clarification des exigences réglementaires pour l'utilisation de plumes sorties d'abattoirs (fraîches) dans le compost ;
- Contrainte économique du prix de vente des farines (influence de la subvention de l'état).

### 2.1.2 Recyclage matière

**-Production d'acides aminés :** La production d'acides aminés à partir de plumes repose sur un procédé particulier nécessitant un outil dédié (opération d'hydrolyse de la kératine à l'aide

de HCl puis de NaOH). Cette opération permet d'obtenir 3 produits : la Cystine : principe actif de l'industrie pharmaceutique, la Tyrosine : principe actif utilisé dans la nutrition

infantile et sportive, la Kéramine (solution d'AA, constituée de 70% d'eau, de 16% d'AA et de 14% de NaCl). Il faut près de 10 tonnes de plumes séchées pour produire 400 à 500 Kg de cystine.

Cette activité génère par ailleurs d'importants effluents, chargés en sel. Ainsi, le traitement d'une tonne de plumes séchées génère 50 à 60 kg de kéramine.

**-Applications des sous-produits kératiniques dans des fibres textiles :** la valorisation se fait sur la totalité de la plume (picots et plumes). L'utilisation d'un procédé de transformation mécanique et chimique permet de générer un polymère filable.

Ces coproduits répondent a priori à une demande d'innovation forte des industries textiles à la recherche de nouvelles sources de produits à forte valeur ajoutée.

Les propriétés de ces nouvelles fibres sont par exemple une résistance accrue des teintures à la lumière pour des étoffes claires en fibres kératiniques.

## 2.2 Plumes de volaille hydrolysées

Les plumes de volaille ne sont pas digestibles par les monogastriques. Cependant, après hydrolyse par cuisson à haute température sous une pression suffisante, leur digestibilité est très satisfaisante. Ce traitement leur permet également de bien se conserver et, contrairement aux plumes brutes, la farine ne pourrait pas. L'insolubilité des plumes est essentiellement due au fait que la kératine dont elles sont constituées à une forte teneur en cystine. Le passage à l'autoclave détruit cet acide aminé et en fait passer la teneur de 10% à environ 3,5%, rendant ainsi les plumes plus solubles et plus digestibles. La digestibilité des protéines brutes des plumes hydrolysées varie entre 75 et 80%.

La qualité du produit dépend largement de l'efficacité du processus d'hydrolyse. Le défaut de cuisson donne un produit contenant encore des plumes crues non digestibles, l'excès de cuisson diminue la digestibilité et réduit le rendement des protéines brutes. Le traitement des plumes peut se faire, soit à basse pression (130° C) en 2 heures et 30 minutes, soit à haute pression (145° C) en 30 minutes. Après cuisson, le produit est séché à 60° C environ, puis moulu et passé au tamis à mailles. Si l'on ne dispose pas de l'équipement nécessaire à la cuisson sous pression, les plumes peuvent être hydrolysées par voie chimique. On les fait bouillir à l'air libre 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. Le résidu protéique solide peut être utilisé après séchage.

La poudre de plumes hydrolysées peut fournir une partie des protéines dans l'alimentation des ruminants. Il en a été employé jusqu'à 10% dans les concentrés pour vaches

laitières. L'introduction brutale de ce composant dans la ration peut être la cause d'une réduction de la consommation. Il semble que, si l'on procède au contraire graduellement, les difficultés sont moindres. Comme ce produit est carencé en plusieurs acides aminés essentiels, il est nécessaire de faire appel à d'autres ingrédients pour corriger ces déficiences. Cela veut dire en pratique que la dose de plumes hydrolysées que l'on peut incorporer à la ration des monogastriques ne doit pas dépasser 5%. Si les protéines de la ration sont fournies par des tourteaux oléagineux de qualité médiocre, il y a lieu d'ajouter 2,5% de farine de poisson en complément de la farine de plumes.

Les procédés identifiés comme voie potentielle de valorisation matière ou de valorisation organique des plumes sont les suivants: (tableau I)

**Tableau VIII** : Procédés de valorisation matière et organique

	Valorisation matière	Valorisation organique
Déchets de plumes d'oiseaux terrestres 250 000 tonnes de plumes humides	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extraction kératinique pour la fabrication de peinture résistante à la lumière (projet européen)</li> <li>Polymérisation des fibres de plumes</li> <li>Filage de la matière kératinique (applications textiles)</li> <li>Fabrication de textile non tissé avec nappage de plumes – Naptural</li> <li>Fabrication de papier à base de plumes</li> <li>Isolation thermique, phonique, lumineuse (secteur automobile, construction...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fabrication d'amendement organique (compost) à partir de plumes sèches (déchets de l'industrie d'anoblissement) ou humides (déchets d'abattage d'oiseaux terrestres) ou de farines de plumes hydrolysées</li> <li>Fabrication d'engrais à partir de farines de plumes hydrolysées</li> <li>Hydrolyse enzymatique des plumes pour fabrication de farines propre à l'alimentation animale</li> </ul>

### 3. Valorisation du sang de volaille

Le sang représente une part importante des pollutions que génèrent les abattoirs. Avant d'être considéré comme un déchet, il peut être utilisé en tant que sous-produit : voir tableau II

