République Algérienne Démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Blida 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Alimentaires

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention

du diplôme de Master en

Spécialité : Sécurité Agro-alimentaire et Assurance Qualité

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

THEME

Gestion des effluents en exploitation laitière et fromagère

Réalisé par

BENKIAR Nacima

Devant le jury :

Dr TLEMSANI.A	**MCB**	**Université Blida 1**	**Président**
Dr KADRI.B	**MCB**	**Université Blida 1**	**Examinateur**
Dr BOUGHERRA.F	**MCB**	**Université Blida 1**	**Promoteur**

Année Universitaire 2020-2021

ملخص

يترتب عن صناعة الألبان والاجبان صرف كبير من النفايات السائلة، خاصة من حيث المواد العضوية المقدرة بالحاجة الكيميائية للأكسجين ـ التحويل المباشر لهذه النفايات السائلة في البيئة الطبيعية مضر لها.

تستند هذه الدراسة الببليوغرافية على تسيير النفايات السائلة الناتجة عن صناعة الألبان والأجبان، وقد أتاحت استنتاج النقاط التالية:

- التعرف عن هذه النفايات السائلة والتقنيات المستخدمة في صناعة الألبان والأجبان لتسييرها.

- استخدام العمليات الفيزيائية والبيولوجية (المعالجات المسبقة، المعالجات البيولوجية والمعالجات النهائية) من خلال محطة معالجة مياه الصرف الصحي المجهزة بمعدات مناسبة وفعالة.

- تثمين المخلفات الناتجة عن صناعة الألبان والأجبان.

- إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة ومزاياها.

بمجرد معالجة النفايات السائلة بطرق مختلفة، لن يشكل تصريفها في البيئة الطبيعية أي تهديد بالتلوث البيئي.

الكلمات المفتاحية: صناعة الألبان والأجبان، النفايات السائلة، التسيير، المعالجة، التثمين.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumés

