

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique



جامعة بجاية  
Tasdawit n Bgayet  
Université de Béjaïa

Université Abderrahmane Mira de Bejaia  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Alimentaires



جامعة بجاية  
Tasdawit n Bgayet  
Université de Béjaïa

**Polycopié de cours de :**

# Traitement d'épuration et de valorisation

**Destiné aux étudiants en Master 2  
Contrôle de Qualité et Analyse des Aliments (CQAA)**



**Dr Kahina DJAOUD**



2023/2024

## **Avant-propos**

Ce polycopié a pour objectif de présenter les principes et les applications des procédés de traitement d'épuration et de valorisation utilisés dans les industries agroalimentaires (IAA) aux étudiants en master 2 Contrôle de Qualité et Analyse des Aliments. Le cours introduit dans un premier chapitre les enjeux et les bases de ces traitements dans le contexte des IAA. Le chapitre 2 aborde les contraintes liées à la pollution générée par l'activité agroalimentaire. Le chapitre 3 se concentre spécifiquement sur la situation alimentaire et les défis dans les pays en développement à travers le cas de l'Algérie. Les chapitres suivants explorent de manière approfondie les procédés d'épuration des eaux usées (chapitre 4) et de valorisation des co-produits (chapitre 5). Enfin, le chapitre 6 présente les outils d'évaluation économique utilisés pour déterminer la faisabilité de la mise en place d'unités de traitement ou de valorisation. À travers les différents chapitres, ce polycopié vise à fournir aux futurs spécialistes du contrôle qualité et de l'analyse des aliments une solide connaissance des enjeux, des technologies et de l'évaluation des procédés de traitement dans leur domaine d'activité. Ces compétences sont essentielles pour répondre aux défis environnementaux et de développement durable auxquels sont confrontées les IAA.

# Table des matières

## Chapitre 1. Introduction aux traitements d'épuration et de valorisation dans les industries agroalimentaires

1.1. Place et rôles des processus d'épuration et de valorisation dans les IAA .....	1
1.1.1. Épuration des eaux usées .....	1
1.1.2. Valorisation des sous-produits .....	1
1.2. Les problèmes de pollution associés aux IAA .....	3
1.2.1. Pollution de l'eau .....	4
1.2.2. Déchets solides .....	4
1.2.3. Pollution de l'air .....	4
1.3. Nécessité de recyclage de l'eau .....	5
1.4. Problèmes de pertes de produits à valeur nutritionnelle élevée .....	5
1.4.1. Gaspillage alimentaire .....	5
1.4.2. Ressources gaspillées .....	5
1.4.3. Impact sur la sécurité alimentaire .....	6

## Chapitre 2. Les contraintes liées à la pollution

2.1. Nature des nuisances .....	7
2.1.1. Nuisances sonores .....	7
2.1.2. Nuisances olfactives .....	8
2.2. Impacts sur la biodiversité .....	9
2.3. Classement des produits polluants .....	9
2.3.1. Polluants chimiques .....	9
2.3.2. Polluants physiques .....	10
2.3.3. Polluants biologiques .....	10
2.3.4. Polluants atmosphériques .....	10
2.3.5. Polluants liés aux eaux usées et aux déchets solides .....	10
2.4. Mesures de la pollution .....	10
2.4.1. Surveillance des émissions atmosphériques .....	10
2.4.2. Analyse des eaux usées.....	10
2.4.3. Gestion des déchets .....	11
2.4.4. Analyse de la consommation d'énergie .....	11
2.4.5. Audit environnemental .....	11

### **Chapitre 3. Les contraintes liées à la situation alimentaires dans les pays en développement : cas de l'Algérie**

<b>3.1.</b> Situation alimentaire .....	<b>12</b>
<b>3.2.</b> Production-Importations .....	<b>13</b>
<b>3.2.1.</b> Production alimentaire locale .....	<b>14</b>
<b>3.2.2.</b> Importations alimentaires .....	<b>14</b>
<b>3.3.</b> Consommation alimentaire et besoins nutritionnels .....	<b>14</b>
<b>3.4.</b> Nécessité de valorisation des sous-produits des industries agroalimentaires .....	<b>15</b>

### **Chapitre 4. Épuration des eaux usées**

<b>4.1.</b> Procédés d'épuration des eaux usées .....	<b>18</b>
<b>4.1.1.</b> Les prétraitements .....	<b>18</b>
<b>4.1.1.1.</b> Le dégrillage .....	<b>18</b>
<b>4.1.1.2.</b> Le dessablage .....	<b>19</b>
<b>4.1.1.3.</b> Le déshuilage-dégraissage .....	<b>19</b>
<b>4.1.2.</b> Les traitements primaires .....	<b>20</b>
<b>4.1.2.1.</b> Décantation classique .....	<b>20</b>
<b>4.1.2.2.</b> La coagulation-floculation.....	<b>20</b>
<b>4.1.3.</b> Traitements biologiques .....	<b>21</b>
<b>4.1.3.1.</b> Traitements anaérobies .....	<b>21</b>
<b>4.1.3.2.</b> Traitements aérobies .....	<b>21</b>
<b>4.1.4.</b> Traitements complémentaires (tertiaire) .....	<b>23</b>
<b>4.1.4.1.</b> Elimination de l'azote et du phosphore .....	<b>23</b>
<b>4.1.4.2.</b> Les procédés de désinfection .....	<b>24</b>
<b>4.2.</b> Aspect règlementaire concernant la pollution des eaux usées industrielles .....	<b>25</b>
<b>4.2.1.</b> Normes internationales .....	<b>25</b>
<b>4.2.2.</b> Normes Algériennes .....	<b>26</b>

### **Chapitre 5. Les traitements de valorisation des co-produits des IAA**

<b>5.1.</b> Voies de valorisation des coproduits des IAA .....	<b>27</b>
<b>5.1.1.</b> Valorisation en alimentation animale .....	<b>27</b>
<b>5.1.2.</b> Valorisation agronomique .....	<b>28</b>
<b>5.1.3.</b> Valorisation énergétique .....	<b>29</b>
<b>5.1.4.</b> Matières premières pour l'industrie .....	<b>30</b>
<b>5.2.</b> Industrie laitière .....	<b>31</b>
<b>5.2.1.</b> Présentation de la filière .....	<b>31</b>
<b>5.2.2.</b> Nature et caractéristiques des coproduits .....	<b>31</b>

5.2.3. Voies de valorisation des coproduits .....	32
5.3. Industrie sucrière .....	33
5.3.1. Présentation de la filière .....	33
5.3.2. Nature et caractéristiques des coproduits .....	33
5.3.3. Voies de valorisation des coproduits .....	35
5.4. Industrie huilière .....	35
5.4.1. Présentation de la filière .....	36
5.4.2. Nature et caractéristiques des coproduits.....	36
5.4.3. Voies de valorisation des coproduits .....	37
5.5. Industrie des fruits et légumes transformés.....	38
5.5.1. Présentation de la filière .....	38
5.5.2. Nature et caractéristiques des coproduits .....	38
5.5.3. Voies de valorisation des coproduits .....	38
5.6. Industrie de la viande .....	39
5.6.1. Présentation de la filière .....	39
5.6.2. Nature et caractéristiques des coproduits .....	39
5.6.3. Voies de valorisation des coproduits .....	40
5.7. Glossaire .....	42
<b>Chapitre 6. Évaluation économique préalable à la mise en œuvre d'une unité de valorisation</b>	
6.1. Quantité globale de produit à traiter .....	43
6.2. Coût du matériel de traitement et du personnel .....	44
6.3. Emplacement de l'unité de valorisation et les transports .....	44
6.3.1. Emplacement .....	44
6.3.2. Transports .....	45
6.4. Prix de revient moyen du produit après traitement .....	45
Références .....	49

# Chapitre 1

## Chapitre 1.

# Introduction aux traitements d'épuration et de valorisation dans les industries agroalimentaires

### 1.1. Place et rôles des processus d'épuration et de valorisation dans les IAA

Les industries agroalimentaires (IAA) génèrent une grande quantité de sous-produits et de déchets tout au long de leurs processus de production. Pour gérer ces sous-produits de manière efficace sur les plans environnemental et économique, les processus d'épuration et de valorisation jouent un rôle crucial.

#### 1.1.1. Épuration des eaux usées

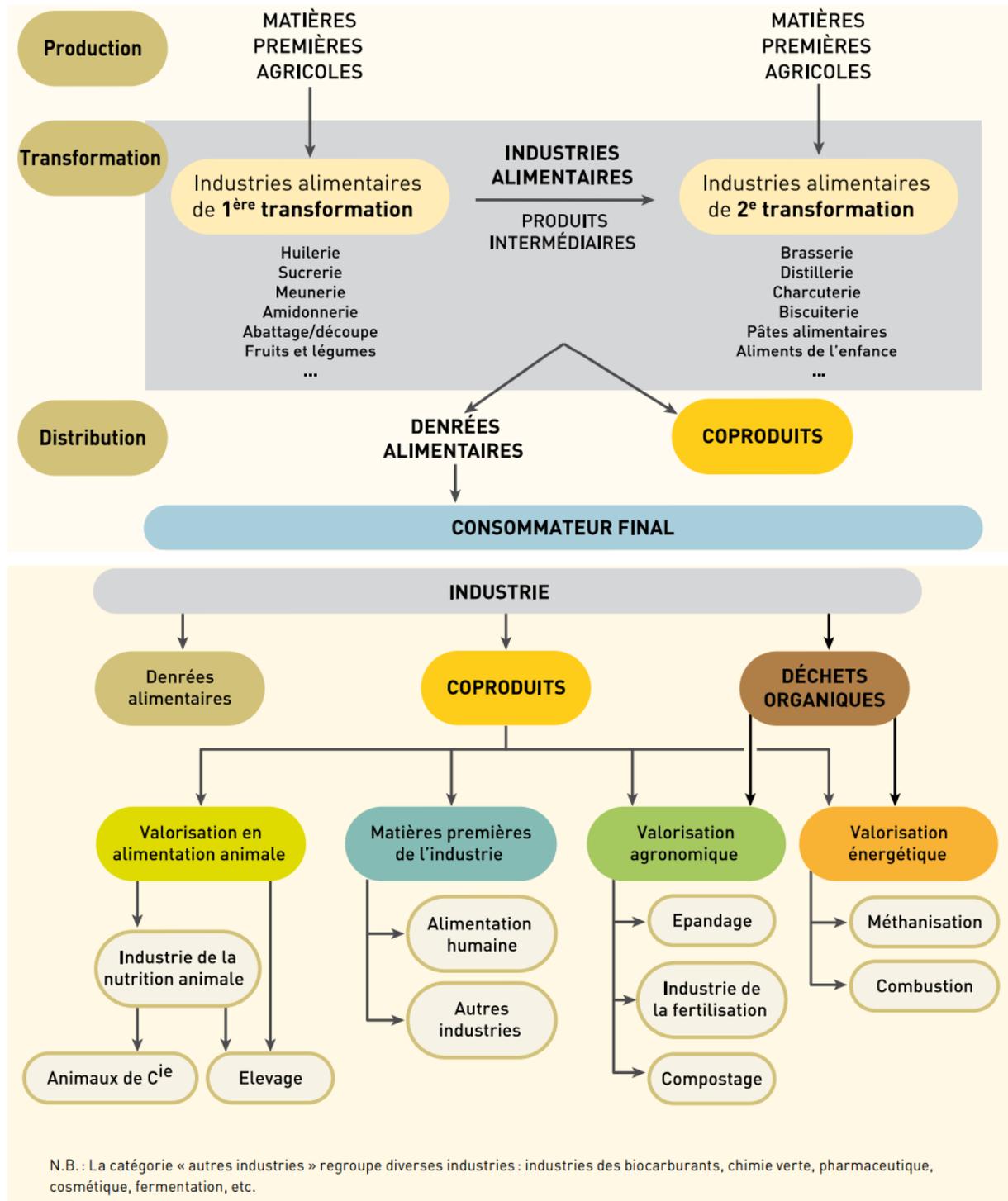
L'épuration des eaux usées dans les IAA vise à réduire les impacts environnementaux de ces activités en éliminant ou en réduisant les éléments indésirables, tels que les contaminants, les matières organiques, les graisses, etc. Ces processus aident à minimiser les risques de pollution des sols, de l'eau et de l'air. Les méthodes d'épuration couramment utilisées dans les IAA comprennent le traitement biologique, la filtration, la séparation par gravité et d'autres technologies de traitement des eaux usées et des effluents. Cela contribue à une gestion durable des ressources et à la protection de la santé humaine et de l'écosystème.

#### 1.1.2. Valorisation des sous-produits

La valorisation des sous-produits des industries agroalimentaires consiste à les transformer en ressources utiles. Cela contribue à réduire le gaspillage, à optimiser l'utilisation des ressources, à créer de la valeur ajoutée, à favoriser la durabilité environnementale et à renforcer la compétitivité des entreprises. Les processus de valorisation comprennent :

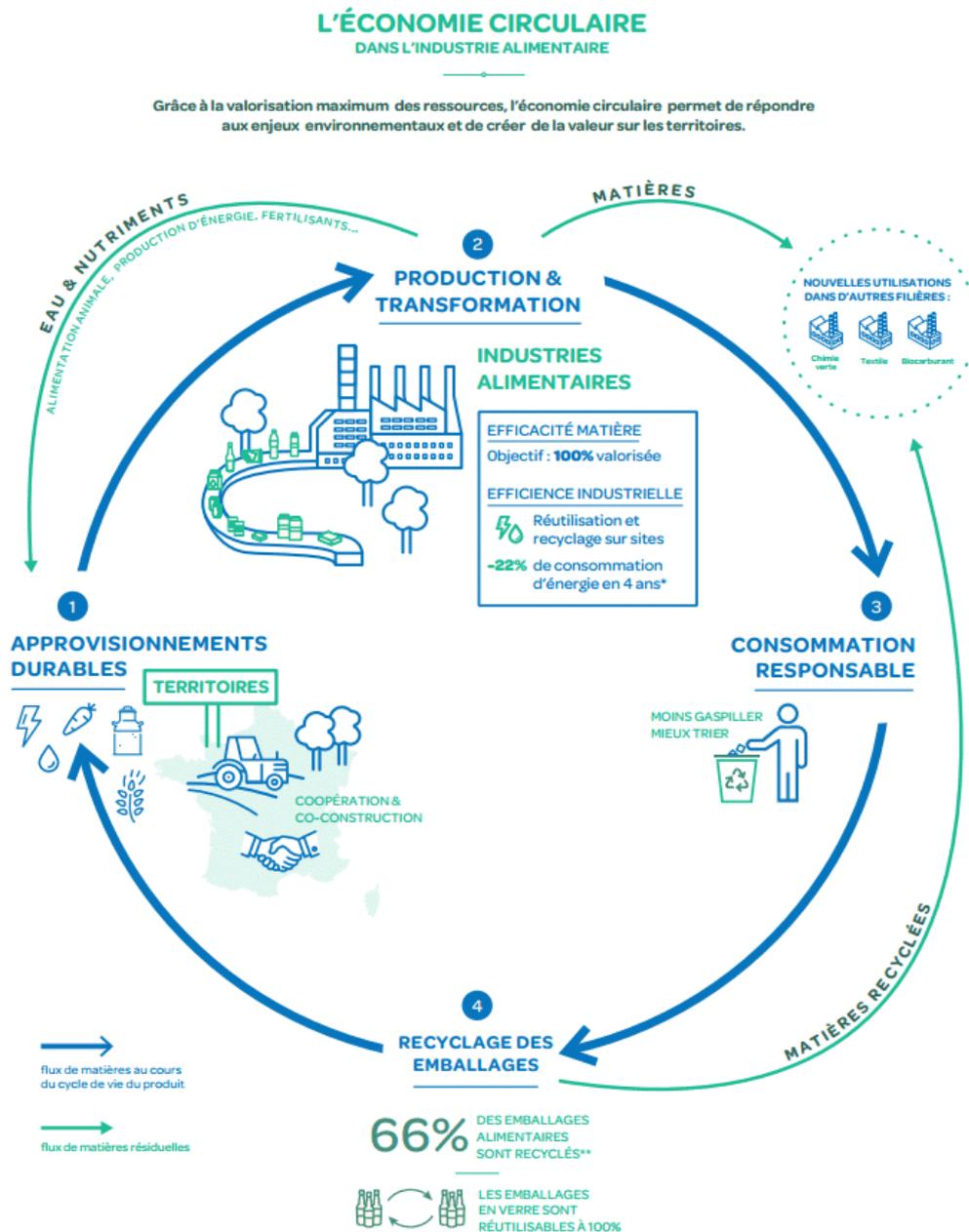
- ◆ **Valorisation alimentaire** : Certains sous-produits peuvent être transformés en ingrédients alimentaires, tels que les extraits de plantes pour les arômes, les protéines extraites de déchets de poisson pour l'alimentation animale, etc.
- ◆ **Valorisation chimique** : Les sous-produits peuvent être utilisés comme matières premières pour la production de produits chimiques, de bioplastiques ou d'autres matériaux.
- ◆ **Valorisation énergétique** : Les sous-produits peuvent être convertis en énergie sous forme de biogaz (issu de la digestion anaérobie), d'électricité (par incinération ou méthanisation) ou de carburants.

- ◆ **Valorisation agricole** : Certains sous-produits peuvent être utilisés comme engrais organiques ou amendements du sol pour l'agriculture.
- ◆ **Valorisation technologique** : Certaines entreprises développent des technologies innovantes pour extraire des composés précieux ou utiles des sous-produits, tels que les extraits de plantes pour les produits de beauté.



**Figure 1.1.** Les voies de valorisation des co-produits des IAA.

La valorisation des sous-produits des IAA s'inscrit dans le concept d'économie circulaire, où les ressources sont utilisées de manière plus efficace et où les déchets sont considérés comme des ressources potentielles. Cela favorise un modèle de production plus durable et moins linéaire.