**Tableau IX:** Valorisation du sang de volaille

SOUS-PRODUITS		UTILISATIONS
<p><b>SANG ENTIER</b></p> <p><i>Le sang représente une charge polluante importante. Sa valeur alimentaire élevée (matières protéiques, matières grasses, matières minérales) en fait un produit très utile en alimentation s'il est collecté dans de bonnes conditions sanitaires. Une saignée suffisante peut déjà réduire les pertes de sang dans des mesures considérables</i></p>	Sang entier liquide	<p>=&gt; utilisation directe en élevage: celui-ci ne nécessite pas de transformation industrielle très coûteuse en investissements et en énergie, mais attention : le sang liquide a une conservation limitée par suite de la contamination initiale du sang par les germes néfastes et pathogènes.</p> <p>=&gt; utilisation en alimentation humaine : fabrication du boudin</p>
	Sang entier séché	<p>=&gt; industrie des engrais: le sang séché est un produit organique très riche en azote qu'on peut utiliser comme engrais. Mais le prix est supérieur à celui d'autres matières premières entrant dans la fabrication des engrais organo-minéraux. C'est pourquoi l'usage comme engrais est limité.</p> <p>=&gt; alimentation animale</p> <p>=&gt; addition dans le béton: on peut utiliser le sang séché pour obtenir des matériaux allégés pour certaines applications (isolation phonique). Le marché de ces bétons reste néanmoins très faible.</p>

Les procédés sont intéressants, mais les investissements très élevés nécessitent une capacité d'abattage de 20,000 tonnes par an. La valorisation du sang doit néanmoins obéir à certaines contraintes telles que les quantités, la qualité, l'hygiène et la conservation. Lesquelles nécessitent de la part de l'abattoir une attention permanente sur la méthode de récupération.

### 3.1 Procédé de valorisation et de transformation du sang issu d'abattoir de volailles

A partir de 1000 kg de poids vif, on obtient 6 kg de farine de sang. Les méthodes modernes de production comportent le séchage en couches fluidifiées, la lyophilisation, ou le séchage dans un courant d'air chaud sur un support poreux. Ces procédés donnent une poudre soluble à l'eau, que l'on désigne souvent sous le nom de "farine de sang", pour la distinguer du sang en poudre ordinaire, moins soluble. A l'échelle semi-industrielle, le sang en poudre est obtenu par coagulation, à la vapeur ou par ébullition durant vingt minutes, prélèvement des caillots, séchage et broyage. Il faut éviter que la température dépasse 120 °C au cours du traitement.

Si l'on ne dispose que de faibles quantités de sang, on le recueille dans des marmites que l'on fait bouillir à feu libre jusqu'à coagulation et à évaporation totale. Il faut procéder lentement et en remuant constamment. Le sang en poudre est alors étendu sur une aire cimentée pour refroidir et finir de sécher.

Un autre mode d'utilisation du sang consiste à le faire absorber par de la recoupe (le blé, de la farine d'agrumes ou du son de riz) puis à faire sécher ce mélange sur des claies chauffantes, ou tout simplement au soleil. La matière végétale à faible teneur en protéines est ainsi enrichie. Le procédé peut être répété plusieurs fois. On peut aussi coaguler le sang par addition de 1% de chaux vive ou 3% de chaux éteinte et dessécher le coagulat. L'utilisation de sang caillé plutôt que de sang entier pour la fabrication du sang en poudre fait perdre 10% à 15% de la matière sèche et beaucoup de sels minéraux. Le sang en poudre provenant de sang entier contient plus d'isoleucine, l'un des acides aminés essentiels. Le sang peut être conservé près d'une semaine par addition de 0,7% d'acide formique ou sulfurique. Par addition supplémentaire de 0,5% de méta bisulfite de potasse, on peut le conserver jusqu'à quelques mois avant utilisation dans l'alimentation.

Le sang en poudre ne se conserve bien que si sa teneur en eau est comprise entre 10%-12% environ. Si elle est plus élevée, la poudre chauffe, se prend en masse et peut même fermenter en magasin. Si elle est très inférieure, la poudre noircit par destruction de l'hémoglobine. - **Utilisation** : Le sang en poudre ne contient que peu de matières minérales, mais il est très riche en protéines dont la composition en acides aminés est plutôt déséquilibrée. On ne l'utilise en général qu'à doses inférieures à 5% dans l'alimentation des porcins et de la volaille. Il est rare qu'il en faille davantage et il peut d'ailleurs provoquer des diarrhées. On peut l'employer à doses plus élevées pour les bovins et le substituer au lait pour les veaux. Dans ce cas, il ne devra pas représenter plus de 50% des protéines, cela en raison de sa faible appétibilité. Le sang frais mélangé à raison de 2:1 à des déchets d'abattoir hachés, est utilisé avec succès pour l'alimentation de la volaille. On en a donné jusqu'à 0,7 kg/jour, tel quel ou traité à l'acide, à des porcs auxquels il a fallu quelques jours pour s'habituer à cette nourriture. La digestibilité du sang est très élevée. Celle des protéines brutes pour les porcs est de 88% pour la farine de sang, 72% pour le sang en poudre, 90% pour le sang frais et 95% pour le sang traité à l'acide. Pour les bovins, ces chiffres sont quelque peu plus élevés.

#### 4. Valorisation des viscères de volaille

Les déchets viscéraux peuvent trouver une utilisation dans les engrais agricoles. Les procédés de récupération et de transport à sec (pneumatique ou mécanique) évitent le contact avec l'eau et par conséquent sa pollution. La valorisation traditionnelle par épandage soulève des craintes de dissémination de maladies. Le compostage en mélange avec des écorces de bois ou des rafles de maïs permet d'atteindre, lors de la phase fermentaire, des températures élevées et donc de résoudre ce problème en stabilisant le produit.