Liste des figures, tableaux et abréviations

Introduction…….01

Chapitre 1 : Les effluents

1-1- Définition des effluents…….04

1-2- Origine des effluents…….04

1-2-1 Effluents de fabrication……...04

1-2-2 Effluents particuliers……...04

1-2-3 Effluents de services généraux……....04

1-2-4 Rejets occasionnels……..05

1-3- Paramètres caractérisant les effluents……....05

1-3-1 Paramètres physiques……...05

1-3-1-1 Température……..05

1-3-1-2 Odeur……05

1-3-1-3 Couleur…….06

1- 3-1-4 Turbidité……..06

1-3-1-5 Débit…….06

1-3-1-6 Matière en suspension……..06

1-3-2 Paramètres chimiques……..06

1-3-2-1 pH…….06

1-3-2-2 Conductivité…….07

1-3-2-3 Demande chimique en oxygène (DCO)……...07

1-3-2-4 Demande biologique en oxygène (DBO)…….07

1-3-3 Autres éléments……...08

1-3-3-1 Azote……08

1-3-3-2 Phosphore……....08

1-3-3-3 Chlorure……...08

1-3-3-4 Microéléments……..09

1-3-4 Estimation des rejets des effluents……..09

1-3-4-1 Equivalent habitat (EH)……...09

1-4- Cadre réglementaire des rejets industriels……09

1-4-1 Normes de rejets dans le milieu récepteur…….……09
1-4-1-1 Normes internationale de rejet…….....09
1-4-1-2 Normes européennes de rejet…….……..09
1-4-1-3 Normes algériennes de rejet…….……10
1-4-1-3-1 Réglementation algérienne…….……..10
Chapitre 2 : Les effluents de la transformation laitière et fromagère
2-1- La transformation laitière et fromagère……12
2-1-1 Généralités sur le lait……..12
2-1-1-1 Définition…….12
2-1-1-2 Composition…….....12
2-1-2 Les principales technologies utilisées en industrie laitière…….13
2-1-2-1 Ecrémage…….13
2-1-2-2 Standardisation……13
2-1-2-3 Homogénéisation…….13
2-1-2-4 Traitement thermique……...13
2-1-2-5 Fermentation……13
2-1-2-6 Coagulation……..14
2-1-2-7 Séchage……14
2-1-2-8 Techniques de filtration……...14
2-1-3 La fabrication laitière et fromagère…….14
2-1-3-1 Lait de consommation……..14
2-1-3-2 Crème et beurre……15
2-1-3-3 Fromage……...18
2-1-3-4 Yaourt……..19
2-2- Les effluents de la transformation laitière et fromagère……...21
2-2-1 Les particularités de la production des industries laitières…….21
2-2-2 Les effluents laitiers……....21
2-2-3 Les effluents de transformation fromagère…….21
2-2-4 Fabrication et origine des rejets en laiterie…….22
2-2-5 Caractéristiques des effluents de laiteries……...22
2-2-6 Impacte de la filière laitière sur l'environnement……...22
Chapitre 3 : Gestion des effluents issus de la transformation laitière et fromagère
3-1-Traitement……..26
3-1-1 Prétraitements physicochimiques…..……..26
3-1-1-1 Dégrillage…….....26
3-1-1-2 Dégraissage…….27

3-1-1-3 Dessablage…….27
3-1-1-4 Bassin tampon et régulier du pH……...27
3-1-2 Traitements biologiques…….……..28
3-1-2-1 Procédés biologiques aérobies…….……28
3-1-2-1-1 Boues activée (procédés mettant en œuvre une culture libre en suspension) 28
3-1-2-1-2 Procédés mettant en œuvre une culture fixée…….…….…...30
3-1-2-1-3 Bioréacteurs à membrane ou BRM……32
3-1-2-1-4 Lagunage aéré (procédés aérobies extensifs)…….…….…...35
3-1-2-2 Les procédés biologiques anaérobies……35
3-1-3 Traitements tertiaires…….……...36
3-1-4 L'épandage…….……..37
3-1-4-1 Définition…….……37
3-1-4-2 L'épandage dans l'industrie laitière…….……37
3-1-5 Devenir des boues…….……...38
3-1-5-1 Traitement des boues…….……...38
3-1-6 Des procédés innovants encore au stade de l'élaboration……..…….....39
3-2 Devenir des effluents après traitement…….……...39
3-3-Valorisations des résidus des industries laitières et fromagères…….……40
3-3-1 Lactosérum…….……..40
3-3-2 Babeurre…….……..41
3-4-Réutilisation des effluents traités en industrie…….……...42
3-4-1 Les nouveaux usages des effluents traités……....……..42
3-4-2 Les avantages de réutilisation des effluents traités…….……....42

Conclusion……46
Références bibliographiques
Annexes

Liste des figures

Figure 1 : Diagramme du lait prêt à la consommation…….16

Figure 2 : Diagramme de fabrication du beurre crème douce……..17

Figure 3 : Diagramme général de fabrication du fromage……...19

Figure 4 : Diagramme général de fabrication des principaux types de yaourts et laits fermentés nature……...20

Figure 5 : Les effluents issus de l'activité laitière et fromagère……...23

Figure 6 : Fabrication et rejets en laiterie…….24

Figure 7 : Principe de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées…….30

Figure 8 : Principe de fonctionnement d'un lit bactérien…….31

Figure 9 : Principe de fonctionnement des biodisques…….32

Figure 10 : Station de traitement des effluents par bioréacteur à membranes……..33

Figure 11 : Lagune aérée……..35

Figure 12 : Les trois filières de traitement des effluents industriels……40

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition générale du lait de vache……12

Tableau 2 : Caractéristiques des rejets des industries laitières (la concentration dans l'effluent exprimées en mg.l^{-1})…….23

Tableau 3 : les procédés aérobies utilisés sur les sites laitiers……29

Tableau 4 : procédés anaérobies utilisés pour traiter les effluents issus de la transformation laitière……...36

Tableau 5 : Principaux traitements tertiaires appliqués sur les sites de transformation……..37

Liste des Abréviations :

AOP : Appellation d'origine protégée.

BRM : Bioréacteur membranaire.

C_0 : Concentration en oxygène dissous dans l'échantillon au temps 0.

CEE : Communauté économique européenne.

C n : Concentration en oxygène dissous dans l'échantillon après incubation de n jours.

CPL : Concentrés de protéines du lactosérum.