**Figure 1.2.** La bioéconomie circulaire dans le cycle de la biomasse.

## 1.2. Les problèmes de pollution associés aux IAA

Les industries agroalimentaires peuvent contribuer à divers problèmes de pollution en raison des nombreuses étapes de production et des activités connexes qu'elles impliquent. Parmi les principaux problèmes de pollution associés aux IAA on trouve :

### 1.2.1. Pollution de l'eau

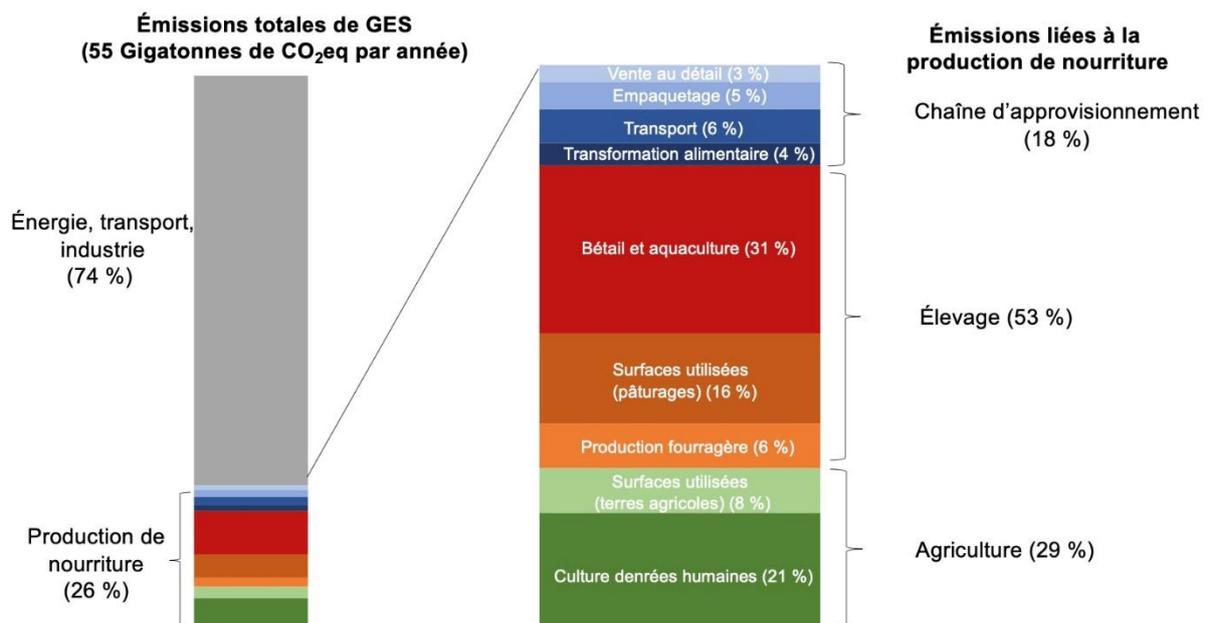
Les IAA utilisent souvent d'importantes quantités d'eau pour le nettoyage, la transformation et le refroidissement. Les eaux usées générées contiennent des matières organiques, des nutriments (azote et phosphore), des contaminants chimiques (comme les pesticides et les produits chimiques de nettoyage) ainsi que des charges microbiologiques élevées. Si ces eaux usées ne sont pas correctement traitées, elles peuvent polluer les cours d'eau locaux et les sources d'eau souterraine.

### 1.2.2. Déchets solides

Le secteur agroalimentaire génère une grande quantité de déchets solides, notamment des emballages, des matières premières non utilisées et des sous-produits. Si ces déchets ne sont pas gérés de manière appropriée, ils peuvent contribuer à la pollution visuelle, à la prolifération des décharges sauvages et à la contamination des sols.

### 1.2.3. Pollution de l'air

Les activités telles que la cuisson, le séchage, la friture et la combustion de déchets peuvent entraîner des émissions de particules, de gaz nocifs et d'odeurs. Cela peut avoir un impact sur la qualité de l'air intérieur et extérieur, ce qui peut être préjudiciable à la santé humaine et à l'environnement. Les processus de production dans les IAA peuvent nécessiter une quantité importante d'énergie, souvent issue de sources non renouvelables. Cela peut entraîner des émissions de gaz à effet de serre et contribuer au changement climatique.



**Figure 1.3.** Contribution du secteur agroalimentaire à la production annuelle de gaz à effet de serre.

### 1.3. Nécessité de recyclage de l'eau

Le recyclage de l'eau dans les industries agroalimentaires est devenu de plus en plus nécessaire en raison de plusieurs facteurs clés qui mettent en évidence son importance. En combinant des technologies de traitement avancées, des pratiques de gestion de l'eau efficaces et une sensibilisation aux enjeux environnementaux, les industries agroalimentaires peuvent réaliser des économies significatives, réduire leur impact environnemental et contribuer à un avenir plus durable. La réutilisation des eaux usées peut contribuer à :

- ◆ Réduire la pression sur les ressources en eau douce en fournissant une source alternative d'eau.
- ◆ Réduire la pollution des rivières, des lacs et des océans en réduisant les quantités d'eaux usées rejetées dans l'environnement.
- ◆ Répondre aux défis de la sécurité alimentaire, en permettant l'irrigation agricole ;
- ◆ Répondre aux contraintes politique et socio-économiques, en permettant des économies substantielles d'eau potable ;
- ◆ Réduire la demande en eau douce, tout en fournissant une source stable pour les usages non potables. Parmi cela, on cite l'arrosage des espaces verts, le nettoyage des voies publiques ou la recharge des nappes phréatiques.

### 1.4. Problèmes de pertes de produits à valeur nutritionnelle élevée

Les pertes de produits à valeur nutritionnelle élevée dans les industries agroalimentaires sont un problème préoccupant, car elles entraînent à la fois des conséquences économiques et des impacts sur la sécurité alimentaire. Les principaux problèmes liés à ces pertes sont :

#### 1.4.1. Gaspillage alimentaire

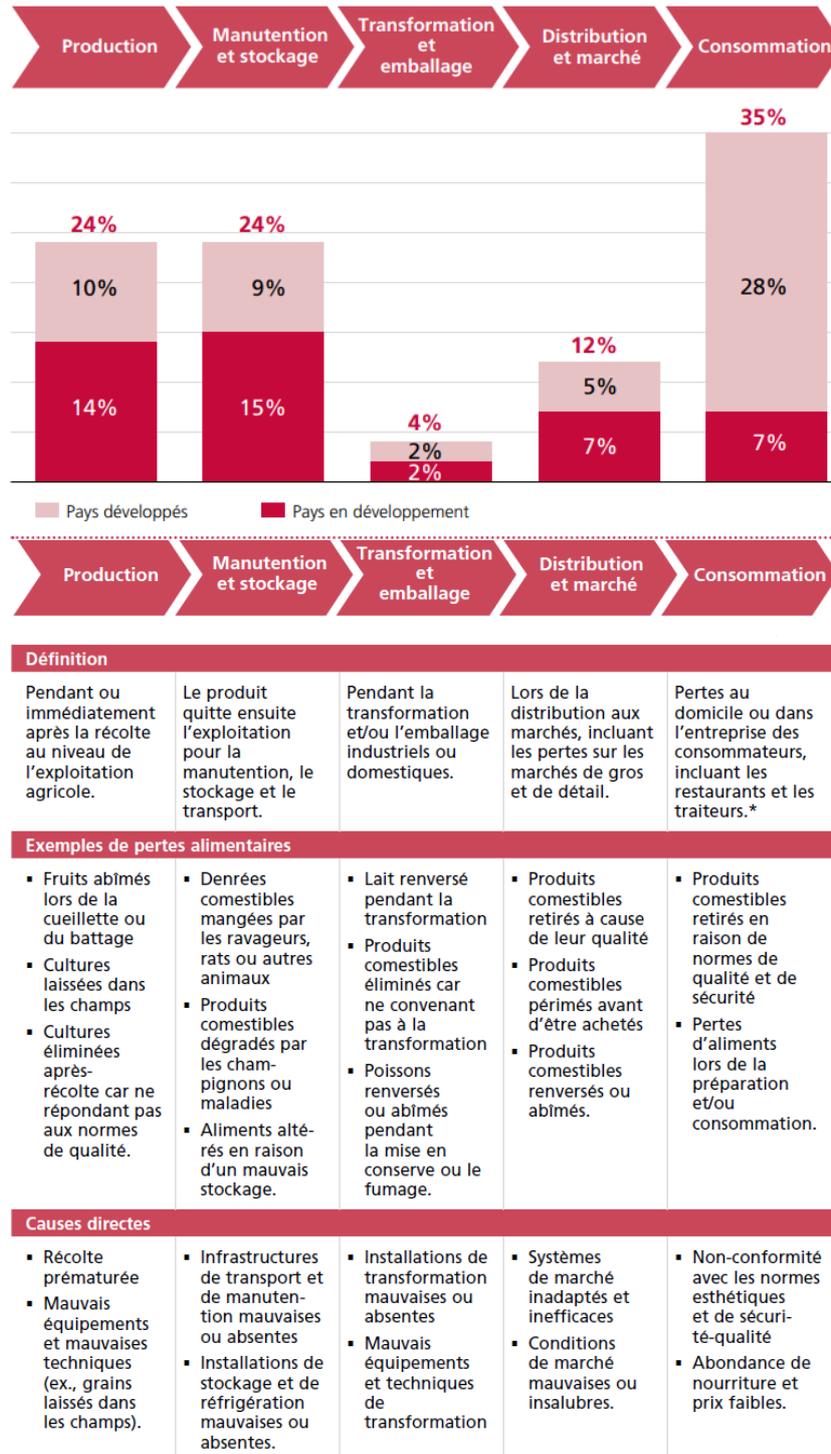
Les pertes de produits à haute valeur nutritionnelle contribuent au gaspillage alimentaire, un problème mondial majeur. Cela se produit à toutes les étapes de la chaîne d'approvisionnement, de la production agricole à la distribution, en passant par la transformation et la vente au détail. Le gaspillage alimentaire signifie que des aliments riches en nutriments sont perdus avant d'atteindre les consommateurs, ce qui a des conséquences environnementales, économiques et sociales négatives.

#### 1.4.2. Ressources gaspillées

La production de produits agroalimentaires implique l'utilisation de ressources précieuses telles que l'eau, les terres agricoles, les intrants agricoles et l'énergie. Lorsque des produits riches en valeur nutritionnelle sont perdus, non seulement les nutriments sont gaspillés, mais aussi les ressources utilisées pour les produire.

### 1.4.3. Impact sur la sécurité alimentaire

Les pertes de produits nutritionnellement riches peuvent avoir un impact sur la sécurité alimentaire, en particulier dans les régions où l'accès à une alimentation adéquate est déjà un défi. Les pertes alimentaires réduisent la disponibilité d'aliments nutritifs, ce qui peut aggraver les problèmes de malnutrition et de sous-alimentation. Ces pertes ont des répercussions sur les coûts de production, les marges bénéficiaires et les prix des produits alimentaires.



**Figure 1.5.** Répartition, définition, exemples et causes directes des pertes et gaspillages alimentaires dans la chaîne de valeur.

# Chapitre 2

## Chapitre 2.

# Les contraintes liées à la pollution

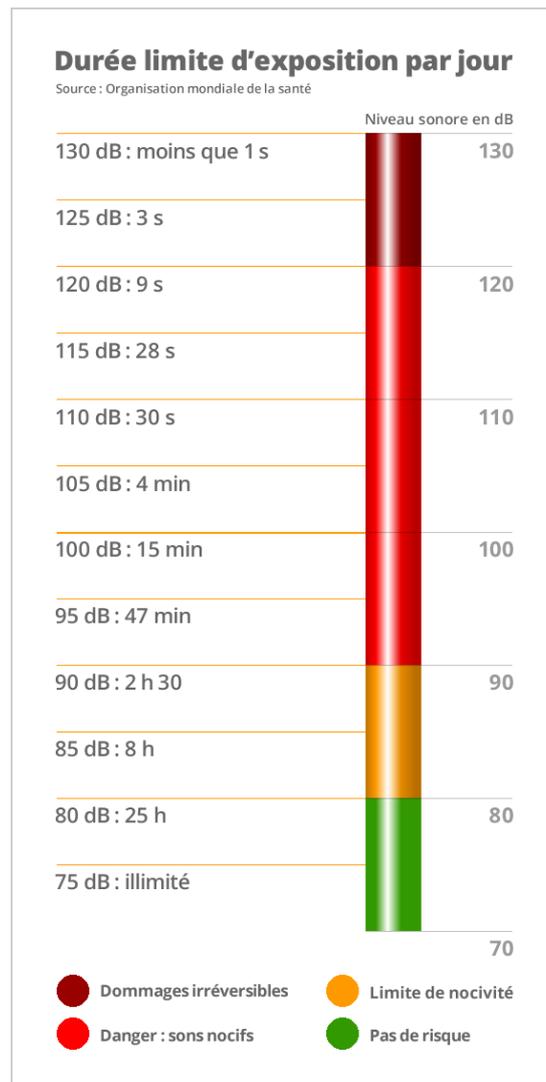
Les industries agroalimentaires sont confrontées à plusieurs contraintes liées à la pollution en raison de leurs activités de production, de transformation et de distribution d'aliments. Cette pollution peut être chimique (ions, matière organique, résidus de pesticides ... etc), physique (chaleur, radioactivité, bruit, luminosité ... etc) ou biologiques (toxines algales, germes pathogènes, parasites ... etc) selon les types d'utilisation.

### 2.1. Nature des nuisances

Le terme nuisance désigne toute dégradation de l'environnement qui ne présente pas d'impact écotoxicologique mais qui a pour conséquence d'induire une gêne pour les personnes qui la subissent. À la différence des pollutions, les nuisances (à un certain seuil) ne provoquent pas d'effet néfaste sur la santé humaine et/ou sur le plan écologique. Toutefois, elles sont perçues à juste titre par ceux qui y sont exposés comme une modification défavorable de l'environnement. Les industries agroalimentaires peuvent engendrer plusieurs types de nuisances, entre autres :

#### 2.1.1. Nuisances sonores

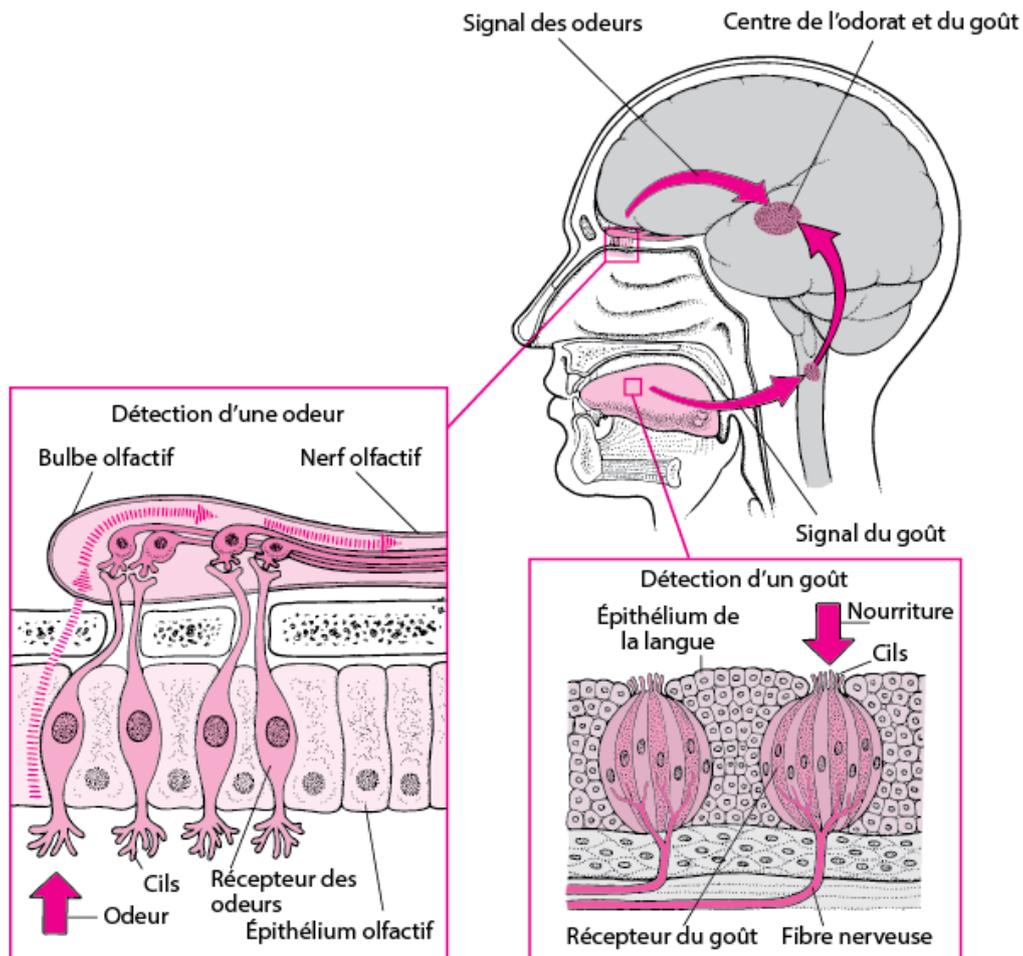
Le bruit représente la nuisance la plus répandue. Elle est provoquée par des sons d'intensité trop forte. À partir d'une certaine intensité, dont les effets nocifs peuvent être accrus par des fréquences trop basses ou trop élevées, le bruit peut atteindre des valeurs où se produisent des effets physiologiques dangereux pour l'organisme. Dans la gamme des intensités sonores, il existe des valeurs qui dépassent le seuil de douleur de l'oreille (120 dB), à partir desquelles peuvent apparaître des lésions physiologiques irréversibles de l'oreille interne. Les infrasons (fréquences inférieures à 15 Hz) ont même pu expérimentalement provoquer, à de très fortes intensités, des hémorragies internes mortelles chez des animaux de laboratoire. À la limite des intensités réputées tolérables, c'est-à-dire au-dessous de 80 dB, le bruit excessif, même pendant le sommeil, peut engendrer des effets psychophysiologiques défavorables. Les équipements industriels, les machines de transformation, les convoyeurs et d'autres installations peuvent générer du bruit excessif. Ces bruits peuvent causer des problèmes de santé, tout en affectant également les communautés locales à proximité.