Un procédé biologique permettant la transformation de ces déchets en un produit stable à été mis au point en se basant sur l'utilisation de bactéries lactiques et de levures acidifiantes possédant un fort pouvoir fermentatif.

Dix souches de bactéries lactiques et onze de levures ont été isolées. La bactérie lactique LBL1 et la souche de levure LSS1 ont été retenues pour constituer le levain de fermentation. Leur association permet une réduction du temps de fermentation et l'obtention d'un produit fertilisant de qualité hygiénique satisfaisante. La stabilisation a été obtenue après dix jours de fermentation. Le pH atteint alors 3,9 avec une acidité de 1,4 %, l'azote total est de 2,2 %, le potassium de 56,5 %, le phosphate de 10 %. Les coliformes sont absents et les staphylocoques et streptocoques sont à un niveau non inquiétant (<10 UFC/g).

## 5. Valorisation des os issus d'abattoir de volaille

Les os, après broyage et dégraissage, pourront être utilisés pour la fabrication de gélatines. Celles-ci sont beaucoup employées par l'industrie alimentaire, l'industrie photographique, l'industrie papetière, l'industrie textile et l'industrie pharmaceutique.

- **Poudre d'os** : Les os convenant à la fabrication de ce produit peuvent provenir non seulement des abattoirs, mais des dépôts d'ordures municipaux et des restaurants. Un équipement simple permet de produire, soit de la poudre d'os bruts, soit de la poudre d'os

calcinés. La poudre d'os étuvés demande un matériel plus couteux.

-**Poudre d'os verts** : ce produit est obtenu par le séchage et le broyage d'os frais. Il ne faut pas l'utiliser dans l'alimentation du bétail car il est susceptible de transmettre des maladies.

-**Poudre d'os bruts** : ce produit est obtenu par ébullition des os frais à feu ouvert jusqu'à libération de tous les tissus adhérents. Les os sont ensuite séchés et broyés.

-**Poudre d'os étuvés** : dans ce procédé, les os sont cuits à la vapeur sous pression pour éliminer la graisse. Ils deviennent alors friables et se pulvérisent facilement.

-**Poudre d'os étuvés spéciale** : Cette poudre provient d'os dont le collagène a été extrait pour la préparation de gélatine et de colle.

-**Poudre d'os calcinés (cendre d'os)** : Ce produit est préparé en empilant les os sur un cadre métallique et en les brûlant, ce qui les stérilise et élimine toute matière organique. C'est la

seule manière recommandée pour tirer parti des os trouvés dans les déserts. Le produit, semblable à du charbon de bois, se pulvérise facilement.

Les poudres d'os apportent aux aliments du bétail du calcium et du phosphore. Elles constituent aussi de bonnes sources d'oligo-éléments. On peut soit les utiliser en mélange avec les concentrés, soit au champ, comme pierres à lécher.

## II.4 : Valorisation des coproduits de dattes

La datte a toujours été depuis les temps immémoriaux un éléments important de l'alimentation tant pour les humains que pour les animaux, sa production mondiale s'élève à plus de 58 millions de tonnes plaçant ainsi l'Algérie au 6<sup>ème</sup> rang des pays producteurs de dattes avec 470 000 t/an, dont 30% sont des dattes communes à faibles valeurs marchandes pour la plupart destinées à l'alimentation du bétail.

Les dattes sont particulièrement riches en sucre et en éléments minéraux, notamment en K, Ca et Mg nécessaire à la métabolisation des sucres avec une consommation de 2,5 Kg/h/mois. Les fruits de dattes, y compris les variétés sèches, sont un véritable concentré de calories avec plus de 50% de sucres par rapport à la matière sèche.

Aujourd'hui grâce aux procédés biotechnologiques, il est possible de valoriser les dattes communes de faible valeur marchande et de mettre sur le marché local et international, une nouvelle génération de produits à hautes valeurs ajoutées tel que le bioéthanol ou d'autres produits simples tels que le miel, le jus et les farines de dattes.

### 1. Définition et production de datte

La datte est le fruit comestible du palmier-dattier (*Phoenix dactylifera*). Le terme

« datte » dérive du grec ancien δάκτυλος / *dáktylos*, doigt, en référence à la forme de ce fruit. C'est un fruit charnu, oblong, de 4 à 6 cm de long, contenant un noyau allongé, marqué d'un sillon longitudinal. Commercialisée le plus souvent sous forme de datte sèche, sa répartition géographique est liée au climat chaud et aride des régions sahariennes du globe.