DBO : Demande biologique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

EH : Equivalent habitat.

ERU : Eaux résiduaires urbaines.

J.O.R.A : Journal Officiel de la République Algérienne.

LSA : Lactosérum acide.

LSD : Lactosérum doux.

MES : Matière en suspension.

MG : Matière grasse.

MO : Matière organique.

Mt/an : Million de tonne par ans.

***n* :** Nombre de jours d'incubation.

NGL : Azote globale.

NTK : Azote Kjeldahl.

PVC : PolyVinyl Chloride.

R : Traitement sur résine.

Récup : Récupération.

RSDE : Rejet substances dangereuses dans les eaux.

SBR : Réacteur biologique séquentiel.

SEA : Station d'épuration autonome.

SEC : Station d'épuration collective.

STEP : Station d'épuration.

UASB : Upflow Anaerobic Sludge Blanket.

UF : Ultrafiltration.

UHT : Ultra Haute Température.

µm : micromètre.

Introduction

Introduction

Les effluents industriels, ce sont des rejets liquides issus des procédés d'extraction ou de transformation des matières premières en vue de fabriquer des produits industriels ou des biens de consommation. Ces eaux sont extrêmement hétérogènes. Leur quantité et leur qualité varient en fonction du procédé mis en œuvre, du domaine industriel (Cantet, 2007).

Les procédés industriels vont conditionner la nature des rejets liquides et gazeux qui ont des impacts non négligeables sur l'environnement et sur la santé publique (Djelal et *al*., 2008).

Comme la plupart des industries agro-alimentaires, les sites de transformation laitière génèrent d'importants volumes d'effluents chargés en matière organique (Bourdon, 2018). Selon le rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau (2017) pour chaque litre de lait, l'industrie laitière utilise 1,5 à 3 litres d'eau. En général, les eaux usées de cette dernière ont une charge organique environ 10 fois supérieure à celle des eaux usées municipales.

Etant-donné que les effluents des industries laitière et fromagère sont parmi les rejets agroalimentaires les plus riches en matière organique (protéines, lactose,….etc.), cette charge redoutable, fait de ces effluents une source de pollution environnementale. La gestion des effluents laitiers c'est une problématique qui préoccupe les producteurs car le rejet des effluents industriels est strictement encadré et réglementé que ça soit à l'échelle national ou international afin de contrôler et d'estimer l'évolution des principaux rejets industriels ;

Ce document de synthèse bibliographique présente les points suivants :

- Origine et caractéristiques des effluents industriels, et en particulier ceux qui sont issues de l'industrie laitière et fromagère.

- les différents types de traitement des effluents rencontrés dans le secteur laitier (prétraitements, traitements aérobies, traitements anaérobies et traitements tertiaires) basé sur des données de publication scientifiques.

- Aussi, le dernier chapitre abordera les valorisations des résidus issues de transformation laitière et fromagère et réutilisation des effluents traités.

D'après Bourdon (2018) plusieurs solutions peuvent être envisagées par les transformateurs pour traiter ces effluents laitiers : le traitement sur site, le rejet de ces effluents au réseau communal ou l'épandage sur des parcelles agricoles situées à proximité. Cette dernière solution a souvent été choisie par la filière laitière et est à l'heure actuelle encore mise en œuvre par

certaines entreprises. Cependant, face aux volumes importants et à l'évolution de la réglementation sur la qualité des eaux rejetées en milieu naturel plusieurs grands sites de transformation se sont dotés d'une station de traitement.

Les procédés de traitement des eaux rencontrés dans le secteur laitier sont multiples. La principale pollution étant de la matière organique, on retrouve beaucoup de filières boues activées comme dans les stations d'épuration urbaines. Toutefois, beaucoup de scientifiques essayent de développer de nouvelles techniques de traitement et mettent également l'accent sur les techniques membranaires afin de réutiliser l'eau traitée (Bourdon, 2018).

Chapitre 1

Les effluents

1-1 Définition des effluents :

Un effluent désigne le fluide résiduaire d'origine industrielle, issu du secteur de l'agroalimentaire, de la chimie et pétrochimie, de la métallurgie, du secteur pharmaceutique ou cosmétique, mais aussi de l'industrie minière, de l'aéronautique, automobile ou du transport ferroviaire. Pour les rejets domestiques, l'épuration des eaux usées est nécessaire. Mais l'extrême diversité des eaux résiduaires industrielles nécessite une intervention particulière à chaque type d'industrie via des procédés spécifiques (Anonyme, 2003).