**Figure 2.1.** Durée limites d'exposition aux sons par jour.

### 2.1.2. Nuisances olfactives

Les nuisances olfactives désignent toutes les nuisances provoquées par des odeurs. Certaines nuisances olfactives peuvent être considérées comme un trouble de voisinage et donner lieu à des sanctions pour leur auteur. Les processus de cuisson, de fermentation, de torréfaction et de transformation alimentaire peuvent produire des odeurs fortes et parfois désagréables qui se propagent dans l'environnement. Cela peut provoquer des plaintes de la part des riverains et affecter la qualité de vie des populations voisines. Ces émissions peuvent contribuer à la pollution atmosphérique et avoir des répercussions sur la qualité de l'air et la santé humaine.



**Figure 2.2.** Le mécanisme de l'odorat.

## 2.2. Impacts sur la biodiversité

L'expansion des terres agricoles et des installations de transformation peut entraîner la perte d'habitats naturels, la déforestation et la diminution de la biodiversité, ce qui peut avoir des conséquences sur les écosystèmes. **2.3. Classement des produits polluants**

Les produits polluants générés par les industries agroalimentaires peuvent varier en fonction des processus de production, des types d'aliments produits et des pratiques de gestion. Un classement général des produits polluants courants associés aux industries agroalimentaires, en fonction de leur nature et de leurs impacts potentiels sur l'environnement est représenté comme suit :

### 2.3.1. Polluants chimiques

- ◆ Produits chimiques de nettoyage et de désinfection ;
- ◆ Résidus des pesticides/herbicides et les métaux lourds ;
- ◆ Substances chimiques présentes dans les additifs alimentaires et les conservateurs.

### 2.3.2. Polluants physiques

- ◆ Température et humidité inadéquates ;
- ◆ Rayonnements ionisants (rayons gamma, rayons X) ;
- ◆ Niveaux élevés de bruit et de vibrations.

### 2.3.3. Polluants biologiques

Les IAA génèrent souvent des déchets biologiques, tels que les restes de nourriture, qui peuvent favoriser la croissance de micro-organismes pathogènes. Ces micro-organismes peuvent contaminer l'environnement si les déchets ne sont pas correctement traités.

### 2.3.4. Polluants atmosphériques

- ◆ Particules fines provenant des processus de cuisson et de torréfaction ;
- ◆ Composés organiques volatils (COV) issus des opérations de fermentation et de cuisson ;
- ◆ Gaz à effet de serre produits par la combustion de combustibles fossiles pour l'énergie.

### 2.3.5. Polluants liés aux eaux usées et aux déchets solides

- ◆ Huiles et graisses issues des processus de cuisson et de friture ;
- ◆ Résidus alimentaires organiques ;
- ◆ Coquilles d'œufs, épiluchures et résidus de légumes et de fruits ;
- ◆ Emballages alimentaires en plastique, carton, métal, etc ;
- ◆ Déchets de production, tels que les déchets de découpe et les sous-produits non comestibles.

## 2.4. Mesures de la pollution

Les mesures de la pollution dans les industries agroalimentaires sont essentielles pour évaluer l'impact environnemental de leurs activités et prendre des mesures pour réduire leur empreinte écologique. Les principales mesures de la pollution dans ces industries sont :

### 2.4.1. Surveillance des émissions atmosphériques

- ◆ La mesure des particules fines, des composés organiques volatils (COV) et d'autres polluants atmosphériques.
- ◆ Installation des dispositifs de surveillance tels que les capteurs de qualité de l'air pour surveiller en continu les émissions et garantir qu'elles restent dans les limites réglementaires.

### 2.4.2. Analyse des eaux usées

La surveillance des eaux usées produites par les industries agroalimentaires est essentielle pour détecter la présence de contaminants tels que les résidus alimentaires, les produits chimiques et les matières organiques.

On peut noter trois principaux paramètres mesurent les matières polluantes des eaux usées :

- ◆ **Les matières en suspension (MES)** : exprimées en mg par litre. Ce sont les matières non dissoutes de diamètre supérieur à 1  $\mu\text{m}$  contenus dans l'eau. Elles comportent à la fois des éléments minéraux et organiques et décantent spontanément ;
- ◆ **La demande biochimique en oxygène (DBO)** : exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle exprime la quantité de matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. Plus précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour mesurer ce paramètre, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommé au bout de cinq jours. C'est la DBO<sub>5</sub>, demande biochimique en oxygène sur cinq jours ;
- ◆ **La demande chimique en oxygène (DCO)** : exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle représente la teneur totale de l'eau en matières oxydables. Ce paramètre correspond à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir pour oxyder par voie chimique ces matières.

#### 2.4.3. Gestion des déchets

La quantité et la composition des déchets générés par les industries agroalimentaires doivent être surveillées. Cela implique de quantifier les différents types de déchets produits, tels que les coquilles d'œufs, les épiluchures et les emballages, et de mettre en place des systèmes de gestion appropriés, tels que le tri, le recyclage et le compostage.

#### 2.4.4. Analyse de la consommation d'énergie

La surveillance de la consommation d'énergie dans les installations agroalimentaires permet d'identifier les domaines où des économies d'énergie peuvent être réalisées. Cela peut inclure l'utilisation d'éclairages plus efficaces, de technologies de refroidissement et de chauffage optimisées, ainsi que la recherche de sources d'énergie renouvelable.

#### 2.4.5. Audit environnemental

Les industries agroalimentaires peuvent effectuer des audits environnementaux pour évaluer de manière globale leurs pratiques et leurs impacts sur l'environnement. Ces audits fournissent une vue d'ensemble des sources de pollution, des aspects à améliorer et des mesures à prendre pour réduire la pollution.

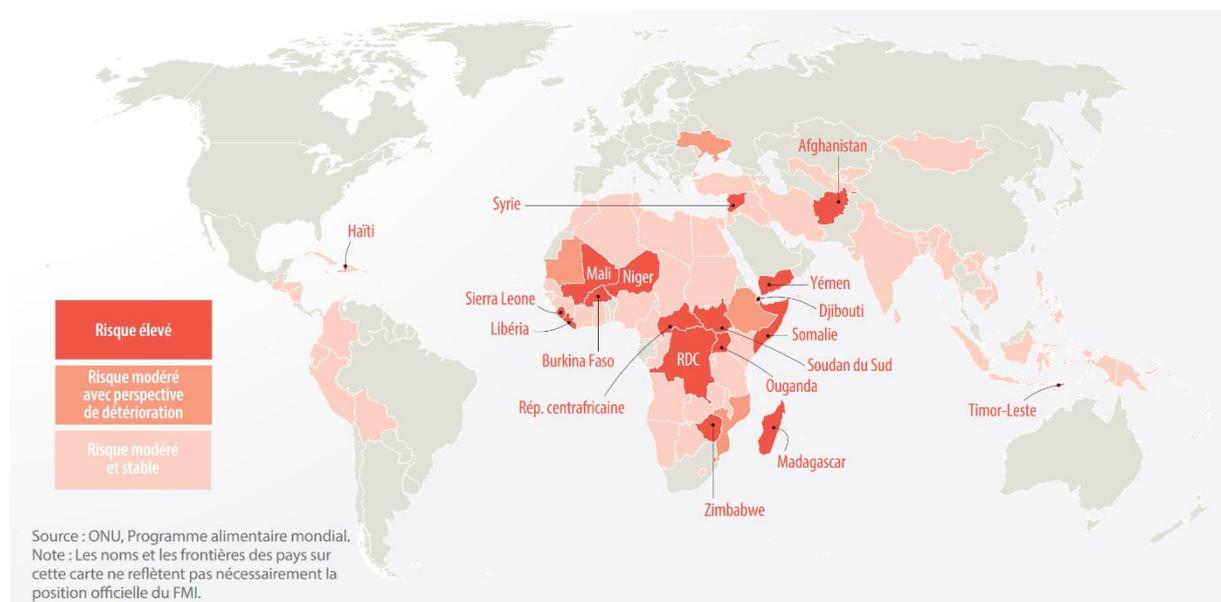
# Chapitre 3

## Chapitre 3.

# Les contraintes liées à la situation alimentaires dans les pays en développement : cas de l'Algérie

### 3.1. Situation alimentaire

La situation alimentaire dans les pays en développement, y compris l'Algérie, est influencée par divers facteurs, allant des conditions environnementales et économiques aux politiques agricoles et à la distribution des ressources.



**Figure 3.1.** La carte du monde de la sécurité alimentaire.

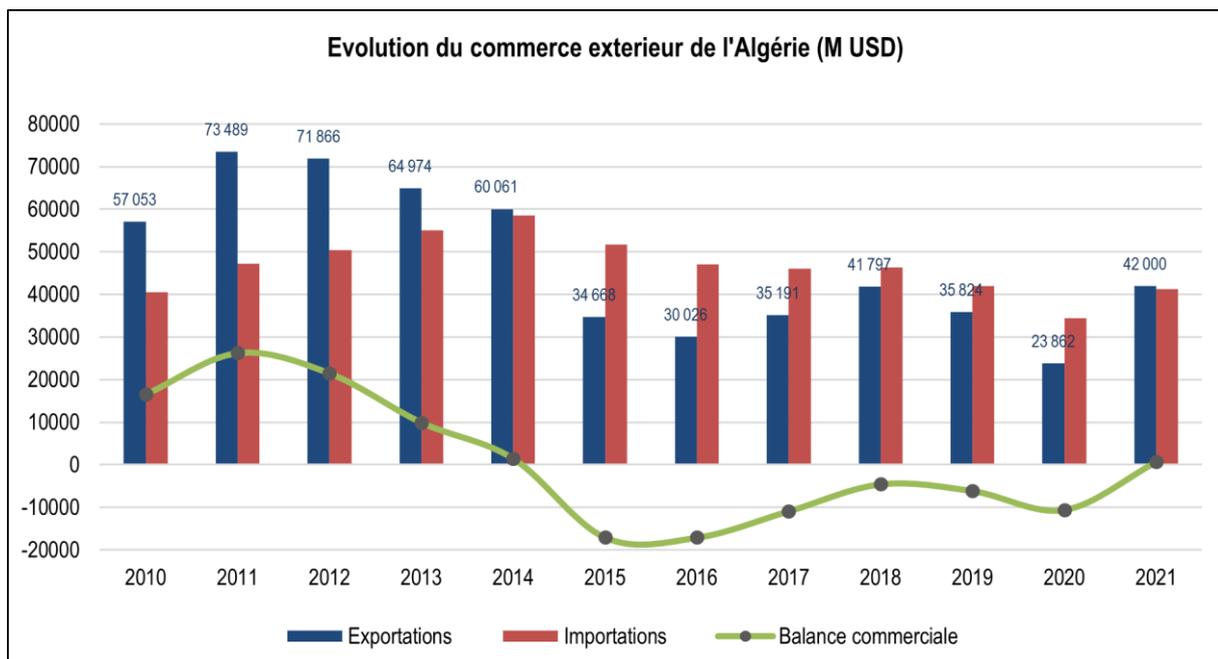
Ci-dessous un aperçu de la situation alimentaire en Algérie :

- ◆ L'Algérie est l'un des pays qui dépendent fortement des importations alimentaires pour satisfaire la demande intérieure. Les fluctuations des prix mondiaux des denrées alimentaires peuvent donc avoir un impact direct sur les coûts alimentaires dans le pays.
- ◆ Malgré la dépendance aux importations, l'Algérie a mis en place des mesures pour garantir la sécurité alimentaire de sa population. Cela inclut la distribution de subventions alimentaires, la régulation des prix et la mise en œuvre de programmes pour stimuler la production agricole locale.

- ◆ La disponibilité limitée de terres agricoles, la désertification et la gestion de l'eau limite la capacité du pays à produire suffisamment d'aliments pour sa population croissante.
- ◆ La diversité de l'alimentation peut être un défi en Algérie, avec une forte dépendance aux céréales et aux produits de base. Cela peut avoir des conséquences sur la nutrition de la population.
- ◆ Comme dans de nombreux pays, le gaspillage alimentaire est un problème en Algérie. Des efforts sont nécessaires pour sensibiliser la population à la réduction du gaspillage et à l'utilisation efficace des ressources alimentaires.
- ◆ Les changements climatiques peuvent avoir un impact sur la production agricole en Algérie en affectant les régimes de pluie et les conditions environnementales.

### 3.2. Production-Importations

La production alimentaire locale et les importations jouent un rôle essentiel pour répondre aux besoins alimentaires de la population. Cependant, la dépendance aux importations est significative en raison de divers facteurs.



**Figure 3.2.** Evolution du commerce extérieur de l'Algérie.

### 3.2.1. Production alimentaire locale

L'Algérie possède un potentiel agricole considérable, mais la production alimentaire locale est souvent confrontée à des défis. Certains des produits agricoles clés cultivés en Algérie comprennent les céréales (notamment le blé), les légumes, les fruits, les olives et les dattes. Cependant, des problèmes tels que la désertification, la gestion de l'eau, la fragmentation des terres agricoles et le manque d'adoption de techniques agricoles modernes limitent la capacité du pays à produire suffisamment de denrées alimentaires pour sa population.

### 3.2.2. Importations alimentaires

L'Algérie est l'un des plus grands importateurs de denrées alimentaires, en grande partie en raison de sa dépendance aux produits importés pour répondre à la demande alimentaire croissante de sa population. Les produits alimentaires importés en Algérie comprennent principalement :

- ◆ **Céréales** : Le blé est l'un des principaux produits importés, car il constitue une base importante de l'alimentation. Les fluctuations des prix mondiaux du blé peuvent avoir un impact significatif sur les coûts alimentaires internes.
- ◆ **Viande et produits laitiers** : L'Algérie importe également une quantité importante de viande, de produits laitiers et d'autres produits d'origine animale pour répondre à la demande croissante en protéines animales.
- ◆ **Huiles végétales** : Les huiles végétales, telle que l'huile de tournesol, sont également importées en grande quantité.
- ◆ **Sucres et confiseries** : Les produits sucrés font également partie des produits alimentaires importés.
- ◆ **Autres denrées alimentaires transformées** : Une variété de produits alimentaires transformés, y compris des produits emballés et des boissons, sont importés.

### 3.3. Consommation alimentaire et besoins nutritionnels

La consommation alimentaire et les besoins nutritionnels en Algérie sont influencés par divers facteurs tels que les habitudes alimentaires, les préférences culturelles, le niveau de revenu, l'accès aux aliments et les connaissances en matière de nutrition. La population algérienne a traditionnellement une alimentation basée sur les céréales, les légumes, les fruits, les produits laitiers et les viandes. Cependant, il peut y avoir des variations dans la consommation et les besoins nutritionnels d'un individu à l'autre. Le gouvernement algérien a mis en place des initiatives pour promouvoir une alimentation saine et équilibrée, sensibiliser à la nutrition et encourager les choix alimentaires nutritifs.

Cela peut inclure des campagnes de sensibilisation, des programmes d'éducation nutritionnelle et des efforts pour renforcer la sécurité alimentaire et l'accès à des aliments de qualité. Les principaux aspects de la consommation alimentaire et des besoins nutritionnels en Algérie sont :

- ◆ **Aliments de base** : Les céréales, en particulier le blé, constituent la base de l'alimentation en Algérie. Le pain (principalement la baguette) est un aliment de base consommé quotidiennement.
- ◆ **Légumes et fruits** : Les légumes et les fruits sont consommés régulièrement et sont une source importante de vitamines, de minéraux et de fibres dans l'alimentation. Ils jouent un rôle crucial dans la fourniture de nutriments essentiels.
- ◆ **Produits laitiers** : Les produits laitiers, tels que le lait, le yaourt et le fromage, sont également consommés et fournissent des protéines et du calcium.
- ◆ **Protéines animales** : Les viandes (viande de bœuf, de mouton, de volaille, etc.) et les poissons sont des sources de protéines animales importantes dans l'alimentation.
- ◆ **Légumineuses** : Les légumineuses comme les lentilles, les pois chiches et les haricots sont couramment consommées en Algérie et constituent une source de protéines et de fibres.
- ◆ **Besoins nutritionnels** : Les besoins nutritionnels varient en fonction de l'âge, du sexe, du niveau d'activité physique et de l'état de santé. Les besoins comprennent des macronutriments tels que les protéines, les glucides et les lipides, ainsi que des micronutriments tels que les vitamines et les minéraux. Les carences en vitamines et en minéraux, comme le fer, la vitamine D et l'iode, peuvent être des problèmes de santé importants.
- ◆ **Défis nutritionnels** : Malgré une disponibilité apparente d'aliments, des défis liés à la nutrition persistent en Algérie. L'obésité, la malnutrition (tant la malnutrition chronique que la malnutrition par carence) et les problèmes de santé associés, tels que le diabète et les maladies cardiovasculaires, sont des préoccupations croissantes.

### 3.4. Nécessité de valorisation des sous-produits des industries agroalimentaires

La valorisation des sous-produits des industries agroalimentaires revêt une grande importance à la fois sur les plans économique, environnemental et social. Les sous-produits, tels que les déchets de transformation alimentaire et les résidus de production, ont le potentiel d'être transformés en ressources utiles plutôt que d'être gaspillés. Parmi les raisons pour lesquelles la valorisation des sous-produits agroalimentaires est nécessaire en Algérie, il y a :

### **3.4.1. Réduction du gaspillage alimentaire**

La valorisation des sous-produits permet de réduire le gaspillage alimentaire en transformant les déchets alimentaires en produits utiles. Cela contribue à une utilisation plus efficace des ressources alimentaires.