La production mondiale de dattes est illustrée dans le tableau suivant :

**Tableau X:** La production mondiale de dattes

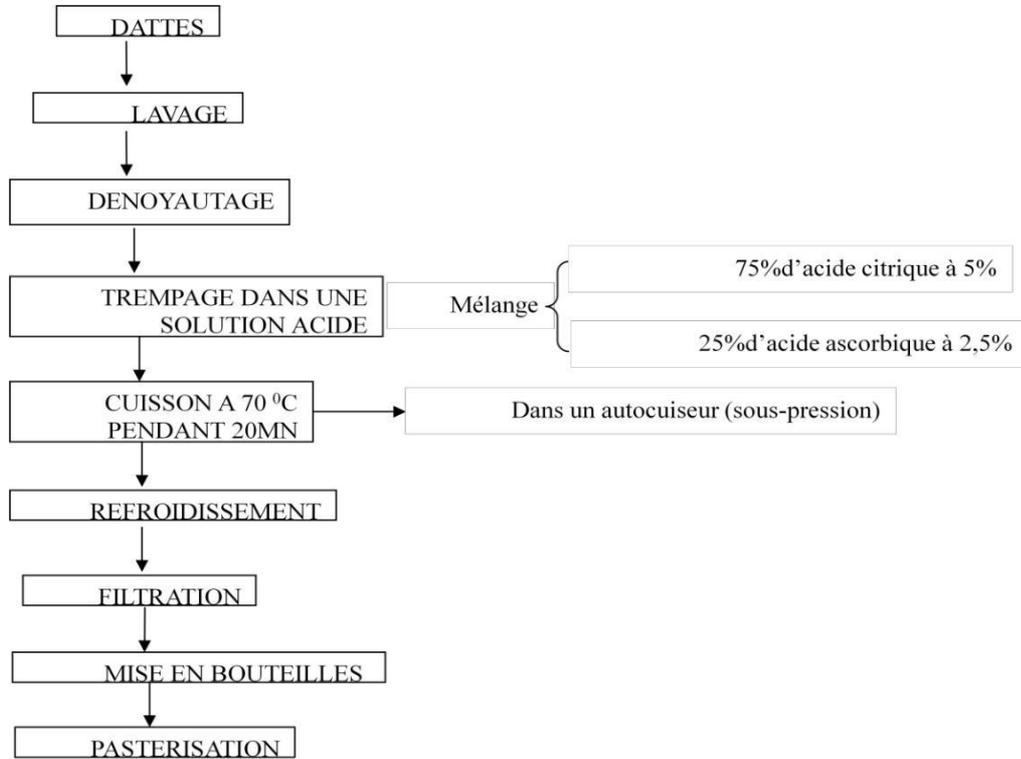
Égypte	<b>1100000</b>	<b>19 %</b>
Iran	<b>880000</b>	<b>15 %</b>
Arabie saoudite	<b>830000</b>	<b>14 %</b>
Émirats arabes unis	<b>760000</b>	<b>13 %</b>
Pakistan	<b>650000</b>	<b>11 %</b>
Algérie	<b>450000</b>	<b>8 %</b>

Soudan	<b>330000</b>	<b>6 %</b>
Oman	<b>238611</b>	<b>4 %</b>
Libye	<b>140000</b>	<b>2 %</b>
Tunisie	<b>110000</b>	<b>2 %</b>
<b>Autres pays</b>	<b>237457</b>	<b>4 %</b>
<b>Total</b>	<b>5851068</b>	<b>100</b>

## 2. Les différents coproduits de dattes

### 2.1 Jus de dattes

A partir des dattes on peut fabriquer du jus selon le procédé illustré dans la figure Suivante

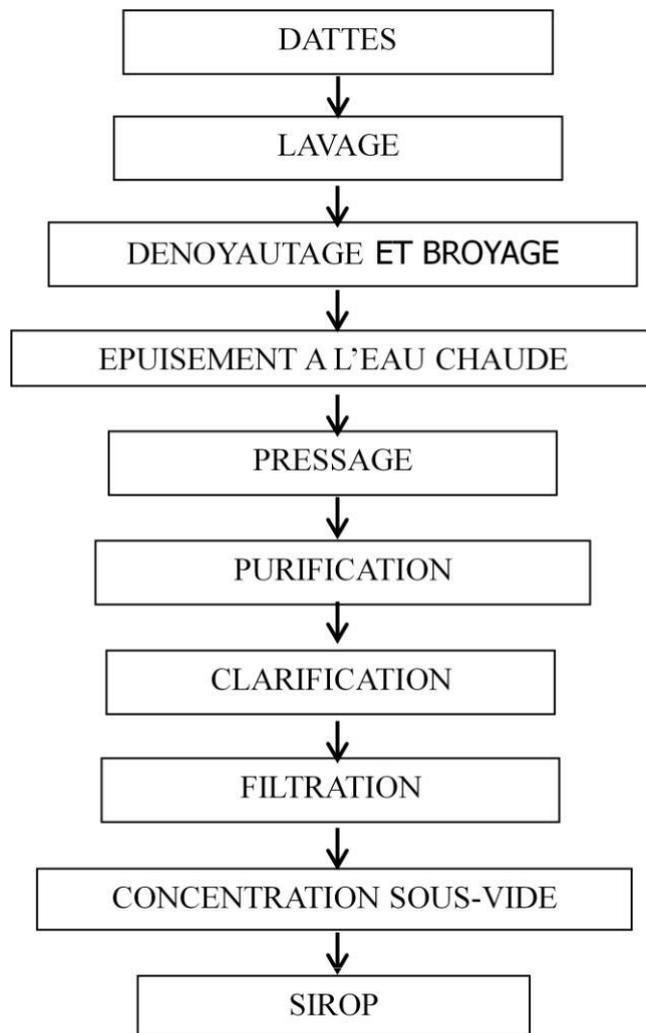


**Figure 10** : Fabrication du jus de dattes

Selon les travaux de Benahmed Dilali il a été possible de mettre au point un jus naturel à base de sirop de dattes (voir ci dessous) (Mech-Degla et Ghars) en combinaison avec un extrait de spiruline et jus de citron naturel.