1-2 Origine des effluents :

Selon Delporte (2007), quatre grandes catégories de rejet peuvent être distinguées dans l'industrie :

1-2-1 Effluents de fabrication :

La plupart des procédés conduisent à des rejets polluants qui proviennent du contact de l'eau avec des gaz, liquides ou solides.

Les rejets sont soit continus, soit discontinus. Ils peuvent même n'être produits que durant quelques mois par an (campagne dans l'industrie agroalimentaire : deux mois en sucrerie de betteraves par exemple).

Généralement, les flux de pollution sont connus si les fabrications sont régulières, mais si les industries travaillent par campagnes spécifiques (chimie de synthèse, pharmacie, parachimie) l'analyse des rejets est plus difficile, ceux-ci évoluant constamment.

1-2-2 Effluents particuliers :

Certains effluents sont susceptibles d'être séparés, soit pour un traitement spécifique avec éventuellement récupération, soit dans un bassin de stockage pour être réinjectés à débit pondéré dans le circuit de traitement.

Tel est le cas des :

- Bains de décapage et galvanoplastie ; soudes usées ; eaux ammoniacales de cokerie ;
- Liqueurs noires de papeterie, eaux mères de l'industrie agroalimentaire ;
- Rejets toxiques et rejets concentrés.

1-2-3 Effluents de services généraux :

- Eaux de vannes (cantines, etc.) ;
- Eaux de chaufferies (purges de chaudières, éluats de régénération)
- Boues du traitement des eaux d'appoint ;

- Purges d'eau de réfrigération.

1-2-4 Rejets occasionnels :

Ceux-ci ne doivent pas être oubliés, ils peuvent correspondre :

- A des fuites accidentelles de produits lors de leur manutention ou de leur stockage ;
- A des eaux de lavage de sols ;
- A des eaux pluviales polluées, dont celles d'orages qui peuvent causer aussi une surcharge hydraulique.

1-3 Paramètres caractérisant les effluents :

1-3-1 Paramètres physiques :

1-3-1-1 Température :

Selon Satin et *al.*, (1999) elle est un paramètre dont le contrôle est indispensable surtout en présence d'effluents industriels où l'eau atteint des valeurs de température souvent supérieures aux normes de rejets (eau refroidissement).

Ce paramètre peut influer sur :

- La multiplication des micro-organismes ;
- La solubilité des sels et en particulier la concentration de l'oxygène dissous.

1-3-1-2 Odeur :

Une odeur est due à un ensemble complexe de composés chimiques présents dans l'air, que l'on respire et que notre système olfactif perçoit, analyse et décode. Elle se caractérise par sa qualité, son intensité et son acceptabilité.

Les eaux résiduaires, chargées en matières organiques particulaires et dissoutes, en composés azotés, soufrés et phosphorés, peuvent générer directement (par dégagement de composés très volatils) ou indirectement (suivant un processus biologique de fermentation en milieu réducteur) des odeurs désagréables (Debrieu, 2004).

En effet pour les effluents industriels liquides : tous les secteurs d'activité dégagent des composés odorants, les plus solubles étant retrouvés dans les effluents liquides (Fanalo et Carre, 2006).

Les nuisances dues aux odeurs sont multiples. L'impact le plus cité est la gêne olfactive. La principale source d'odeur émise dans les réseaux d'assainissement et dans les stations d'épuration est le sulfure de dihydrogène H_2S, dont l'odeur caractéristique d'œuf pourri est perceptible même à faible concentration. Ces odeurs conduisent à la dégradation des conditions de travail, à la sécurité du personnel et au mécontentement des riverains (Debrieu, 2004).

1-3-1-3Couleur :

Le monde industriel utilise les colorants dans pratiquement tous les domaines que cela soit en textile et tannerie pour colorer tissus et cuirs, ou bien en agroalimentaire pour colorer gâteaux, bonbons et boissons, ou encore en papeteries, traitement de surface, fabrication d'encres et de peintures… etc. Ce qui génère des effluents colorés (Djelal et *al* ; 2008).