### **3.4.2. Création de valeur ajoutée**

En transformant les sous-produits en produits tels que les compléments alimentaires, les ingrédients pour l'industrie cosmétique, les aliments pour animaux, les engrais organiques ou même en biocarburants, l'Algérie peut créer de nouvelles sources de revenus et de valeur ajoutée à partir des déchets.

### **3.4.3. Renforcement de la sécurité alimentaire animale**

Certains sous-produits agroalimentaires peuvent être utilisés comme aliments pour animaux, contribuant ainsi à l'amélioration de l'élevage et à la sécurité alimentaire animale.

### **3.4.4. Réduction de l'impact environnemental**

L'élimination inappropriée des sous-produits agroalimentaires peut entraîner une pollution environnementale. La valorisation de ces sous-produits réduit l'impact environnemental en minimisant la quantité de déchets envoyés aux décharges ou rejetés dans l'environnement.

### **3.4.5. Création d'emplois**

L'industrie de la valorisation des sous-produits agroalimentaires peut créer des emplois dans les secteurs de la collecte, du traitement, de la transformation et de la commercialisation.

### **3.4.6. Utilisation durable des ressources**

La valorisation des sous-produits contribue à une utilisation plus durable des ressources agricoles en exploitant au maximum les matières premières et en réduisant la demande de nouvelles ressources.

### **3.4.7. Innovation et recherche**

La valorisation des sous-produits nécessite des recherches et des innovations pour développer des méthodes de transformation efficaces. Cela peut stimuler la recherche scientifique et technologique dans le pays.

# Chapitre 4

## Chapitre 4.

# Épuration des eaux usées

Les eaux usées industrielles regroupent toutes les eaux qui sont rejetées par l'usine dans le milieu extérieur, après avoir contribué à la fabrication, au nettoyage, au transport et au refroidissement. Après utilisation, ces eaux sont fortement contaminées par des substances de nature variable, cette contamination peut englober des matières en suspension, des colloïdes, de la matière organique dissoute et des éléments minéraux.



**Figure 4.1.** Des eaux usées industrielles.

La station d'épuration des eaux usées, une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques, industrielles ou pluviales avant le rejet dans le milieu naturel. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur.



**Figure 4.2.** Station d'épuration des eaux usées.

### **Objectifs principaux d'une station d'épuration**

- ◆ Économie importante de l'eau ;
- ◆ Eviter la surexploitation des nappes souterraines et leurs protections contre la pollution ;
- ◆ Réutilisation des eaux épurées dans le domaine de l'irrigation ;
- ◆ Minimiser le risque des maladies à transmission hydrique.

### **Conditions d'implantation d'une station d'épuration**

- ◆ Eviter le maximum les zones inondables ;
- ◆ Prendre en considération les zones urbanisées et urbanisables à cause des odeurs désagréables, maladies transmissibles par l'air, ... etc ;
- ◆ La position de la station d'épuration doit être dans un point où la collecte des eaux usées se fait au maximum.

### **Risques liés à la station d'épuration**

- ◆ Risques de chutes, de glissades, liées à la circulation du personnel aux abords immédiats des équipements et matériels ;
- ◆ Le personnel exploitant peut être contaminé par voie digestive, respiratoire ou cutanée tout au long du processus de traitement de l'eau ;
- ◆ Les risques d'incendie et d'explosion liés à la présence de gaz de fermentation ou de résidus de produits inflammables, nécessaires à l'exploitation ou introduits accidentellement par les eaux résiduaires ;
- ◆ Les risques d'asphyxie liés aux espaces confinés, aux fosses, ... etc.

Le tableau 4.1 représente la consommation en eau de quelques industries.

**Tableau 4.1.** Consommation d'eau de quelques industries.

Secteur	Production	Quantité (L <sub>eau</sub> /kg produit)
<b>Sidérurgie : Avec recyclage</b>	Acier	3-4
<b>Papeterie</b>	Carton	15
	Papier	52
<b>Textile</b>	Carton	300-800
<b>Agroalimentaire</b>	Lait pasteurisé	0,41-3,15
	Beurre	1,6-7,3
	Yaourt	2,7-5,85
	Fromagerie	0,6-2,8
	Sucre	8

## 4.1. Procédés d'épuration des eaux usées

Le traitement d'épuration des eaux usées des industries agroalimentaires est essentiel pour minimiser leur impact sur l'environnement. Le choix des technologies de traitement dépendra du type d'activité, de la composition des eaux usées, de la taille de l'usine et des réglementations locales. Les eaux usées peuvent être traitées par divers procédés qui reposent sur des phénomènes physiques, chimiques et biologiques. Les étapes de l'épuration regroupent les procédés suivants :

### 4.1.1. Les prétraitements

Étape avant le traitement à proprement dit. L'objectif est de préparer l'effluent pour le rendre apte à subir le traitement choisi, il regroupe : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage-dégraissage.

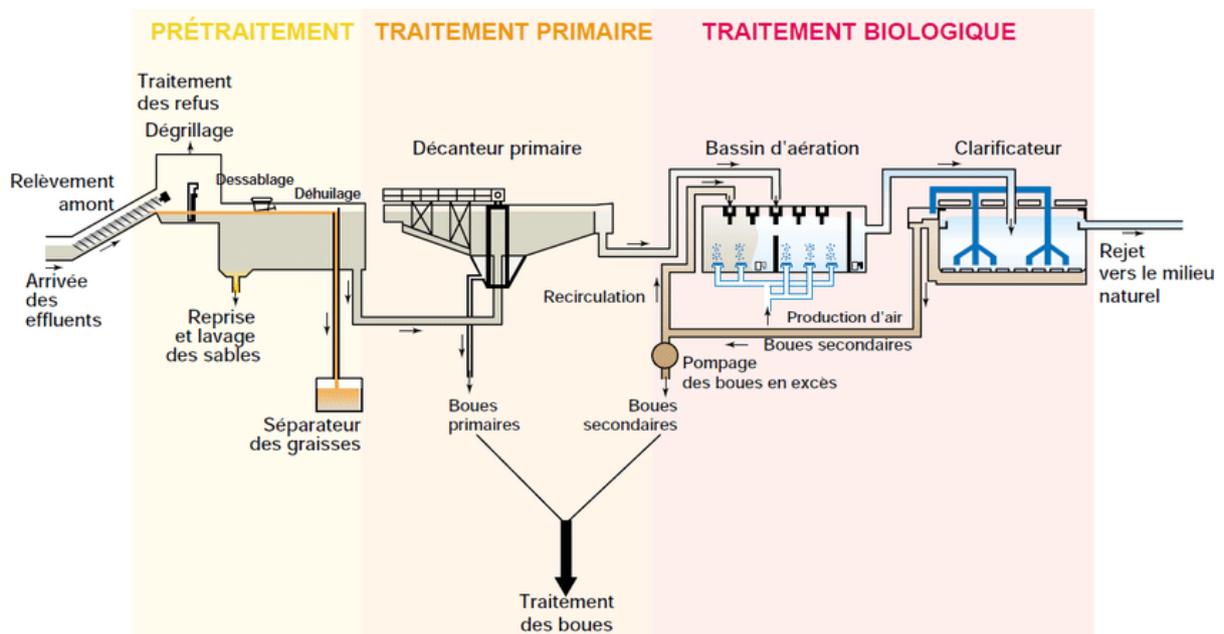


Figure 4.3. Les procédés de traitement des eaux usées.

#### 4.1.1.1. Le dégrillage

Le dégrillage est réalisé par le passage des eaux usées à travers d'une grille caractérisée par l'écartement de ses barreaux, 30 à 100 mm, 10 à 25 mm, 3 à 10 mm pour un dégrillage grossier, moyen ou fin, respectivement. Les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration. Après nettoyage des grilles par des moyens mécaniques, manuels ou automatiques, les déchets sont évacués avec les ordures ménagères.



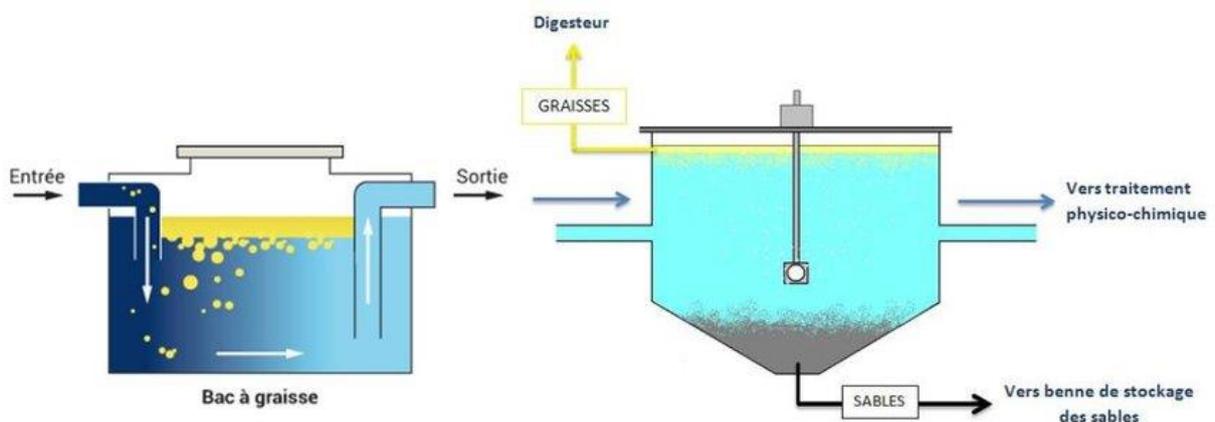
**Figure 4.4.** Un dégrilleur.

#### 4.1.1.2. Le dessablage

Le dessableur est un ouvrage dans lequel les particules denses, dont la vitesse est inférieure à 0,3 m/s, vont pouvoir se déposer. Il s'agit principalement des sables. Il est en effet souhaitable de les récupérer en amont de la station plutôt que de les laisser s'accumuler en certains points (bassin d'aération) où ils engendrent des désordres divers. Par ailleurs, ils limitent la durée de vie des pièces métalliques des corps de pompe ou d'autres appareillages (effet abrasif). Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés.

#### 4.1.1.3. Le déshuilage-dégraissage

Le dégraisseur a pour objet la rétention des graisses par flottation naturelle ou accélérée par injection de fines bulles. Ces matières grasses sont susceptibles de nuire à la phase biologique du traitement (mousses).



**Figure 4.5.** Le dessablage et le déshuilage-dégraissage.

### 4.1.2. Les traitements primaires

Après les prétraitements, les effluents conservent une charge polluante dissoute et des matières en suspension. Les procédés de traitement primaire sont physiques, comme la décantation, ou physico-chimique. Les matières issues de la décantation primaire constituent les boues primaires. Elles sont extraites par pompage vers la filière de traitement des boues. L'eau clarifiée est recueillie en surface par des goulottes et dirigée vers le traitement biologique.

#### 4.1.2.1. Décantation classique

La base de ces procédés de séparation solide-liquide est la pesanteur. Ces procédés permettent d'éliminer, d'une part 50 à 60% des matières en suspension et réduit d'environ 30% la DBO et la DCO et d'autre part, de réduire leurs caractéristiques dimensionnelles (élimination des matières présentant une taille supérieure à 50  $\mu\text{m}$ ). Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé « décanteur » pour former les « boues primaires ». Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage. Il existe de nombreux types de décanteurs classiques :

- ◆ Décanteur horizontal avec raclage des boues ;
- ◆ Décanteur cylindro-conique ordinaire ;
- ◆ Décanteur circulaire avec raclage des boues.



**Figure 4.6.** Décanteur physico-chimique à recirculation de boues externes.

#### 4.1.2.2. La coagulation-floculation

Pour éliminer la turbidité et la couleur d'une eau principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. On a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

- ◆ **La coagulation** : ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques : sels minéraux cationiques (sels de fer ou d'aluminium).
- ◆ **La floculation** : favorise, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées par coagulation en les rassemblant pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par le procédé de décantation.

#### 4.1.3. Traitements biologiques

L'épuration biologique, une méthode qui exploite des micro-organismes pour dégrader les contaminants organiques présents dans les eaux usées, a pour but d'éliminer la matière polluante biodégradable contenue dans l'eau usée en la transformant en matières en suspension. La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène) ou anaérobie (en l'absence d'oxygène).

##### 4.1.3.1. Traitements anaérobies

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO<sub>2</sub>. Ce type de traitement n'est utilisé que pour des effluents très concentrés en pollution carbonée.

##### 4.1.3.2. Traitements aérobies

###### A. Cultures libres (boues activées)

Le terme « cultures libres » regroupe les procédés où l'on provoque le développement d'une culture bactérienne dispersée au sein du liquide à traiter. Pour cela, on utilise un bassin brassé, pour conserver en suspension la culture, dans lequel est maintenue. Après un temps suffisant, la liqueur mixte est renvoyée dans un clarificateur ou décanteur secondaire où s'effectuera la séparation de l'eau épurée des boues.

**Caractéristiques** : Différents paramètres permettent de définir le fonctionnement d'une boue activée :

- ◆ La charge volumique  $C_v$  qui correspond à la quantité journalière de DBO<sub>5</sub> (en kg/j) à dégrader dans le volume  $V$  (m<sup>3</sup>) de l'ouvrage ;
- ◆ La charge massique (biologique)  $C_b$  qui est la quantité de DBO<sub>5</sub> (en kg/j) rapportée à la masse de matières en suspension totales contenues dans l'ouvrage de volume  $V$  ;
- ◆ L'âge des boues qui est le rapport entre la masse de boues présentées dans le réacteur et la masse journalière de boues extraites. Il s'exprime en jours.

## B. Cultures fixées

Ce terme regroupe tous les procédés où la biomasse épuratrice est accrochée sur un support solide à travers lequel percole l'eau à traiter. On utilise pour les cultures fixées soit : le lit bactérien ou le disque biologique.

- ◆ **Lit bactérien** : Le plus ancien procédé à biomasse fixée est le lit bactérien. La biomasse est fixée sur un matériau de grosse granulométrie (3 à 8 cm) sur lequel percole l'effluent à traiter. L'air est transféré par diffusion à travers le film d'eau ruisselant à la surface du matériau.
- ◆ **Les bio-disques (les disques biologiques)** : Ce procédé consiste à alimenter en eau usée, préalablement décantée voire tamisée, une cuve contenant des disques en rotation sur un axe horizontal. Ces disques sont les supports d'un développement de microorganismes épurateurs (biofilm).

## C. Cultures mixtes

Le traitement d'épuration par culture mixte est un procédé biologique conçu pour l'élimination d'azote et de carbone. Une solution hybride alliant les avantages du procédé à film fixe (comme la biofiltration) et la technologie de la biomasse en suspension (comme celle des boues activées).

## D. Lagunage

**D1. Lagunage naturel** : Le lagunage est un procédé d'épuration naturelle qui a pour principe d'utiliser la végétation aquatique comme agent épurateur des eaux polluées. Les plantes aquatiques sont ici utilisées comme support aux colonies bactériennes.

**Bassin 1** : (La minéralisation par les bactéries)

- ◆ **La voie physico-chimique** : naturellement des réactions chimiques ont lieu dans l'eau entre les différents éléments minéraux déjà présents.
- ◆ **La voie microbiologique** : C'est le moyen le plus efficace où les déchets organiques sont progressivement dégradés par les bactéries.

**Bassin 2** : (Le rôle des plantes)

- ◆ Les nutriments présents (sels minéraux, dérivés des lessives et dans une moindre mesure des engrais minéraux issus de l'agriculture) et le CO<sub>2</sub> (déchet de la respiration de certaines bactéries) vont être assimilés par les plantes pour permettre leur croissance. Ces organismes autotrophes vont transformer, directement grâce à

l'énergie solaire, les différents sels minéraux et le CO<sub>2</sub> en tissu organique (sucres) pour la plante et en oxygène évacué dans le milieu extérieur : c'est le phénomène de la photosynthèse.

### **Bassin 3 :** (Le rôle du zooplancton)

- ◆ Le rôle du zooplancton est d'assurer la finition de l'épuration des eaux. Ils vont jouer un rôle important comme consommateur de micro-algues, et donc comme régulateur de ces populations phytoplanctoniques.

**D2. Lagunage aéré :** Dans un premier bassin, des bactéries interviennent pour éliminer les déchets (la matière organique) et les transformer en sels minéraux et en gaz. Par la suite, dans un deuxième bassin, ces produits sont récupérés par les plantes pour permettre leur développement. Celles-ci vont alors produire de l'oxygène (par photosynthèse). Les micro-algues (phytoplancton) seront consommées dans les derniers bassins par le zooplancton (animaux microscopiques). A la fin de cette étape (80 jours environ après l'entrée dans le premier bassin), les eaux sont aptes à être rejetées dans le milieu naturel.

#### **4.1.4. Traitements complémentaires (tertiaire)**

Les traitements tertiaires permettent d'affiner ou d'améliorer le traitement secondaire. Ces traitements sont réalisés lorsque le milieu récepteur l'exige. On y distingue généralement les opérations suivantes :

- ◆ La nitrification-dénitrification et déphosphatation biologique ou mixte (biologique et physico-chimique) ;
- ◆ La désinfection bactériologique et virologique.

##### **4.1.4.1. Elimination de l'azote et du phosphore**

**Elimination de l'azote :** L'azote peut être éliminé par trois voies possibles :

- ◆ **Physique :** par décantation lorsqu'il est lié aux matières en suspension.
- ◆ **Physico-chimique :** un soluté gazeux est chassé de l'eau par l'action d'un autre gaz appelé gaz laveur.
- ◆ **Biologique :** L'élimination de l'azote est le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques, de " nitrification-dénitrification ".