## 2.2 Sirop de dattes

Le sirop de dattes est un produit liquide, concentré de couleur claire ou jaune vif, extrait à partir des dattes. Il est considéré comme source de sucre, en général constitué des éléments suivants : Fibres : 12 %, Eau : 15 %, Sucres : 65 %, Matière insolubles dans l'eau : 10 % et Matières solubles dans l'eau mais non des sucres : 8 %.



**Figure 10.** Schéma de fabrication du sirop de dattes.

Il existe des problèmes liés à la qualité du sirop de dattes citons :

- La couleur : L'obtention d'une couleur sombre est due aux réactions chimiques, entre les acides aminées et les sucres réducteurs à températures élevées (90°C). Les moyens d'y remédier, c'est le traitement aux températures faibles (à 80°C).
- La caramélisation : Elle est due à la caramélisation des sucres aux T°C élevée. L'acide citrique ou les dextrines ajoutées au sirop peut inhiber cette réaction.
- La gélatinisation : Elle est due à la présence des pectines ou gélatines dans le sirop qui donne un aspect de gelée. L'ajout d'enzymes pectinolytiques peut détruire les pectines lors de l'opération de purification.
- La Fermentation : Elle est due à la présence de micro-organismes (Levures) dans le sirop. Le moyen d'y remédier, est de travailler dans un milieu hygiénique et stérile.

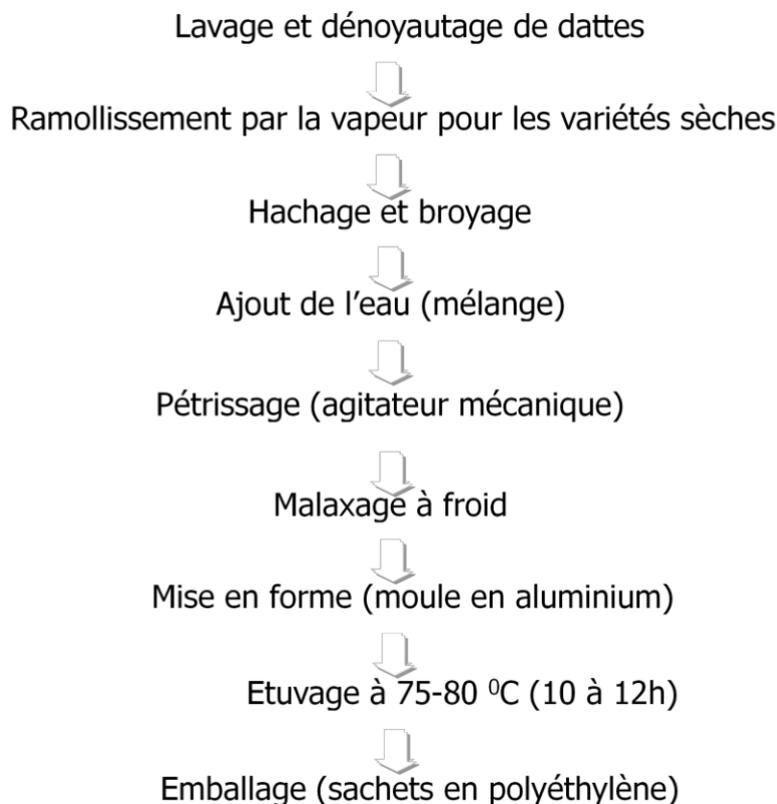
### 2.3 Pâtes de dattes

Les dattes sont constituées principalement de sucres et des sels minéraux et faibles en protéines, de se fait on peut améliorer ces pâtes par addition de produits riches en protéines, lipides et arômes. On obtient plusieurs produits tels que le TAMMAR-HEEP etc....

#### TAMMAR-HEEP

Le TAMMAR-HEEP est un produits issu de l'amélioration des pâtes de dattes en protéines (18%), en sels minéraux et en vitamines portés par la poudre du lait qui est additionnée a ces pâtes. Ce produit est obtenu par ELNAKHAL en Arabie saoudites, selon lui les meilleures quantités à ajoutées au mélange est de 50gr de lait en poudre par 400gr de pâtes de dattes.

La fabrication des pâtes de dattes est illustrée ci-dessous



**Figure 11.** Procédé de fabrication des pâtes de dattes

## 2.4 .Utilisation des dattes en pâtisseries et biscuiteries

- **Production de « KAMAR-EDDINE » de dattes**

La fabrication de KAMAR-EDDINE repose sur l'extraction du jus de dattes après ajout d'eau à raison de 25 Litres pour 10 kg de dattes.