1-3-1-4 Turbidité :

État d'un liquide trouble, provoqué par la présence de particules ou d'impuretés en suspension , et de matières colloïdales, d'origine minérale ou organique et diminuant sa transparence (Marouf et *al.*, 2013).

1-3-1-5 Débit :

Le débit est une autre donnée importante à connaître concernant les effluents. Le débit désigne le volume d'eau traversant une surface à un instant donné, en l'occurrence, c'est le volume d'effluent qui sort de l'entreprise pendant un temps donné. Il existe deux débits caractéristiques des effluents à connaître :

- Le débit de pointe : il correspond au débit maximal instantané,
- Le débit moyen : c'est la valeur moyenne du débit sur une période donnée. Cette moyenne peut être faite sur une heure (débit horaire) ou une journée (débit journalier) (Rachel et *al*., 2013).

1-3-1-6 Matière en suspension (M.E.S) :

Ensemble des matières solides contenues dans une eau usée et pouvant être retenues et éliminées par filtration ou centrifugation. Elles peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles, etc.) ou organiques (produits de décomposition des matières végétales ou animales). A ces composés, s'ajoutent les micro-organismes (algues, bactéries, plancton, etc.) (Marouf et Tremblin, 2013).

1-3-2 Paramètres chimiques :

1-3-2-1 pH (Potentiel hydrogène) :

Il indique le caractère acide (pH entre 0 et 7) ou basique (pH entre 7 et 14) de vos effluents (Rachel et *al*., 2013).

Le pH est l'un des paramètres chimiques importants lorsqu'il s'agit de déterminer la qualité d'une eau. Il sert au contrôle de la qualité de l'eau à l'entrée de la station d'épuration (les variations importantes du pH sont presque toujours la conséquence de rejets industriels) (Tandia, 2007).

1-3-2-2Conductivité :

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. La conductivité varie en fonction de la température. Elle est reliée à la concentration et à la nature des substances dissoutes, en général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique et colloïdale dont la conductivité est faible.

Par conséquent, dans le cas des eaux usées fortement chargées en matière organique, la conductivité ne donnera pas forcément une idée immédiate de la charge du milieu. Dans les autres cas, elle permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation d'une eau et d'estimer le volume d'échantillon nécessaire pour certaines déterminations chimiques.

1-3-2-3 Demande chimique en oxygène (DCO) :

Quantité totale de dioxygène (exprimée en mg. L^{-1}) consommée par les matières organiques et minérales oxydables contenues dans l'eau lorsqu'on les transforme expérimentalement en oxydes dans des conditions opératoires bien définies. La DCO est particulièrement utile pour évaluer et contrôler le fonctionnement des stations de traitement des eaux. Elle renseigne donc sur la pollution minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfures et chlorures) et organique d'une eau. La mesure de la DCO se fait par chauffage, dans un tube à réaction, d'un échantillon de 2 mL d'eau à analyser, additionnée d'une solution de sulfate de mercure. Les composés colorés résultant de cette oxydation chimique sont analysés à l'aide d'un photo-colorimètre. La détermination de la DCO est effectuée très rapidement après le prélèvement qui doit être représentatif et homogénéisé (Marouf et Tremblin, 2013).

1-3-2-4 Demande biologique en oxygène (DBO) :

Quantité totale d'oxygène (exprimée en mg. L^{-1}) consommée au cours de l'oxydation biologique des matières organiques contenues dans 1 litre d'eau pendant un temps donné à la température de 20 °C. La teneur en oxygène de l'eau est déterminée immédiatement après le prélèvement, puis à nouveau après un temps d'incubation de *n* jours. La différence entre les deux mesures correspond à la consommation d'oxygène, considérée dans ces conditions comme : la DBO :

$DBO\ n = C_0 - C\ n$

- n = nombre de jours d'incubation.
- C_0 = concentration en oxygène dissous dans l'échantillon au temps 0.
- C n = concentration en oxygène dissous dans l'échantillon après incubation de n jours.

On utilise conventionnellement la DBO 5, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommé après 5 jours d'incubation. Si la DBO est trop élevée, cela peut aboutir à une désoxygénation de l'eau.