**A. Nitrification :** La nitrification est un processus contrôlé par l'action de certains micro-organismes spécifiques, qui conduit à la transformation de l'ammoniaque ou de l'ammonium en nitrate, c'est à dire la conversion biologique de la forme réduite,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_3$  en la forme oxydée  $\text{NO}_3^-$ .

**B. Dénitrification :** La dénitrification se fait généralement dans le même bassin que la nitrification par syncopage (arrêt de l'aération, phase anoxie). Cette étape a pour but de protéger le milieu naturel.

**Élimination du phosphore :** L'élimination du phosphore, ou « déphosphatation », peut être réalisée par deux voies :

- ◆ **Voie chimique** (pour les petites installations) : Il s'agit d'une précipitation des phosphates par des sels de fer ou d'aluminium, ou encore par de la chaux, on obtient alors des précipités insolubles de phosphates métalliques.
- ◆ **Voie biologique** : La déphosphatation biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues.

#### 4.1.4.2. Les procédés de désinfection

##### A. Les traitements chimiques de désinfection

- ◆ **La chloration** : Le chlore est un agent oxydant fort qui réagit facilement avec plusieurs substances organiques et inorganiques trouvées dans les eaux usées.
- ◆ **L'ozonation** : C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus, l'ozone est un gaz instable que l'on doit générer sur place, dans les stations d'épuration, au moyen d'une décharge électrique produite dans de l'air ou de l'oxygène. L'opération consiste à transformer l'oxygène sous forme «  $\text{O}_2$  » en oxygène sous forme «  $\text{O}_3$  ».

##### B. Les traitements physiques de désinfection

Le rayonnement ultraviolet, est un traitement qui consiste à faire passer les eaux dans un canal ouvert muni de lampes à rayons ultraviolets. Les principaux avantages de cette technologie sont l'absence de formation de produits secondaires indésirables, de même que la simplicité et la sécurité d'exploitation comparativement aux méthodes chimiques.

#### 4.2. Aspect réglementaire concernant la pollution des eaux usées industrielles

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter.

#### 4.2.1. Normes internationales

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) respective pour les eaux usées sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau 4.2.** Normes de rejets internationales

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
<b>pH</b>	6,5-8,5
<b>DBO<sub>5</sub></b>	< 30 mg/l
<b>DCO</b>	< 90 mg/l
<b>MES</b>	< 20 mg/l
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	< 0,5 mg/l
<b>NO<sub>2</sub></b>	1 mg/l
<b>NO<sub>3</sub></b>	< 1 mg/l
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	< 2 mg/l
<b>Température</b>	< 30°C
<b>Couleur</b>	Incolore
<b>Odeur</b>	Incolore

#### 4.2.2. Normes Algériennes

Les normes de rejets des effluents industriels sont fixées par la loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux, de l'ordonnance n° 96-13 du 15 Juin 1996 modifiant et complétant la loi n° 83-17, du décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993 règlementant les rejets d'effluents liquides des industriels et du décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 de la république Algérienne définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Pour quelques industries agro-alimentaires, les valeurs limites de rejets sont regroupées dans le tableau suivant :

**Tableau 4.3.** Valeurs limites selon la réglementation algérienne des rejets des IAA.

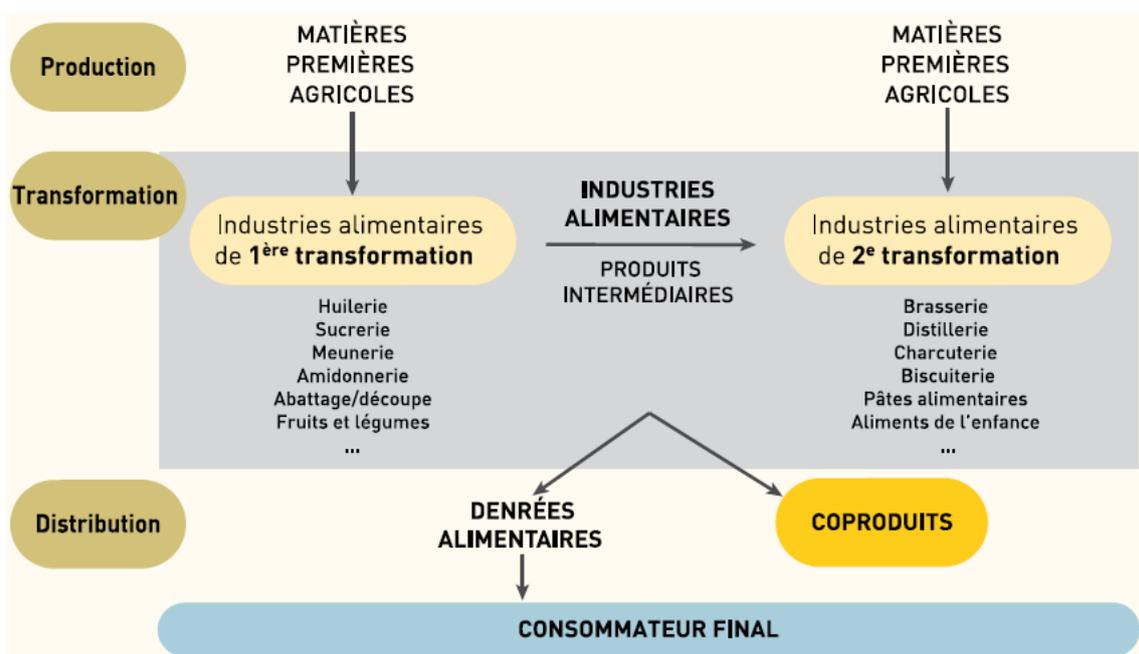
Industrie	Paramètres	Valeurs limites
<b>Abattoirs et transformation de la viande</b>	Volume/quantité (m <sup>3</sup> /t carcasse traitée)	6
	pH	5,5-8,5
	DBO <sub>5</sub> (g/t)	250
	DCO (g/t)	800
	Matières décantables (g/t)	200
<b>Sucrierie</b>	Température (°C)	30
	pH	6-9
	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	400
	DCO (mg/l)	250
	MES (mg/l)	350
	Huiles et graisses (mg/l)	5
<b>Levurerie</b>	Température (°C)	30
	pH	5,5-8,5
	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	100
	DCO (mg/l)	7000
	MES (mg/l)	30

# Chapitre 5

## Chapitre 5.

# Les traitements de valorisation des co-produits des IAA

Les coproduits générés par les industries agroalimentaires sont au cœur de la chaîne alimentaire. En effet, ils peuvent être valorisés par plusieurs secteurs. Ainsi, ils relèvent de multiples enjeux : économique, sécurité sanitaire, environnement et gaspillage alimentaire.



**Figure 5.1.** Les industries alimentaires de 1<sup>ère</sup> et de 2<sup>ème</sup> transformation.

### 5.1. Voies de valorisation des coproduits des IAA

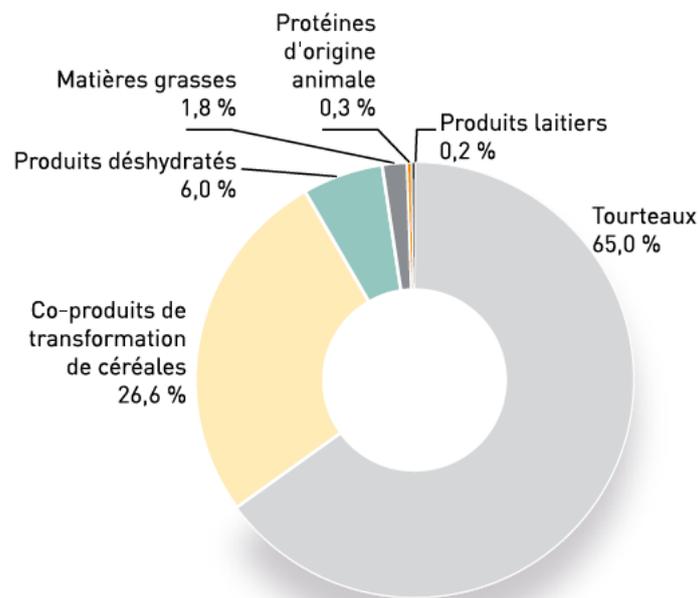
#### 5.1.1. Valorisation en alimentation animale

L'alimentation animale valorise les coproduits issus de l'industrie agroalimentaire comme matières premières pour l'alimentation des animaux de rente (bovins, volailles, ...) et de compagnie (chiens, chats, ...).

##### 5.1.1.1. Alimentation des animaux de rente

Il existe différentes modalités de valorisation des coproduits en alimentation des animaux de rente :

- ◆ La fabrication industrielle d'aliments pour animaux ;
- ◆ La valorisation directement en élevage ;
- ◆ Des intermédiaires peuvent également prendre en charge directement auprès de l'industrie agroalimentaire les coproduits valorisables en alimentation animale.



**Figure 5.2.** Les coproduits utilisés dans la fabrication d'aliments pour animaux de rente.

#### 5.1.1.2. Alimentation des animaux de compagnie

L'industrie de la nutrition des animaux de compagnie utilise des coproduits de l'industrie alimentaire comme matières premières pour la fabrication d'aliments pour animaux de compagnie (chiens, chats, oiseaux, ...etc). Ce secteur se divise en deux catégories de produits : le pet food humide (conserves) et le pet food sec (croquettes obtenues par cuisson-extrusion).

#### 5.1.2. Valorisation agronomique

La valorisation agronomique concerne : la fabrication d'engrais ou d'amendements organiques, le compostage et l'épandage direct avec pas ou peu de transformation.

##### 5.1.2.1. Fabrication d'engrais ou d'amendements organiques

Les engrais apportent aux plantes des éléments nutritifs (éléments majeurs, éléments secondaires et oligo-éléments). Ils peuvent se présenter sous les formes, solides (granulés, poudres, bouchons, ... etc) ou liquides. Les amendements, quant à eux, ont pour rôle d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Les fertilisants regroupent les engrais et les amendements, ceux-ci peuvent être minéraux ou organiques ou organo-minéraux quand ils résultent d'un mélange des deux origines.

### 5.1.2.2. Épandage direct

L'épandage est l'action de répandre dans les champs des matières présentant un intérêt agronomique. Le terme « épandage » est utilisé quelles que soient les matières épandues : engrais ou amendements minéraux, matières organiques brutes ou transformées. L'épandage direct concerne en majorité les effluents d'élevage et les boues de station d'épuration, mais également tous les autres déchets organiques. Les coproduits suivants susceptibles d'être épandus : les verts de betteraves, le blanc technique (ovoproduits), les écarts de fruits et légumes, les solubles de céréales et de féculerie, les eaux blanches (industrie laitière), les rafles de raisin et les écarts de production (brasserie). Ces coproduits représentent des volumes limités. Ils sont plutôt riches en eau, ce qui facilite leur épandage.

### 5.1.2.3. Compostage

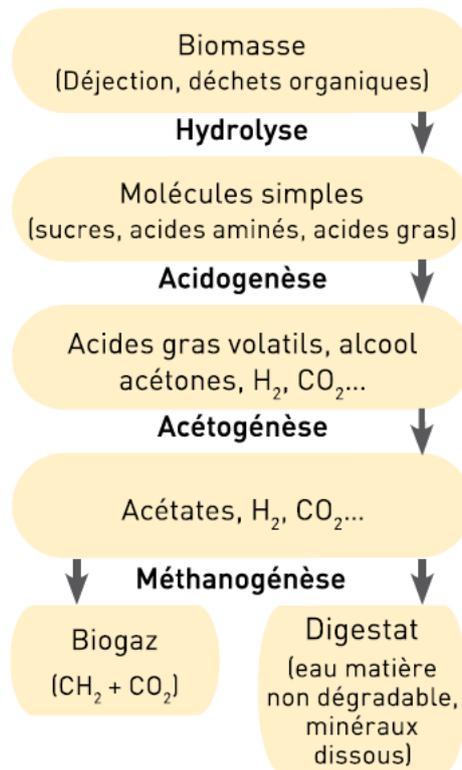
Le compostage est un procédé de transformation aérobie de matières fermentescibles dans des conditions contrôlées. Il permet l'obtention d'une matière fertilisante stabilisée riche en composés humiques, le compost. Il s'accompagne d'un dégagement de chaleur et de gaz carbonique.

## 5.1.3. Valorisation énergétique

### 5.1.3.1. Méthanisation

La méthanisation est un procédé biologique permettant de valoriser la matière organique en produisant du biogaz, une énergie renouvelable, et un digestat pouvant être valorisé comme fertilisant. La méthanisation (figure 5.3) repose sur le principe d'une digestion anaérobie partielle (sans oxygène) de la matière organique par une flore bactérienne. Le procédé de dégradation aboutit à la formation de biogaz et d'un digestat :

- ◆ Le **biogaz** trouve différentes voies de valorisation par la production à la fois de l'électricité et de la chaleur à partir du biogaz, la production d'eau grâce à une chaudière à gaz et l'épuration du méthane puis son injection dans le réseau de gaz naturel ou être utilisé comme carburant véhicule.
- ◆ Le **digestat** est généralement épandu « brut », sans aucun traitement. Une séparation de phase du digestat peut être effectuée et permet d'obtenir : la fraction solide riche en matière organique et en éléments phosphatés, plutôt utilisée comme un amendement, la fraction liquide contenant l'azote ammoniacal et peu de matières organiques, elle est utilisable comme engrais liquide en remplacement des engrais minéraux azotés.



**Figure 5.3.** Principe de la méthanisation.

### 5.1.3.2. Incinération et combustion

L'incinération est un procédé de traitement thermique des déchets avec excès d'air. Il consiste à brûler les ordures ménagères et les déchets industriels banals dans des fours adaptés à leurs caractéristiques (composition, taux d'humidité). La chaleur dégagée par la combustion peut être récupérée. Elle est initialement sous forme de vapeur sous pression et peut ensuite être utilisée pour alimenter un réseau de chaleur ou être introduite dans un turboalternateur produisant de l'électricité.

### 5.1.4. Matières premières pour l'industrie

Certains coproduits peuvent être valorisés en alimentation humaine, c'est le cas par exemple du son de blé ou encore de la gélatine bovine. D'autres voies de valorisations existent pour les coproduits des industries agroalimentaires :

- ◆ **La fabrication de biocarburants** : après traitements, les corps gras animaux peuvent entrer dans la fabrication de biodiesel.
- ◆ **L'extraction de molécules d'intérêt** : dans l'enquête, cette voie de valorisation est apparue comme minoritaire, mais peut être à très forte valeur ajoutée. Par exemple, de l'acide hyaluronique peut être extrait des coproduits du secteur de la pêche-aquaculture et entrer dans la formulation de produits cosmétiques ou pharmaceutiques.

## 5.2. Industrie laitière

### 5.2.1. Présentation de la filière

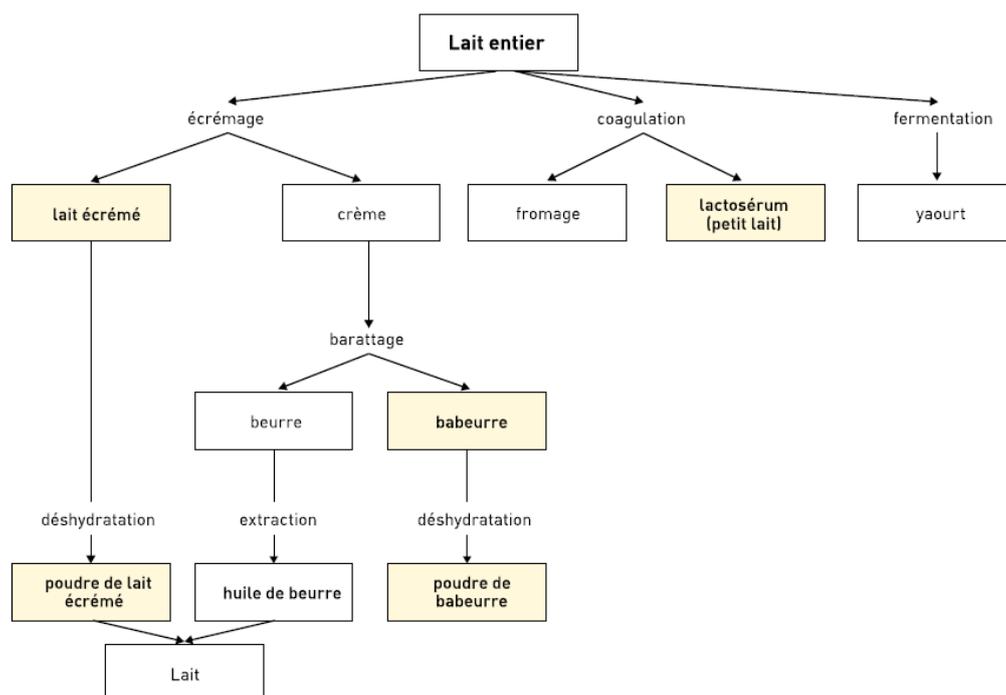
La filière laitière est constituée des producteurs de lait et des entreprises qui le transforment en une très grande variété de produits laitiers : fromages, laits conditionnés, laits en poudre, crèmes, yaourts et desserts, matières grasses laitières, ... etc, issus de techniques de fabrication spécifiques.