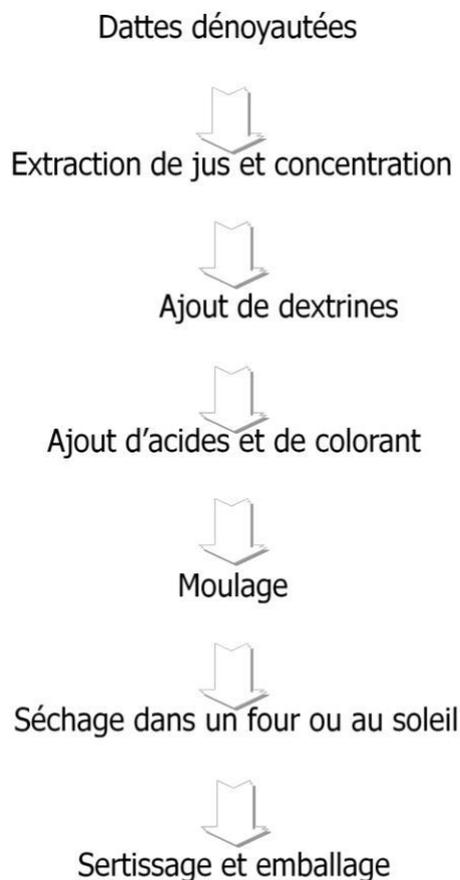
Ensuite on fait la concentration de jus. On peut aussi ajouter d'autres produits pour diminuer l'intensité de la couleur tel que : L'oxyde de soufre à raison de 20 ppm et on ajoute aussi un peu d'acide citrique pour donner un goût acide au produit. On sait aussi que l'acide citrique peut-être utilisé comme produit de conservation, on peut aussi ajouter de la Dextrine carboxyméthyl-Cellulose (C.M.C) et des colorants pour améliorer la couleur de ce dernier.

Les quantités de produits utilisées dans la préparation de KAMAR-EDDINE sont données dans le tableau suivant :

**Tableau XII :** Composition de la préparation de KAMAR-EDDINE

Ingredient (%)	Pâte de datte	Saccharose	Amidon	Acide	Cellulose	Colorant	Eau
	60	4	4	4	10	2	36

La Production de « KAMAR-EDDINE » de dattes est illustrée dans la figure suivante :



**Figure 12 :** Procédé de production de « KAMAR-EDDINE » de dattes.

### 2.5 Production d'acide citrique

L'acide citrique est largement utilisé dans les industries alimentaires et pharmaceutiques pour ses propriétés acidulantes. Il est aussi utilisé comme capteur des ions métalliques pour prévenir le développement d'odeurs et de goûts indésirables dans certains aliments.

L'acide citrique est aussi un composé majeur de l'industrie de fabrication de détergents écologiques. Il peut être utilisé dans les mélanges de ciment, les plastiques et dans beaucoup d'autres secteurs.

Aujourd'hui 99% de la consommation mondiale en acide citrique est produite par bioconversion. Le substrat de fermentation le plus utilisé est la mélasse. Cependant il est possible de substituer la mélasse par le mout de dattes de faible qualité marchande, l'étude entreprise par siboukeur et collaborateur en 2001 montre qu'il est possible de produire de l'acide citrique avec un rendement de 65,4%. La démarche suivie est expliqué ci-dessous :

### 2.5.1 Préparation du moût

Après lavage des dattes à l'eau du robinet, un égouttage puis un dénoyautage, les pulpes ont été découpées. Ces dernières ont ensuite été immergées dans de l'eau distillée à 80

- 85 °C, à raison de 3 kg/litre d'eau et portées au bain-marie pendant 45 minutes, sous

agitation continue. Une filtration et un pressurage ont permis d'extraire le maximum de jus. Une stérilisation humide réalisée à l'autoclave à 110 °C pendant 30 mn sous agitation continue permet de réduire la charge microbienne et de diminuer ainsi la compétition entre celle-ci et *Aspergillus niger*, sans provoquer la dégradation des sucres. Le moût ainsi obtenu est dilué de façon à ramener la concentration en sucres totaux à 14 % permettant d'obtenir de meilleurs rendements en citrate.

Dans un but comparatif, deux types de milieux ont été utilisés, l'un non enrichi M1, l'autre enrichi M2. Le milieu M2 a été enrichi avec les sels suivants dans les proportions indiquées : Mg SO<sub>4</sub> (0,15 g/l), KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (0,3g/l), Urée (1 g/l). Le pH est ajusté à 3,5 par une solution d'acide sulfurique normale. L'addition de 100 mg par litre d'oxytétracycline empêchera la concurrence des bactéries.

### 2.5.2 Préparation de l'inoculum

La souche *Aspergillus niger* est ensemencée stérilement dans 10 boîtes de pétri contenant 10 ml de milieu de malt gélosé. Après 4 jours d'incubation à 30 °C, des spores apparaissent à la surface du tapis mycénien. Elles sont récupérées dans de l'eau distillée stérile puis dénombrées à l'aide de la cellule de Thomas. La suspension fongique est ensuite diluée de façon à obtenir une concentration avoisinant  $1,5 \cdot 10^7$  spores/ml. Cette concentration suffit pour inoculer 50 ml de moût.

### 2.5.3. Inoculation du milieu de fermentation

3 litres de moût sont ensemencé avec la suspension fongique. La fermentation a été menée en aérobiose et suivie pendant 14 jours.