La mesure de ce paramètre standard est souvent utilisée pour vérifier le caractère biodégradable d'un composé présent dans l'eau. Elle permet aussi d'avoir une idée de la contamination organique globale d'un effluent, moyennant certaines corrections, notamment lorsqu'il y a des nitrates. Elle est donc fondamentale pour préparer les traitements d'épuration des eaux usées et contrôler les effets de ces traitements (Marouf et Tremblin, 2013).

1-3-3 Autres éléments :

1-3-3-1 Azote :

L'azote peut se trouver dans les eaux rejetées par les industriels sous 4 formes dont la somme constitue l'azote global (NGL) :

- l'azote organique : qui peut avoir comme origine la décomposition des déchets organiques ou les déchets de l'industrie des engrais azotés.
- l'azote ammoniacal : qui se trouve généralement sous forme ionisée, issue d'une mauvaise station d'épuration, et dont la dégradation consomme l'oxygène de l'eau pour former des nitrates.
- les nitrites : qui peuvent être présents sous forme ionisée ou non, la deuxième étant la plus toxique.
- les nitrates : qui sont peu toxiques intrinsèquement mais facteur d'eutrophisation.

L'azote NTK, ou azote Kjeldahl, prend en compte l'azote organique et l'azote ammoniacal. Dans le milieu naturel, l'azote peut se transformer sous certaines conditions de température et d'acidité de l'eau et évoluer d'une forme à une autre (Anonyme, 2008).

1-3-3-2 Phosphore :

Le phosphore peut se trouver sous différentes formes dans les eaux rejetées par les industriels : organique ou minérale, soluble ou non soluble. La somme des 4 formes constitue le phosphore total, qui est l'indicateur de contamination du milieu (Anonyme, 2008).

Le phosphore total est directement assimilable par les végétaux aquatiques, des apports trop importants en phosphore provoquent des développements excessifs d'algues phytoplanctoniques ou filamenteuses. C'est le phénomène d'eutrophisation (Rachel et *al*., 2013).

1-3-3-3 Chlorure :

Il représente la concentration en ions chlorure des effluents. Ces origines potentielles c'est les produites de désinfection, salage des cuirs, fabrication de saumure pour la production de produit fini, utilisation de produits conservés dans une solution de saumure….etc. (Rachel et *al*., 2013).

1-3-3-4 Micro éléments :

Les éléments nocifs les plus importants sont les métaux lourds. Leur principale origine est industrielle. Le cuivre, le zinc, le cadmium, le chrome, le plomb, le mercure, le nickel sont les polluants les plus fréquemment rencontrés. Les concentrations de ces éléments sont généralement inférieures au mg/l (Degremont, 1989).

Les métaux lourds sont issus généralement de l'activité industrielle, ils contaminent les effluents d'unités de production ou les terres et, par suite, s'accumulent dans les organismes vivants, et peuvent ainsi contaminer l'ensemble d'une chaîne alimentaire. Dans le monde animal, les effets toxiques des métaux lourds concernent principalement le système nerveux, le sang ou la moelle osseuse et ils sont généralement cancérigènes ; dans le monde végétal, l'excès de métaux induit des perturbations du métabolisme cellulaire (photosynthèse, synthèse protéique et lipidique en agissant comme inhibiteur des réactions enzymatiques). Des doses maximales sont définies pour chaque type de ces métaux afin d'assurer la sécurité alimentaire (Marouf et Tremblin, 2013).

1-3-4 Estimation des rejets des effluents

1-3-4-1 Equivalent habitat (EH) :

La grandeur qui permet par ailleurs de caractériser la quantité d'effluents rejetés est l'équivalent habitant (EH). Il correspond à la quantité de pollution émise par jour par un habitant pour ses besoins domestiques. Un équivalent habitant représente un flux de 60 g de DBO5/jour (ratio de DBO5 règlementaire) (Rachel et al., 2013).

1-4 Cadre réglementaire des rejets industriels :

1-4-1 Normes de rejets dans le milieu récepteur :

Les effluents liquides d'un établissement industriel ne peuvent pas être rejetés sans respect du milieu naturel.