### 5.2.2. Nature et caractéristiques des coproduits

L'industrie laitière regroupe un grand nombre de secteurs d'activités différents qui génèrent chacun des coproduits de nature différente. La figure 5.4 présente un schéma simplifié de fabrication de certains produits laitiers et permet d'identifier les principaux coproduits issus de ces fabrications :

#### 5.2.2.1. Le lactosérum

Le lactosérum est un produit liquide provenant de l'industrie fromagère et de la fabrication des caséines. Il correspond au liquide translucide et jaunâtre qui se sépare du caillé après coagulation du lait lors de la fabrication du fromage. Ce sérum est riche en protéines de lait et en éléments nutritifs. Dans la majorité des cas, le lactosérum est transformé en poudre. Cependant il peut se trouver sous forme de produits intermédiaires tel que les lactosérums liquides ou concentrés. Selon les types de fromages fabriqués et leur procédé de fabrication deux sortes de lactosérum sont différenciés :



**Figure 5.4.** Schéma de fabrication des produits laitiers.

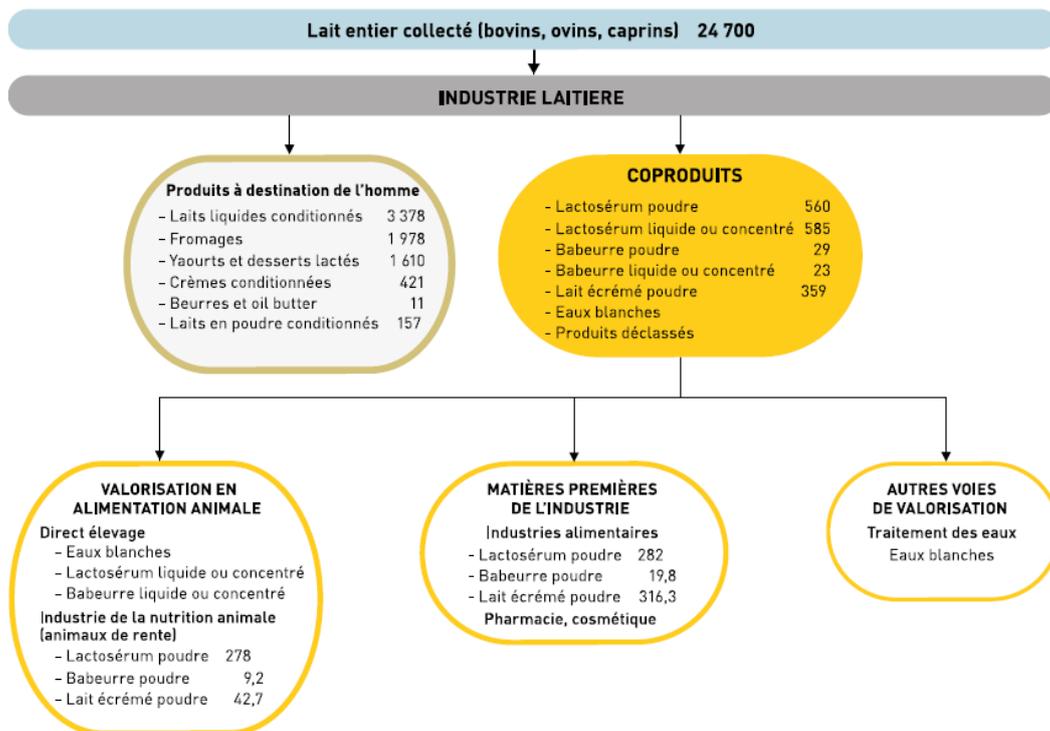
- ◆ Le **lactosérum doux** concentré à environ 35% de matière sèche est issu de la fabrication des fromages à pâte pressée. Il est énergétique car il est riche en lactose et de protéines de bonne digestibilité, utilisé dans l'industrie alimentaire et l'alimentation animale.
- ◆ Le **lactosérum acide** est issu de la fabrication des fromages à pâte molle et pâte fraîche par coagulation mixte ou lactique. Ce produit est généralement concentré jusqu'à environ 35% de la matière sèche du lactosérum brut. Il contient moins de lactose que le lactosérum doux mais est plus riche en minéraux (calcium et phosphore).

### 5.2.2.2. Le babeurre

Le babeurre est issu de la fabrication du beurre. Il correspond au liquide résiduel dans lequel flottent les grains de beurre suite au barattage de la crème. Le babeurre peut être séché sous forme de poudre de babeurre. Il est pauvre en vitamines mais riche en lécithine (20%).

### 5.2.3. Voies de valorisation des coproduits

Les poudres de lactosérum, de babeurre et de lait écrémé sont utilisées majoritairement dans les industries alimentaires, en tant que matières premières pour la fabrication de biscuits ou de lait infantile par exemple. Elles sont également utilisées par les fabricants d'aliments pour animaux. Le lactosérum et le babeurre sous forme liquide peuvent être utilisés directement en élevage. Dans ce cas, les fréquences d'approvisionnement des élevages doivent être très régulières : par exemple, entre 24 heures et 3 jours pour le lactosérum doux. Les poudres de lactosérum peuvent également avoir des applications en pharmacie ou cosmétique.



**Figure 5.5.** Schéma des voies de valorisation des coproduits du secteur des industries laitières.

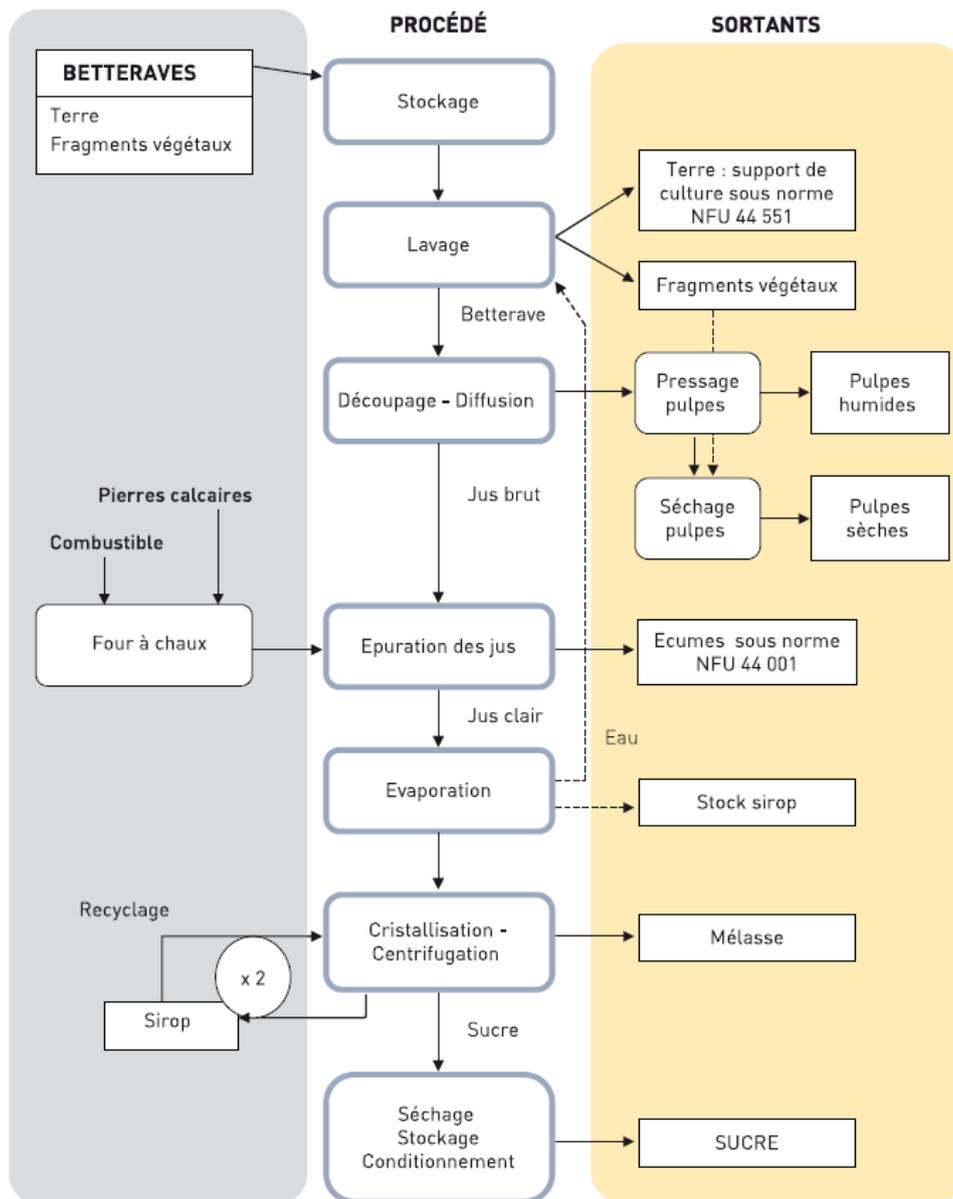
## 5.3. Industrie sucrière

### 5.3.1. Présentation de la filière

L'industrie sucrière extrait le sucre des betteraves sucrières. Les coproduits représentent la moitié du volume de betteraves mises en œuvre. Leur valorisation est donc un enjeu important pour la filière sucrière qui considère d'ailleurs ces matières comme des produits plutôt que des coproduits.

### 5.3.2. Nature et caractéristiques des coproduits

Dans le process de fabrication en figure 5.6, les coproduits du secteur de l'extraction du sucre sont identifiés, à savoir :



**Figure 5.6.** Diagramme de fabrication de l'industrie sucrière.

### 5.3.2.1. La pulpe de betterave

La pulpe de betterave résulte de l'extraction par diffusion du jus sucré des cossettes de betteraves à sucre. Ce sont les « cossettes épuisées », correspondant principalement aux fibres constitutives de la racine de betterave :

- ◆ La **pulpe humide** est un produit qui contient environ 10% de matière sèche. Cette forme représente une quantité marginale. Du fait de la forte humidité du produit, l'utilisation reste très locale. Lorsqu'elle est valorisée en alimentation animale, elle est conservée par ensilage et distribuée aux animaux de rente en hiver (surtout bovins).
- ◆ La **pulpe surpressée** est un produit dont une partie de l'eau a été extraite par pressage à l'usine afin d'obtenir une pulpe contenant 20 à 30% de matière sèche. Cette pulpe est une excellente matière première pour les animaux du fait notamment de sa richesse en énergie, de sa bonne conservation par ensilage et de son appétence. La conservation de cette pulpe est assurée par ensilage à la ferme.
- ◆ La **pulpe déshydratée** est un produit dont l'essentiel de l'eau est éliminé jusqu'à obtenir près de 90% de matière sèche. Elle se présente souvent agglomérée en pellet. Ce traitement permet la conservation sur de longues périodes et le transport sur de grandes distances. Ce produit possède une très bonne valeur nutritive et est très appétent pour les animaux.

### 5.3.2.2. La mélasse

La mélasse est le produit constitué par le résidu sirupeux recueilli après cristallisation de la liqueur formée durant la fabrication du sucre. Pour l'alimentation animale, la mélasse est utilisée pour son appétence et son pouvoir liant. Elle peut être aussi employée pour favoriser l'ingestion d'aliments peu appétent. Ce produit sert aussi à la production de levure et comme matières premières pour les industries de la chimie.

### 5.3.2.3. Les sirops de basse pureté

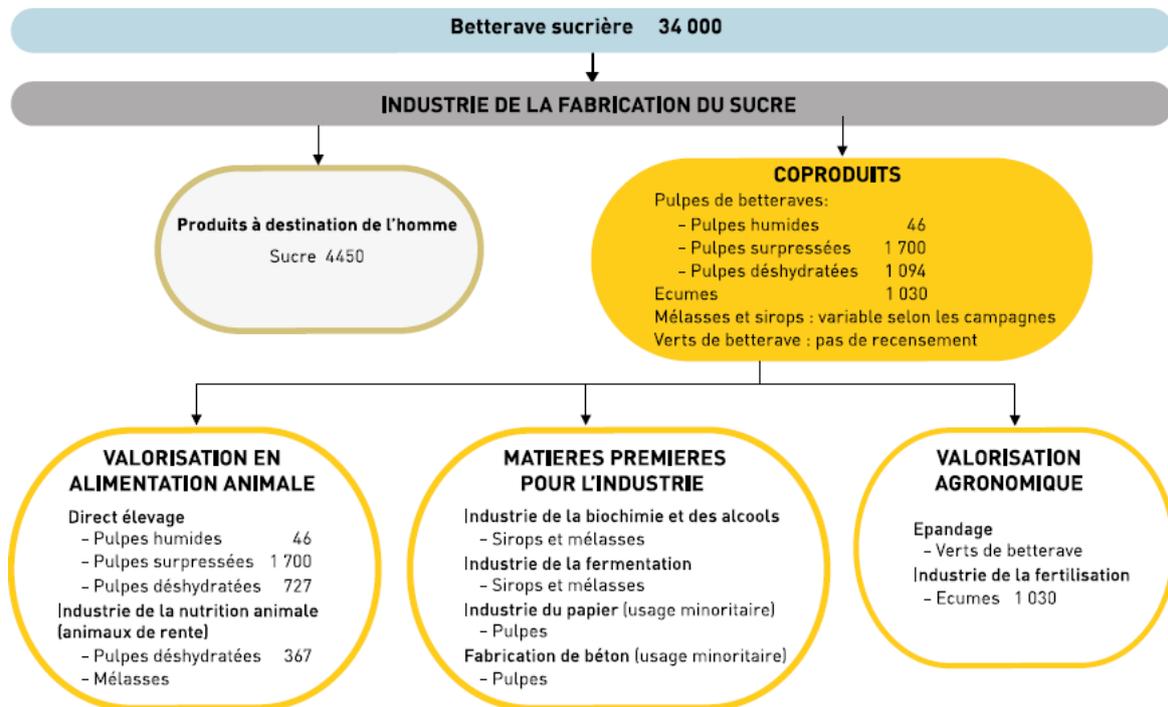
Les sirops de basse pureté correspondent aux résidus sirupeux obtenus après la cristallisation de 2<sup>e</sup> jet. Ils contiennent plus de sucre que la mélasse.

### 5.3.2.4. Les feuilles, collets et radicules (appelés verts de betteraves)

Les feuilles, collets et radicules sont issus du lavage des betteraves. Les verts de betteraves sont broyés et incorporés soit aux pulpes déshydratées, soit aux eaux de lavage qui sont épandues.

### 5.3.3. Voies de valorisation des coproduits

Les voies de valorisation des coproduits de cette filière sont présentées dans la figure 5.7.



**Figure 5.7.** Schéma des voies de valorisation des coproduits du secteur sucre de betteraves.

- ◆ L'alimentation animale est la voie de valorisation de la quasi-totalité des pulpes de betteraves, qui représentent 36% des coproduits de la sucrerie. La valorisation des pulpes en alimentation animale reste intéressante tant qu'il y a un marché. Etant des produits fermentescibles, leur valorisation énergétique est une option. Tout dépend du prix de l'énergie et du carbone. Des débouchés industriels sont en cours de développement pour les pulpes, bien qu'ils restent minoritaires : opacifiants pour les industries du papier, isolants pour la construction ... etc.
- ◆ Les voies de valorisation des mélasses planent sur les biocarburants.
- ◆ Les écumes sont vendues à des agriculteurs en tant qu'amendements minéraux basiques. Elles sont intéressantes pour la fertilisation car elles ont une valeur neutralisante combinée à un apport de matière organique qui permet une meilleure structuration du sol. Elles représentent un substitut aux amendements minéraux.

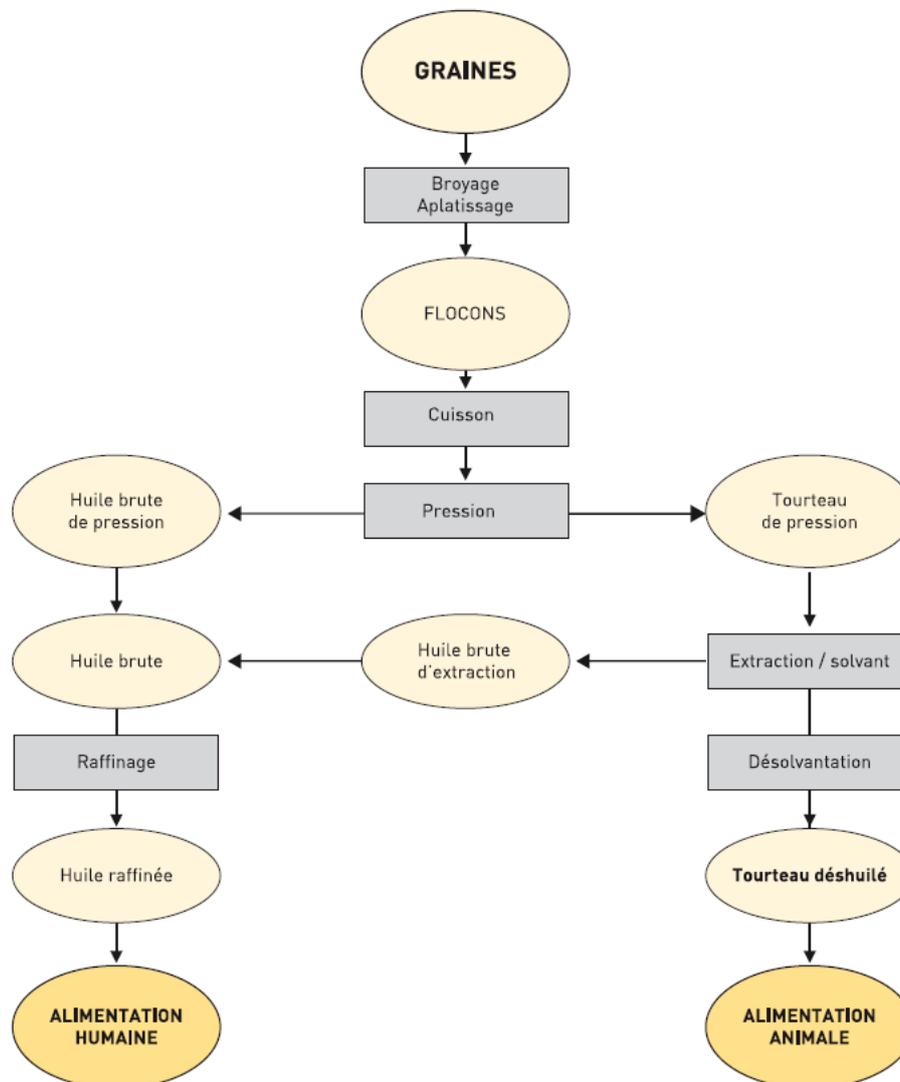
## 5.4. Industrie huilière

### 5.4.1. Présentation de la filière

L'industrie de la trituration produit des huiles et des tourteaux par pressage des graines d'oléagineux puis extraction par un solvant.