Des prélèvements d'une prise d'essai de 20 ml sont effectués tous les 2 jours. Ces derniers serviront à l'étude de la cinétique de production d'acide citrique, contrôlée par la détermination de : - la teneur en acide citrique, - la teneur en sucres résiduels, - l'évolution du pH, - du dosage de la matière sèche récupérée (masse mycélienne). En parallèle, une observation microscopique permet de contrôler le développement ainsi que toute contamination éventuelle. L'acide citrique est dosé par la méthode de Marier et Boulet 1958

## 2.6. Incorporation dans un dessert lacté

Les dattes sèches contiennent souvent une quantité considérable de l'eau (teneur en eau de 5%) qui doit être enlevée. Le séchage des produits alimentaires est un moyen important afin d'augmenter la résistance à la dégradation due à une diminution de l'activité de l'eau. Sécher les dattes communes à faible valeur marchande s'avère d'autant plus nécessaire afin de valoriser et de sauvegarder le patrimoine génétique et la biodiversité dans beaucoup de pays en voie de développement. Bien que, les desserts lactés frais sont issus d'une tradition gourmande familiale reposant sur de savoureuses recettes à base de lait. Leur préparation industrielle est relativement récente qui rassemble une multitude de produits très différents (cacao, carraghénane, amidon et sucre). Un processus de séchage de dattes Mech-Degla coupées en morceaux en vue de son éventuelle transformation en poudre. Au préalable le processus de séchage de dattes a été accompli en utilisant trois températures de l'air (65°C, 75°C, 85°C) dans le but est de ramener la teneur en eau de sa valeur initiale 15g/100 g (masse sèche) à une valeur finale souhaitée 0g/100 g (masse sèche), en vue atteindre un certain niveau de caramélisation souhaité tout en évitant la carbonisation. Dans une seconde étape, cette poudre a été utilisée comme un substituant du cacao, carraghénane, amidon et sucre blanc dans la préparation du dessert lacté.

Cette substitution peut être partielle ou totale. Les résultats obtenus, montrent que le produit fini obtenu répond à l'appellation d'un dessert lacté BIO.

## 2.7 Production de bioéthanol

Deux variétés des dattes communes les plus dominantes (*Hmira* et *Tinacer*) ont été utilisées dans la Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol.

La levure de boulangerie sèche, *Saccharomyces cerevisiae* est utilisée. Elle est conservée dans un endroit frais et sec. Cette souche est utilisée pour la production d'éthanol. La Préparation 5 du moût de dattes se fait après lavage, imbibition des dattes est faite à l'aide d'une eau chaude (90 à 95 °C) afin de faciliter le dénoyautage. Le broyage des pulpes est effectué par la suite. L'eau d'imbibition riche en sucre sera utilisée comme eau de dilution du moût.

Les dattes ainsi traitées sont ensuite diluées à raison de 200 g de pulpes pour 800 ml d'eau. Le pH du moût est ajusté entre 4,3 et 4,7 par l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1N). Ce pH

acide préjudiciable au développement des bactéries s'avère propice à la prolifération des levures.

Après ensemencement du milieu par la levure de boulangerie *Saccharomyces cerevisiae* (1 g/l), le bio réacteur est plongé dans un bain-marie où la température est maintenue à  $30 \pm 2$  °C. La fermentation est conduite en anaérobiose pendant 72 heures. Toutefois, la fermentation est favorisée par une agitation due au mouvement des bulles du CO<sub>2</sub> dégagé.

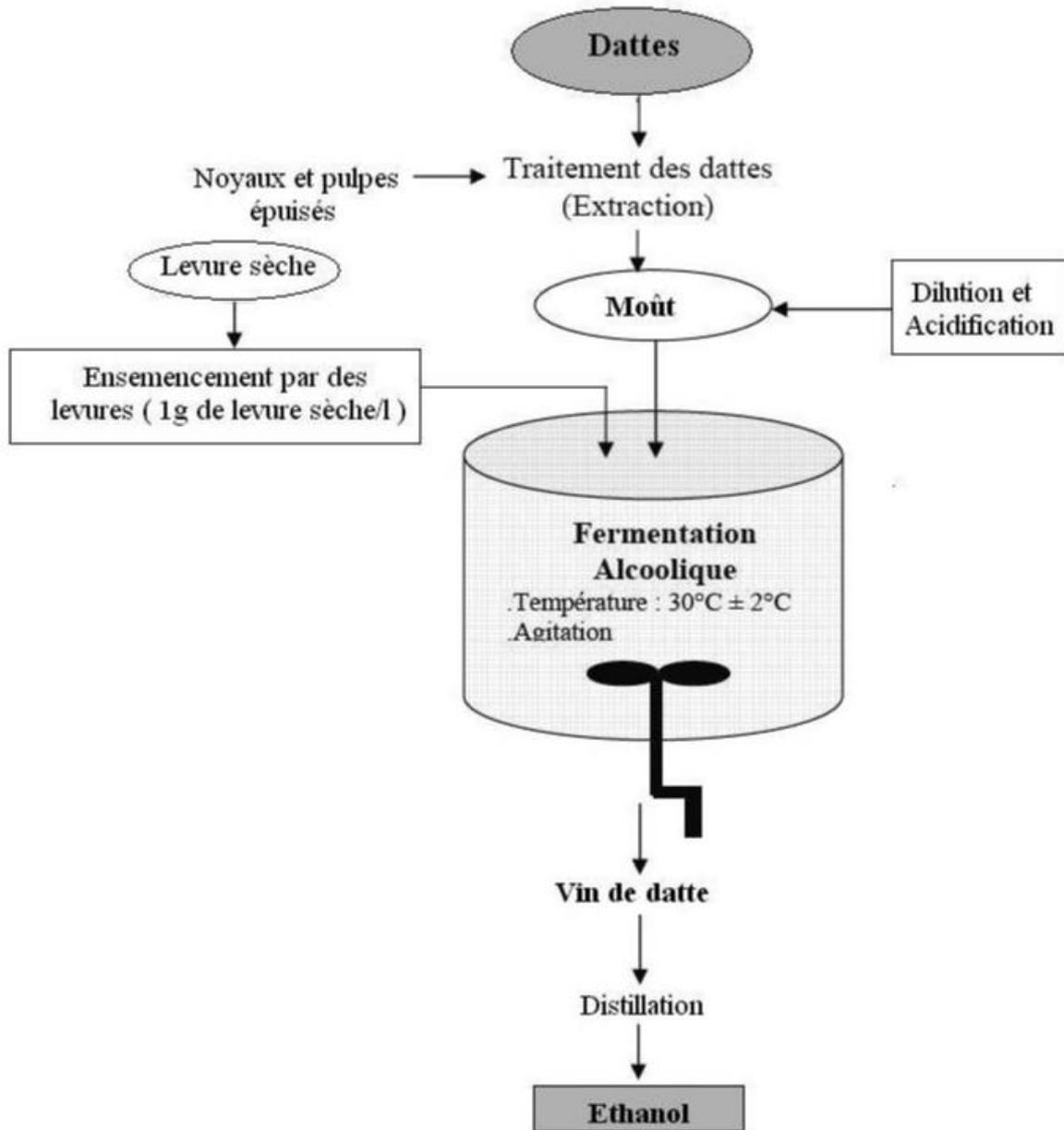
Pour suivre l'évolution de la fermentation, on procède chaque 24 heures à des prélèvements pour effectuer les analyses physico-chimiques et détecter l'odeur de l'alcool dans le moût. Après 72 heures, la fermentation est arrêtée.