1-4-1-1 Normes internationale de rejet :

Les normes de rejet à respecter sont très variables :

- les paramètres de pollution sont plus nombreux que pour les eaux résiduaires urbaines et sont spécifiques des industries et des pays, voire des bassins concernés ;
- les exigences des législations concernant des paramètres spécifiques (hydrocarbures, métaux lourds, F–, phénols en particulier) dépendent de méthodes de mesure différentes et sont de sévérité inégale suivant les pays (Anonyme, 2003).

1-4-1-2 Normes européennes de rejet :

Pour protéger l'environnement de la détérioration due aux rejets de eaux usées, la directive relative au traitement des eaux résiduaires urbaines (ERU) n°91/271/CEE du 21 mai

1991 encadre l'assainissement en Europe. Elle impose aux États membres des normes pour la collecte, le traitement et les rejets des eaux résiduaires urbaines ainsi que le traitement et le rejet des eaux usées provenant de certains secteurs industriels.

1-4-1-3 Normes algériennes de rejet :

1-4-1-3-1 Réglementation algérienne :

Une réglementation en vigueur est mise en place par l'application des articles émis dans le Journal Officiel de la République Algérienne (J.O.R.A.).

- **Valeurs limites des paramètres indicateurs de la pollution par effluents liquides :**

On entend par rejet d'effluents liquides industriels tout déversement, écoulement, jet et dépôt d'un liquide direct ou indirect qui provient d'une activité industrielle.

Les effluents rejetés doivent respecter les valeurs limites mentionnées dans le Journal Officiel de la République Algérienne (J.O.R.A.) et fixées par Décret exécutif (N° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006 définissant les valeurs limitent des rejets d'effluents liquides industriels). Selon ce dernier, toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets d'effluents liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets définies par le présent décret, elles doivent également être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée.

Le tableau qui correspond aux valeurs limites des paramètres indicateurs de la pollution par effluents liquides est présenté en annexe 1et 2.

Chapitre 2

Les effluents de la Transformation Laitière et fromagère

2-1 Transformation laitière et fromagère :

2-1-1 Généralités sur le lait :

2-1-1-1 Définition :

Le lait est le produit de sécrétion des glandes mammaires des mammifères, comme la vache, la chèvre et la brebis, destiné à l'alimentation du jeune animal naissant. Du point de vue physicochimique, le lait est un produit très complexe (Amiot et *al*., 2002).

2-1-1-2 Composition :

Le lait est un système complexe constitué d'une solution vraie, d'une solution colloïdale, d'une suspension colloïdale et d'une émulsion (Amiot et *al.*, 2002).

Selon André et *al* (2005) le lait est un milieu hétérogène dans lequel :

- Une solution vraie (phase aqueuse) contient l'eau et les produits solubles pouvant donner naissance au lactosérum (lactose, sels, protéines solubles, composés azotés non protéiques, biocatalyseurs tels que vitamines hydrosolubles ou enzymes) ;

- Une suspension colloïdale micellaire, qui peut donner naissance au caillé obtenu par coagulation des caséines suite à l'action micro-organismes ou d'enzymes ;

- Une émulsion, qui peut donner naissance à la crème, une couche de globules gras rassemblés à la surface du lait par effet de gravité.

La composition nutritionnelle du lait varie essentiellement en fonction du patrimoine génétique des animaux (races), de leur alimentation et du stade de lactation (Soustre et *al.*, 2017). Le tableau 1 présente la composition générale du lait de vache

Tableau 1 : **Composition générale du lait de vache**

Constituants Majeurs	Variations limites (%)	Valeurs moyenne (%)
Eau	85.5-89.5	87.5
Matière grasse*	2.4-5.5	3.7
Protéines**	2.9-5.0	3.2
Glucides***	3.6-5.5	4.6
Minéraux****	0.7-0.9	0.8
Constituants mineurs : enzymes, vitamines, pigments, cellules divers, gaz.		

* : environ 60 à 70 % d'acides gras saturés et 30 à 40 % d'insaturés, principalement des mono-insaturés.
** : 80 % de caséines et 20 % de protéines sériques.
*** : essentiellement représentés par le lactose (la proportion des autres glucides étant toujours très faible).
**** : environ 120 mg de calcium/100 ml. (Amiot et *al*., 2002).