### 5.4.2. Nature et caractéristiques des coproduits

Le schéma des process de fabrication présenté sur la figure 5.7 met en évidence les coproduits de la filière. Ces coproduits sont essentiellement des tourteaux issus du déshuilage des graines.



**Figure 5.8.** Schéma du process d'extraction de l'huile.

- a. Les **tourteaux de colza** sont les coproduits de l'extraction de l'huile des graines de colza par pression puis par un solvant. Après désolvantation, les écailles de colza sont granulées pour donner un tourteau contenant 1 à 2% d'huile résiduelle et 10 à 12% d'eau.
- b. Les **tourteaux de tournesol** sont issus de la trituration des graines de tournesol. Le tourteau après séchage contient entre 10 et 12% d'humidité. Le tourteau représente environ 55% du poids de la graine et sa composition protéique en fait une bonne matière première pour l'alimentation animale.
- c. Les **tourteaux de soja** correspondent, après extraction de l'huile, à 80% du poids des graines de soja. Les tourteaux de soja contiennent jusqu'à 47% de matières protéiques riches en lysine, ils ont une bonne valeur énergétique, ce qui en fait une matière première très complète pour les animaux.

### 5.4.3. Voies de valorisation des coproduits

À ce jour, l'alimentation animale est la voie majoritaire de valorisation. Les différents types de tourteaux ont des particularités pour l'incorporation en alimentation animale :

- ◆ Le tourteau de soja peut être utilisé pour toutes les espèces : en effet, il possède une forte teneur en protéines mais aussi en énergie. Le premier débouché de ce tourteau est l'alimentation des volailles, car elles ont besoin de régimes très concentrés en protéines. Il est donc difficile d'en diminuer la consommation, ce qui pose question par rapport à l'autonomie protéique.
- ◆ Le tourteau de colza possède des facteurs antinutritionnels comme les glucosinolates. Son taux d'incorporation est donc limité à 15% dans les aliments pour volailles. Les deux tiers des volumes en tourteau sont utilisés dans l'alimentation pour ruminants. En effet, c'est une matière première économiquement intéressante pour les éleveurs.
- ◆ Le tourteau de tournesol n'a pas de limite d'incorporation liée à la présence de facteurs antinutritionnels. Il possède toutefois un fort taux de fibres (qui peut varier selon la présence ou non d'un décorticage préalable de la graine avant la trituration), ce qui peut poser des problèmes en formulation. Le tourteau de tournesol est surtout utilisé dans l'alimentation des ruminants. Les tourteaux de tournesol à fortes teneurs en protéines sont plus polyvalents et intéressent également les formules volailles.
- ◆ Des travaux sont en cours sur des voies de valorisation plus rémunératrices des tourteaux (extraction de protéines pour des usages en alimentation humaine, valorisation non-alimentaire, ... etc.).

## 5.5. Industrie des fruits et légumes transformés

### 5.5.1. Présentation de la filière

Ces fruits et légumes sont destinés à deux marchés distincts : le frais et le transformé. Ces légumes peuvent être transformés selon différents process (conserverie, surgélation, déshydratation, quatrième gamme, fabrication de jus, ... etc). Les principaux légumes d'industrie sont les suivants : haricots verts, pois, carottes, maïs doux et épinards.

### 5.5.2. Nature et caractéristiques des coproduits

Les coproduits de cette filière sont :

- ◆ Les **écarts de triage** correspondent aux fruits et légumes dont l'aspect ou le calibre ne satisfont pas aux normes de commercialisation.
- ◆ Les **déchets de transformation** sont issus des usines de conserves, de surgélation, de congélation et de quatrième gamme. Il s'agit d'éléments qui n'entrent pas dans le produit final (peaux, pulpes, parties abîmées, éléments non consommables ... etc). Leur composition est très variable et dépend du procédé de fabrication.

### 5.5.3. Voies de valorisation des coproduits

Les coproduits des filières fruits et légumes sont valorisés majoritairement en alimentation animale, directement en élevage. Ces coproduits peuvent également faire l'objet de dons à des associations, être épandus ou compostés. Les coproduits des filières fruits et légumes transformés sont nombreux et de natures diverses. Les volumes de ces coproduits sont variables selon les années et peu prévisibles. Leur valorisation est peu organisée, et se fait au cas par cas. Ces coproduits peuvent être cédés à des prix intéressants, voire gratuitement. Cependant, leur coût de transport étant limitant, leur valorisation se fait préférentiellement de manière locale.

## 5.6. Industrie de la viande

### 5.6.1. Présentation de la filière

Cette filière consiste en l'abattage d'animaux d'élevage et la découpe des carcasses.

#### 5.6.1. Nature et caractéristiques des coproduits

Les coproduits de cette filière sont des parties des animaux non consommés habituellement par l'homme : les peaux, le sang, les graisses, les os, certains abats, les matières stercoraires et les chutes de parage. La filière volaille génère également des coproduits spécifiques tels que : les pattes, les têtes, les plumes et duvets. Issus de tous les maillons de la filière (élevages, abattoirs et ateliers de découpe, industries agroalimentaires, boucherie), ces coproduits sont principalement valorisés par les industries des coproduits animaux.

##### 5.6.1.1. Sous-produits de catégories 1 et 2

Les sous-produits des catégories 1 et 2 sont broyés, cuits et déshydratés. Leur pressage conduit à deux types de produits :

- ◆ Des farines animales « multi-espèces » de catégorie 1 ou 2 (selon la ligne de production): ces farines concentrent la partie protéique des sous-produits ;
- ◆ Des graisses animales « multi-espèces » de catégorie 1. Dans la pratique, il n'y a pas de production de graisses de catégorie 2, celles-ci étant mélangées avec les graisses de catégorie 1 car suivant les mêmes voies de valorisation.

##### 5.6.1.2. Coproduits de catégorie 3

Différents coproduits sont issus de la transformation des matières premières de catégorie 3, protéiques et gras, avec une répartition variable selon la composition de la matière première (sauf cas particulier du sang et de la plume) :

###### a. Les PAT (Protéines Animales Transformées)

Elles sont issues entièrement de matières de catégorie 3 traitées afin de les rendre propres à être utilisées comme matière première dans les aliments pour animaux, ou bien dans la fabrication d'engrais ou amendements organiques. Les PAT peuvent être obtenues exclusivement à partir d'une espèce animale spécifique (PAT de volaille), ou être issues d'un mélange de différentes espèces incluant des ruminants (on parle de PAT « multi-espèces »).

- ◆ Les farines de plumes hydrolysées sont obtenues à partir de plumes fraîches collectées en abattoirs qui sont ensuite séchées et broyées, avant leur hydrolyse thermique sous pression.
- ◆ Les PAT de sang sont obtenues par coagulation et séchage par vapeur indirecte de sang frais et entier collecté auprès des abattoirs.

- ◆ Les produits sanguins sont les produits dérivés du sang tels que le plasma sec, congelé ou liquide, le sang entier sec, les globules rouges secs, congelés ou liquides ou tout autre composant ou mélange de ces produits.
- ◆ Les cretons constituent la fraction protéique récupérée lors de la fonte des gras de bovins ou de volailles après extraction mécanique des graisses. Les cretons sont ensuite broyés et tamisés.
- ◆ Les farines de poissons constituent la fraction protéique obtenue par déshydratation et séchage des coproduits de poissons (coproduits de filetage de conserverie) après extraction de l'huile.

### **b. Les corps gras**

- ◆ Les graisses animales sont constituées de graisses d'animaux à sang chaud. Dans la catégorie 3 se trouvent les graisses de volailles et les graisses multi-espèces contenant du ruminant.
- ◆ Les huiles de poissons sont issues de tout ou partie de poissons.
- ◆ Le suif est la graisse issue de la fonte des tissus adipeux de ruminants.

### **5.6.3. Voies de valorisation des coproduits**

#### **5.6.3.1. Sous-produits catégorie 1 et 2**

Les farines animales de catégorie 1 sont utilisées en tant que combustible en cimenteries ou en usines d'incinération. Les farines de catégorie 2 entrent principalement dans la formulation de fertilisants. La principale valorisation des graisses animales de catégorie 1 et 2 est la fabrication de biodiesel. Ces graisses peuvent également servir de combustibles.

#### **5.6.3.2. Coproduits de catégorie 3**

- a.** Les **PAT** sont valorisées à près de 80% en pet food. En effet, elles constituent des protéines de qualité pour l'alimentation des chiens et chats. Elles peuvent également être valorisées dans les industries de la fertilisation ou (pour ce qui est des PAT de volaille) en alimentation des animaux d'aquaculture.
- b.** Les **corps gras « multi-espèces »** sont valorisés à environ 40% en oléochimie. Ils permettent ainsi la fabrication de savons, détergents, peintures ...
- c.** Les **corps gras de non-ruminants de catégorie 3** sont également utilisés en alimentation animale pour les animaux de rente et de compagnie. Les corps gras sont également utilisés dans la fabrication de biodiesel. Cette voie de valorisation utilise en grande partie des graisses animales de catégories 1 et 2 mais se développe également à partir de coproduits de catégorie 3.

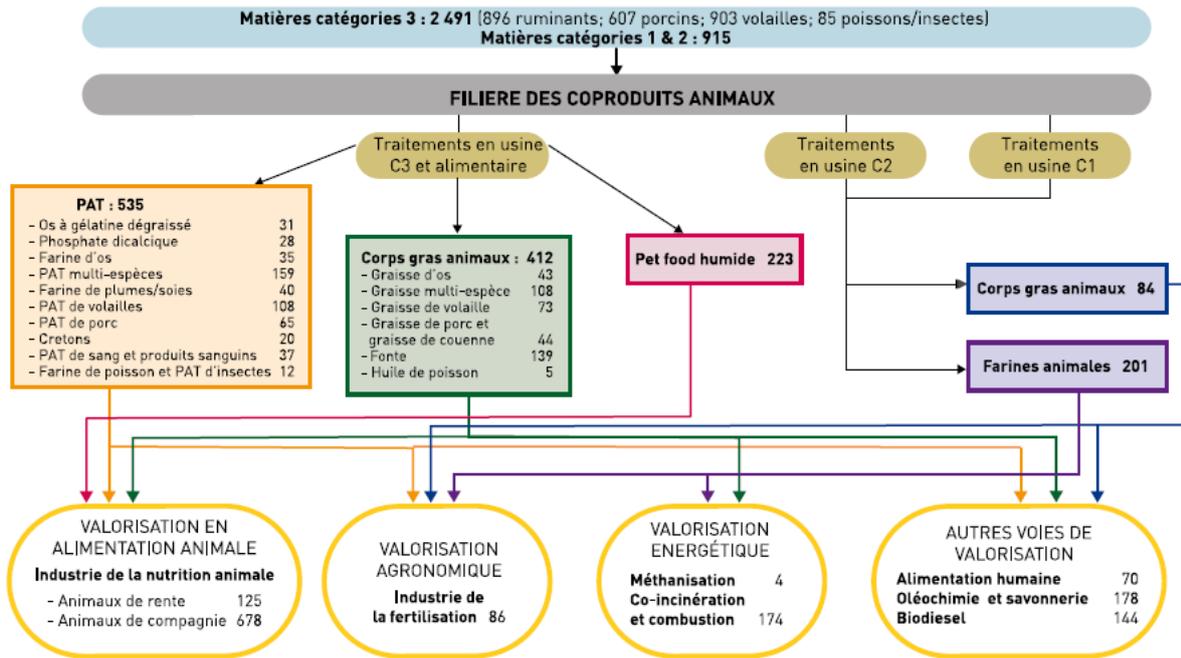


Figure 5.10. Schéma des voies de valorisation des coproduits.

## GLOSSAIRE

**Biodéchet :** Tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issue notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail, ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires

**Biomasse :** Fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture (y compris les substances animales et végétales), de la sylviculture et des industries connexes, y compris la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux.

**Coproduit :** Le terme coproduit n'est pas défini par la réglementation. La définition ci-dessous est issue d'une concertation entre les professionnels. Un coproduit est généré de façon prévisible et répond à des spécifications définies. Il peut, dans certaines filières, être considéré comme un produit à part entière, disposant d'un marché et d'une cotation (ex : tourteau de soja, drêches de blé, début et fin de production). Un traitement préalable à son utilisation peut être nécessaire pour sa valorisation comme matière première de l'alimentation animale.

**Déchet :** Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. La directive 2006/12/CE précise qu'un déchet est une substance ou objet que le producteur cherche à éliminer, à l'intention d'éliminer ou en a l'obligation (mise en décharge, incinération, retour au sol...).

**Denrée alimentaire :** Toute substance ou produit, transformé, partiellement transformé ou non transformé, destiné à être ingéré ou raisonnablement susceptible d'être ingéré par l'être humain

**Ecart de production agroalimentaire :** Le terme écart de production peut s'appliquer : soit à un sous-produit de la fabrication d'une denrée alimentaire ; soit à une ancienne denrée alimentaire.

**Produits dérivés :** Produits obtenus moyennant un ou plusieurs traitements, ou une ou plusieurs transformations ou étapes de transformation de sous-produits animaux.

**Résidu :** Substance ou objet résultant d'un processus de production et qui n'est pas le produit final que ce processus vise à produire, qui ne peut être qualifié de sous-produit sans toutefois, entrer dans la catégorie « déchets ».

**Sous-produit :** Substance ou objet résultant d'un processus de production et qui n'est pas le produit final que ce processus vise à produire, mais dont l'utilisation ultérieure et directe est certaine. La valorisation est partielle, spécifique ou locale. Quand elle existe, la valorisation économique reste de faible valeur ajoutée, soumise aux aléas économiques, et ne permet souvent l'intervention que d'un unique opérateur intermédiaire.

**Sous-produits animaux :** Les cadavres entiers ou parties d'animaux, les produits d'origine animale ou d'autres produits obtenus à partir d'animaux, qui ne sont pas destinés à la consommation humaine, y compris les ovocytes, les embryons et le sperme (Règlement (CE) n° 1069/2009, Article 3.1).

**Sous-produits animaux de catégorie 1 :** Matières qui présentent un risque important pour la santé publique (risque d'Encéphalopathie Spongiforme Transmissible, risque de présence de substance interdite ou d'un contaminant pour l'environnement, risque sanitaire émergent...). Ces matières doivent être collectées, transportées et identifiées sans retard et sont pour l'essentiel détruites par incinération ou par mise en décharge après transformation et marquage

**Sous-produits animaux de catégorie 2 :** Sous-produits animaux présentant un risque moins important pour la santé publique (risque sanitaire classique tel que véhiculé par les animaux trouvés morts en élevage, produits d'origine animale contenant des résidus de médicaments vétérinaires par exemple). Ces produits sont éliminés par incinération ou enfouissement après transformation et marquage ou peuvent être valorisés en vue de certaines utilisations autres que l'alimentation des animaux (engrais organiques, conversion en biogaz, compostage...).

**Sous-produits animaux de catégorie 3 :** Matières qui ne présentent pas de risque sanitaire pour la santé animale ou la santé publique et sont les seules qui peuvent être valorisées en alimentation animale. Elles comprennent notamment des parties d'animaux abattus et jugés propres à la consommation humaine mais que la chaîne alimentaire humaine ne valorise pas, ainsi que les denrées alimentaires d'origine animale non destinées à l'alimentation humaine pour des raisons commerciales (« anciennes denrées alimentaires »). Seules, certaines matières de catégorie 3 peuvent être utilisées dans l'alimentation des animaux, et ce, après application d'un traitement approprié dans des installations de transformation agréées. Par ailleurs, au sein des matières de cette catégorie, de nombreux produits sont valorisés après des traitements spécifiques pour des usages divers (cosmétologie, pharmacie, produits manufacturés, artisanaux voire artistiques, agronomie, énergie).

**Traitement :** Toute opération de valorisation ou d'élimination, y compris la préparation qui précède la valorisation ou l'élimination.

**Transformation :** Toute action entraînant une modification importante du produit initial, y compris par chauffage, fumaison, salaison, maturation, dessiccation, marinage, extraction, extrusion, ou une combinaison de ces procédés.

**Valorisation :** Toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en remplaçant d'autres matières qui auraient été utilisées à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, dans l'usine ou dans l'ensemble de l'économie. Il s'agit par exemple de l'utilisation comme combustible ou autre moyen de produire de l'énergie, de l'épandage sur le sol au profit de l'agriculture.

**Valorisation non alimentaire :** Valorisation dans les secteurs suivants : Fertilisation, Énergie, Carburant, Biomatériaux, Cosmétique, etc.