Pour chaque variété de dattes, l'opération de fermentation est répétée trois fois dans le but d'obtenir une valeur moyenne représentative des différentes analyses. Au cours de la fermentation, les paramètres cités ci-dessous sont suivis:

- L'acidité du moût à l'aide d'un pH mètre;
- Le taux de glucose;
- L'évolution de la couleur et de l'odeur du moût;
- Le degré alcoolique;
- La densité du milieu réactionnel;
- Détermination de la cendre.

A la fin de la fermentation, le vin de dattes obtenu est distillé afin d'extraire l'éthanol. La température de distillation est de l'ordre de 78 °C.

La figure suivante , représente le diagramme des différentes étapes de fabrication de l'éthanol.



**Figure 13** : Diagramme de la fermentation alcoolique

Grâce à sa composition chimique et sa richesse en minéraux et oligoéléments, le moût de datte permet d'obtenir une bonne productivité d'alcool brut. Les quantités de ce dernier obtenues après 72h de fermentation et 1h20mn de distillation sont satisfaisantes.

La valeur maximale du degré alcoolique a été obtenue pour la variété *Hmira* qui a le taux de sucre le plus élevé.

La quantité de cendre est presque constante durant le processus de fermentation, tandis que la densité du moût diminue au cours de la fermentation, mais elle reste comprise entre 1,07 et 1,01.

Les dattes communes de faible valeur marchande demeurent un substrat de choix pour la mise en œuvre d'un procédé de fabrication d'alcool industriel vu la simplicité du procédé, une telle industrie doit être mise en place dans les régions phoenicoles, car elle permet certainement de limiter en partie l'érosion génétique dont souffre la palmeraie algérienne.

## 2.8 Production de vinaigre

La production mondiale de vinaigre est estimée (exclus la Chine et l'ex-URSS) à plus de 1600 millions de litres par an d'acide acétique. Cette production provient d'une multitude de vinaigre à savoir : vinaigre d'alcool, de vin, de cidre, de poiré, de betterave, de glucose, de petit lait, d'herbe, etc... La production acétique à base de datte reste encore mal connue.

De nos jours certains pays avec l'Irak en tête s'orientent vers les industries de transformation des dattes. Cependant, les dattes possèdent un pouvoir historique et une origine profonde dans les coutumes et les habitudes alimentaires de l'homme saharien. Les dattes constituent la matière première pour l'élaboration d'un bon nombre de produits alimentaires parmi les quels le vinaigre. Depuis fort longtemps, les populations sahariennes ont eu à fabriquer localement leur propre vinaigre. Cette production est une tradition ancestrale qui utilise un matériel artisanal et confère au vinaigre élaboré des avantages que l'on ne retrouve pas chez le vinaigre industriel.

La technique d'élaboration du vinaigre traditionnel est basée sur une double fermentation combinée anaérobie et aérobie. Cette bioconversion utilise des levures et des bactéries acétiques présentes naturellement dans la datte. Celles-ci entraînent une production d'éthanol qui est transformé en acide acétique. C'est un procédé où les deux réactions biotechnologiques se déroulent au même moment, bien que les exigences des organismes unicellulaires mis en jeu diffèrent en matière d'oxygène.

Après parage, triage et lavage des dattes, à une mesure de datte est ajoutée deux mesures d'eau du robinet.

Au mélange ainsi obtenu, est additionné selon les habitudes traditionnelles des zones de production divers produits en faible proportion, parmi lesquels : grain de blé (7 grains), grains d'orge (7 grains), harmel (7 grains), coriandre (7 grains), quelques pincées de piment, quelques pincées de sel de table, Le mélange est mis en fermentation durant quarante à cinquante jours à la température ambiante, dans une gargoulette ou jarre bouchée avec du

gypse ou avec du lif de palmier, laissant un microtrou d'aération. Il est procédé ensuite au tamisage. Le produit ainsi obtenu est le vinaigre traditionnel.