# Chapitre 6

## Chapitre 6.

# Évaluation économique préalable à la mise en œuvre d'une unité de valorisation

### 6.1. Quantité globale de produit à traiter

La détermination des quantités de résidus générés par les industries agroalimentaires est d'une importance cruciale lors de la mise en œuvre d'une unité de valorisation, et ce par :

1	Identification des sources de résidus, des différentes industries agroalimentaires, à partir desquelles la collecte des résidus est prévue.
2	Collecte de données sur la quantité de résidus générés par chaque source via des enquêtes, des relevés sur le terrain, des rapports existants et des données fournies par les entreprises.
3	Classification des résidus en fonction de leur type (déchets organiques, emballages, ... etc.) et de leurs caractéristiques (poids, volume, composition, ... etc).
4	Estimation de la quantité quotidienne de résidus générée pour chaque source (poids ou volume) puis la multiplication de la quantité quotidienne de résidus par le nombre de jours d'activité pour chaque source par an suivi de l'agrégation des quantités obtenues pour chaque source de résidus pour obtenir la quantité totale de résidus à traiter en une année.
5	Inclusion d'une marge de sécurité pour tenir compte des variations saisonnières, des fluctuations imprévues et de la croissance potentielle.
6	S'assurer de la compatibilité de la quantité de résidus à traiter avec la capacité de l'unité de valorisation et la technologie de traitement choisie.
7	Analyse de marché pour la commercialisation des produits valorisés, afin de s'assurer qu'il y a une demande suffisante sur le marché pour ces produits en fonction de la quantité produite. Ainsi que la prise en compte des changements dans les habitudes de consommation, les taux de croissance démographique et d'autres facteurs qui pourraient influencer la quantité de résidus générée à l'avenir.

## 6.2. Coût du matériel de traitement et du personnel

La détermination du coût du matériel de traitement et du personnel pour la mise en œuvre d'une unité de valorisation dépend de plusieurs facteurs spécifiques au projet et à la localisation. Les étapes générales à suivre pour estimer ces coûts sont les suivantes :

<b>1</b>	Identification des types de déchets à traiter, de la technologie de valorisation à utiliser, des infrastructures et des équipements nécessaires, suivi de la recherche des fournisseurs et la demande des devis pour ces équipements.
<b>2</b>	Calcul des coûts d'achat ou de location des équipements, avec l'inclusion des coûts de livraison, d'installation, de maintenance et éventuellement de formation du personnel pour utiliser ces équipements.
<b>3</b>	Identification du personnel nécessaires, y compris les opérateurs, les techniciens, les superviseurs et les responsables de la gestion avec l'estimation des salaires, des avantages sociaux et des coûts de formation pour chaque poste.
<b>4</b>	Prise en compte des coûts d'exploitation courants (l'énergie, l'eau, les produits chimiques, la maintenance préventive et les réparations) et l'inclusion des frais généraux et administratifs liés à la gestion quotidienne de l'unité (les coûts de bureau, de comptabilité, d'assurance et autres frais indirects).
<b>5</b>	Addition de tous les coûts estimés pour obtenir le coût total de mise en œuvre et d'exploitation de l'unité de valorisation sur une période donnée, par exemple une année avec l'inclusion d'une marge de sécurité dans l'estimation pour tenir compte d'éventuelles fluctuations des coûts, des imprévus et des variations de performance.
<b>6</b>	Comparaison des coûts estimés avec le budget disponible et évaluation de la faisabilité financière du projet. Si les coûts dépassent le budget, il faudra envisager d'ajuster certains aspects du projet, comme le choix de la technologie ou la taille de l'unité.

## 6.3. Emplacement de l'unité de valorisation et les transports

La détermination de l'emplacement optimal de l'unité de valorisation des résidus générés par les IAA en tenant compte des autres usines fournissant les sous-produits à traiter (et des coûts de transport associés) est une étape stratégique importante.

### 6.3.1. Emplacement

Évaluer la proximité géographique des sources qui fourniront les sous-produits à traiter par rapport à l'emplacement potentiel de l'unité de valorisation et comprendre la nature, la quantité et la fréquence de ces livraisons. Plus les sources sont proches, moins les coûts de transport seront élevés. S'assurer que l'emplacement choisi dispose de l'infrastructure nécessaire pour recevoir, stocker et traiter les sous-produits en toute sécurité.

### 6.3.2. Transports

Calculer des coûts de transport potentiels associés au déplacement des sous-produits depuis chaque source vers l'unité de valorisation (carburant, coûts de maintenance des véhicules, ... etc) et comparer ces coûts avec les économies réalisées grâce à la valorisation des sous-produits. Si la valorisation peut générer des produits à haute valeur ajoutée, les économies résultantes pourraient compenser les coûts de transport. Et si les coûts de transport sont élevés mais que la valorisation des sous-produits est avantageuse, envisager des collaborations ou des partenariats avec les fournisseurs pour partager les coûts de transport ou réduire les distances. Prendre en compte les prévisions de croissance, les changements potentiels dans les sources de sous-produits et d'autres facteurs qui pourraient affecter les coûts de transport à l'avenir.

### 6.4. Prix de revient moyen du produit après traitement

La détermination du prix de revient moyen du produit après le traitement de valorisation par l'unité dépend de plusieurs facteurs, notamment les coûts engagés pour le traitement, les coûts opérationnels, les coûts de transport, les coûts de main-d'œuvre et les marges bénéficiaires souhaitées. Il est important de réaliser une analyse détaillée des coûts et des marges pour déterminer le prix de revient moyen du produit valorisé. Cela peut impliquer la consultation d'experts financiers, la réalisation de projections financières et une compréhension approfondie du marché et de la concurrence. Pour estimer le prix de revient moyen il faut procéder comme suit :

- ◆ **Coûts de traitement** : Calculer les coûts associés au traitement des résidus et à la production du produit valorisé. Cela comprend les coûts du matériel de traitement, des équipements, des produits chimiques, de l'énergie et d'autres ressources nécessaires.
- ◆ **Coûts opérationnels** : Ajouter les coûts d'exploitation courants, tels que les coûts de main-d'œuvre, les frais généraux, les coûts d'entretien et les coûts de gestion. Inclure également les coûts liés à la conformité réglementaire et à la qualité du produit.
- ◆ **Coûts de transport** : Si les sous-produits doivent être transportés vers l'unité de valorisation ou si les produits finis doivent être distribués sur le marché, inclure les coûts de transport dans le calcul. Cela peut comprendre le carburant, les frais de transport et d'autres coûts associés.
- ◆ **Calcul du coût total** : Additionner les coûts de traitement, les coûts opérationnels et les coûts de transport pour obtenir le coût total de production du produit valorisé.

- ◆ **Marge bénéficiaire** : Déterminer la marge bénéficiaire que vous souhaitez réaliser sur chaque unité de produit vendu. Cela dépendra de facteurs tels que la concurrence sur le marché, la demande pour le produit et les objectifs financiers de votre entreprise.
- ◆ **Calcul du prix de vente** : Ajouter la marge bénéficiaire au coût total pour obtenir le prix de vente envisagé du produit valorisé.
- ◆ **Analyse de marché** : Comparer le prix de vente estimé avec les prix de produits similaires sur le marché. S'assurer que le prix envisager est compétitif et attractif pour les consommateurs tout en couvrant les coûts et en générant des bénéfices.
- ◆ **Adaptabilité** : Prendre en compte la flexibilité nécessaire pour ajuster le prix de revient en fonction des fluctuations des coûts, des variations de la demande et de l'évolution de la concurrence.
- ◆ **Test et ajustement** : Après la mise en œuvre de l'unité de valorisation, surveiller attentivement les coûts réels et la performance économique. Si nécessaire, ajuster les prix de vente et les coûts en fonction des résultats réels.

## TD N°01

# TRAITEMENTS D'ÉPURATION DES EAUX USÉES DES IAA

### EXERCICES

#### EXERCICE 01

1. Quelle est l'origine de la pollution de l'eau ?
2. Expliquez la différence entre les trois grandes catégories d'eaux usées en citant leurs caractéristiques :
  - ◆ Eaux usées ménagère ;
  - ◆ Eaux usées industrielle ;
  - ◆ Eaux usées agricoles.
3. Représenter via un organigramme des différentes filières de traitement des eaux usées.
4. Décrire le principe de fonctionnement des techniques suivantes : Lagunage / Boues activées. Commenter brièvement les avantages et les inconvénients de chaque procédé.
5. Comment peut-on utiliser les tests de DCO et DBO pour évaluer la qualité de l'eau ?

#### EXERCICE 02

1. Une station d'épuration reçoit un débit journalier de  $5000 \text{ m}^3$  d'eaux usées, avec une concentration en DBO5 de  $300 \text{ mg/L}$ .
  - a. Calculer la charge polluante journalière en  $\text{kg DBO5/j}$  ;
  - b. La station comporte un bassin d'aération de  $2500 \text{ m}^3$ . Le rendement épuratoire est de 90%. Calculer la concentration de sortie en DBO5.
2. On injecte dans un clarificateur de diamètre 18 m et de profondeur utile 4 m un débit de  $250 \text{ m}^3/\text{h}$  d'eau à traiter de concentration  $75 \text{ mg MES/L}$ . La vitesse ascensionnelle est de  $1 \text{ m/h}$ .
  - a. Calculer la surface du clarificateur ;
  - b. Calculer le rendement d'élimination des MES.

#### EXERCICE 03

Un bassin d'aération d'une STEP à boues activées reçoit un débit d'eau usée de  $7125 \text{ m}^3/\text{j}$ .

Calculer :

1. L'âge des boues «  $\theta_c$  » ;
2. La charge massique «  $C_m$  » ;
3. La concentration des boues «  $B$  » ;
4. La DBO5 à la sortie du bassin «  $S$  » ;
5. L'efficacité du traitement «  $r$  » ;
6. La quantité de boues produite «  $P$  » ;
7. La quantité  $\text{O}_2$  requise «  $\text{O}_2$  ».

Avec :

- i.  $\Theta_c = 6,5 \cdot 0,914^{(T-20^\circ)}$  ;
- ii.  $\Theta_c = 1,224C_m - 1,125$  ;
- iii.  $C_b = QS_o / BV$  Avec  $Q = V / \Theta_t$  : volume du bassin ;
- iv.  $S / S_o = \exp(-KB\Theta_t)$  ;
- v.  $r = S_o - S / S_o$  ;
- vi.  $P = B \cdot V / \Theta_c$  ;
- vii.  $O_2 = (Q(S_o - S) \times 10^{-3} / f) - 1,42P$ .

Données :

- ◆ T : température de l'effluent (25°C) ;
- ◆  $\Theta_t$  : la durée d'aération (1 heure <  $\Theta_t$  < 8 heures) ;
- ◆  $S_o$  : DBO5 de l'eau brute (185 mg/l) ;
- ◆ K : constante de Eckenfelder (0,15) ;
- ◆ f : facteur de conversion (0,45 < f < 0,68) ;
- ◆ V : volume du bassin d'aération 1781,25 m<sup>3</sup>.

#### EXERCICE 04

L'étude des paramètres physico-chimiques a été menée le long d'une rivière afin d'établir un diagnostic de l'état de la pollution des eaux de surface. Ce cours d'eau est caractérisé par une zone soumise à un rejet d'eau usée dont les périodes 1 et 2 correspondent respectivement à l'état de rivière avant et après l'élimination de l'eau polluante. La DBO a été mesurée à l'aide d'un DBO-mètre et les valeurs enregistrées sont répertoriées dans le tableau suivant :

DBO5	Période 1	Période 2
Mesure 1 (mg/l)	5,5	20
Mesure 2 (mg/l)	8	37
Mesure 3 (mg/l)	7,5	21

1. Calculer la valeur moyenne de la DBO5 pour les deux périodes.
2. Dans quel cas la teneur en matière organique est plus élevée ?
3. Interpréter les résultats obtenus.

#### EXERCICE 05

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs moyennes en DBO et DCO pour une station d'épuration d'eau usée.

	DCO (mg/l)	DBO5 (mg/l)
Entrée station	860	380
Sortie station	81	9
Rendement	?	?

1. Quelle est la relation de la DCO avec la DBO ?
2. Calculer le rendement épuratoire de la station (en termes de DCO et DBO).
3. Sachant que les normes internationales pour les eaux usées exigent : une DBO5 < 30 mg/l et une DCO < 90 mg/l. Comparer les résultats obtenus avec les normes. Que pouvons-nous conclure ?

## TD N°02

# TRAITEMENTS DE VALORISATION DES DÉCHETS DES IAA

### EXERCICES

#### EXERCICE 01

La wilaya de Bejaia a plusieurs stations de traitement des eaux usées en réalisation. La plus importante STEP est celle projetée à la ville d'Akbou. La zone industrielle TAHARACHT revête une grande importance dans le développement économique de la commune d'Akbou autant qu'elle a des répercussions sur l'environnement. Cette zone est à l'origine de plusieurs rejets (tableau 1). La quantité de déchets solides générée chaque jour est de 43t, elle consiste essentiellement en papier, plastique et les ossements. Soit 70% de ces déchets sont acheminés vers les décharges sauvages et incinérés à l'air libre. Le volume des eaux usées industrielles rejetées chaque jour est de 1,7 millions de m<sup>3</sup>, ces rejets sont issus principalement des laiteries (SPA Danone Jurdjura, Laiterie Soummam), d'abattoirs (Condi Volail, Vallée Viande), des margarineries (Almag) et des fromageries (Ramdy). L'empoussièremment au niveau de la zone est très important, la moyenne enregistrée chaque jour est de 0,37/m<sup>2</sup>/J. Cette poussière provient des semouleries (Soummam grani), en particulier durant l'opération de remplissage.

Tableau 1. Les rejets annuels des calculés à partir des résultats de l'enquête menée auprès de sept entreprises.

	Déchets solides (Kg/J)	Eaux usées (m <sup>3</sup> /J)
SARL All Plast	1 700	-
SARL Général Emballage	37 500	14,8
RAMDY	2 209	3 032
SPA Danone Djurdjura	3 000	1 200 000
SARL CK Fleisch	960	500 000
SARL Condi Volaille	450	-
SPA Frulact	20	-
Total ZONE	43 139,37	1 703 050,8

1. Ces déchets font ils partie de déchets spéciaux ? Justifier votre réponse ?
2. Définir et donner quelques exemples de déchets spéciaux.
3. Proposer des voies de valorisation pour ces déchets.
4. Donner la différence entre les déchets explosibles et les déchets inflammables ?  
Citer des exemples type.
5. Définir et classer les déchets radioactifs ?

## EXERCICE 02

Une entreprise locale génère une quantité de déchets estimée à 1800 T/j. La composition de ces rejets ainsi que les prix unitaires de vente des fractions valorisables sont mentionnées dans le tableau 2.

Tableau 2. Composition des déchets et prix unitaires des fractions valorisables.

Catégories	Pourcentage (%)	Prix unitaire (DA/kg)
Matière Organique	61,5	-
Plastique	14,6	21,25
Carton/Papier	8,3	8
Textile	6,2	-
Métaux	2,7	47
Verre	2,4	00
Bois	1	-
Autres	3,3	-

1. Calculer les quantités des fractions valorisables.
2. Calculer les montants de pertes durant une année.

## EXERCICE 03

La caractérisation d'une série de déchets solides est mentionnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3. Résultats de la caractérisation d'une série de déchets solides.

	Déchets 1	Déchets 2	Déchets 3	Déchets 4
H (%)	85,5	59	35	42
pH	7,5	6,1	6,5	6,1
Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{m}$ )	3980	3019	-	2017
Matière volatile (%)	68,3	63	59,2	59
Carbone organique (%)	35,1	29,5	33,4	28,5
Azote (%)	1,5	0,96	7,3	1,75
PCI (kcal/kg)	1490	1000	4498	1909

1. Proposer la filière adéquate de traitement pour chaque déchet solide en justifiant votre réponse.
2. En se basant sur les données de l'exercice 2 (quantité et composition), calculer les quantités des produits à la sortie de chaque filière de traitement.

Données :  $Q = BW (OM \times dM \times 375)$  Avec :  $BW = OM + CP$

Où

- ◆ BW : pourcentage de la fraction biodégradable par an ;
- ◆ OM : pourcentage de la matière organique par an ;
- ◆ CPi : pourcentage du papier-carton par an ;
- ◆ Qi : réserve de biogaz en m<sup>3</sup> ;
- ◆ dM : pourcentage de la matière minérale.

## Références Bibliographiques

1. Graham Alabaster, Richard Johnston, Florian Thevenon et Andrew Shantz. Progrès relatifs au traitement des eaux usées. Programme des Nations Unies pour les établissements humains (ONU-Habitat) et Organisation mondiale de la Santé (OMS), 2021. ISBN 978-92-1-132878-3.
2. Hannachi Gharzouli, Djellouli Tabet. Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie. Larhyss Journal, 2014, 1112-3680, 19, 51-62.
3. Meinck. Le problème des eaux usées industrielles nuisibles à la sante. Bull. Org. mond. Sante 1956, 14, 1061-1078.
4. Nicol Roger. Traitement de dépollution et de valorisation des effluents solides et liquides de l'industrie agro-alimentaire - Digestion méthanique. In : Revue d'économie industrielle. Genèse et développement de la Bioindustrie. 1981, 18, 300-305.
5. Sawadogo Boukary. Thèse de doctorat : Traitement des eaux usées industrielles par des procédés membranaires sous climat sahélien : cas des eaux usées de brasserie au Burkina Faso. Ecole doctorale Sciences et Technologies de l'Eau, l'Energie et l'Environnement, Spécialité : Eau. 2018.
6. Véronique Pasquet. Les stations d'épuration dans l'industrie agroalimentaire : des installations à surveiller. Face au risque. 2019. 548, 18-20.

## Références Webographiques

1. [www.veoliawatertechnologies.com](http://www.veoliawatertechnologies.com)
2. <https://atee.fr/system/files/2020-01/20190402-BiogazNote%20du%20Club%20Biogaz%20sur%20les%20boues%20d%27IAA.pdf>
3. [https://record-net.org/storage/etudes/05-0132-1A/rapport/Rapport\\_record05-0132\\_1A.pdf](https://record-net.org/storage/etudes/05-0132-1A/rapport/Rapport_record05-0132_1A.pdf)
4. [https://reseau-eau.educagri.fr/files/fichierRessource1\\_Gestion\\_effluents\\_IAA\\_13.pdf](https://reseau-eau.educagri.fr/files/fichierRessource1_Gestion_effluents_IAA_13.pdf)