2-1-2 Les principales technologies utilisées en industrie laitière :

Selon Soustre et *al* (2017) la transformation du lait ne fait appel à aucun traitement chimique. Seuls des procédés physiques et des réactions biochimiques sont utilisés. Parmi les principaux :

2-1-2-1 Ecrémage :

Cette opération manuelle (crémage) ou mécanique (par centrifugation) consiste à séparer la crème (globules gras en suspension) du lait. La crème peut ensuite être utilisée pour la production de beurre ou de crème de consommation.

2-1-2-2 Standardisation :

Elle consiste à amener le lait à une concentration donnée en matière grasse (par centrifugation) ou en protéines (par ultrafiltration). Ces ajustements permettent de pallier les variations de composition naturelles inhérentes à la race bovine ou liées à l'alimentation des vaches et aux saisons.

2-1-2-3 Homogénéisation :

Elle vise à stabiliser la phase grasse du lait et éviter la montée de la crème même après un entreposage de plusieurs jours. Ce procédé consiste à réduire la taille des globules de matière grasse en fines gouttelettes qui se répartissent de façon homogène dans la phase aqueuse. L'homogénéisation est utilisée dans la fabrication du lait de consommation, de yaourts et lors de la préparation du lait pour certaines technologies fromagères.

2-1-2-4 Traitement thermique :

Ils permettent de garantir la qualité sanitaire des produits mais conditionnent également leur durée de vie et leurs caractéristiques technologiques et texturales. Ils améliorent par exemple la fermeté des laits fermentés et la coagulation enzymatique, étape importante en fromagerie. Les couples temps/ température utilisés varient selon les produits.

2-1-2-5 Fermentation :

Réactions biochimiques réalisées sous l'influence d'enzymes microbiennes. Il existe différents types de fermentation :

- **La fermentation lactique :**

Transformation du lactose en acide lactique par des bactéries dites « lactiques » (*Lactobacillus* sp., *Streptococcus* sp., *Leuconostoc* sp…) utilisées notamment dans la fabrication des fromages affinés ou des laits fermentés ;

- **La fermentation propionique :**

Transformation du lactose en acide propionique, acide acétique et dioxyde de carbone (CO2) par des bactéries du genre *Propionibacterium*. Ces bactéries jouent un rôle important au cours de l'affinage des fromages à pâte pressée cuite comme le gruyère par exemple.

2-1-2-6 Coagulation :

Cette étape de transformation du lait en caillé est essentielle dans la fabrication des laits fermentés, des fromages et de certains desserts lactés. Elle est réalisée grâce à l'emploi de bactéries lactiques et/ou d'agents coagulants qui peuvent être d'origine microbienne, fermentaire, végétale ou animale (présure).

2-1-2-7 Séchage :

Il permet de transformer le lait (ou ses composés) en poudre favorisant ainsi leur conservation, leur stockage et leur transport. C'est une méthode combinant évaporation sous vide et déshydratation thermique par atomisation (« spray process » le lait est vaporisé sous forme de gouttelettes au sein d'une chambre à séchage (air chaud et sec) et il est récupéré sous forme de poudre) ou par cylindre chauffant (« roller process » : le lait circule entre les parois externes de deux cylindres rotatifs proches, chauffés de l'intérieur ; il est récupéré sous forme de paillettes).

2-1-2-8 Techniques de filtration :

Ces procédés physiques de séparation consistent à filtrer les liquides laitiers au travers d'une membrane de porosité contrôlée. Dans les techniques de filtration communément utilisées, on distingue la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse qui diffèrent entre elles par la taille des pores et la pression appliquée.

2-1-3 La fabrication laitière et fromagère :

2-1-3-1 Lait de consommation :

Selon Soustre et *al* (2017) le lait peut être vendu cru mais il est généralement standardisé, homogénéisé et subit un traitement thermique : pasteurisation, stérilisation, UHT (Ultra haute température) ou une microfiltration (pour retirer les micro-organismes) avant commercialisation.

- **Pasteurisation :**

Le lait est généralement chauffé en minimum à 72 °C pendant 15 à 20 secondes ou en employant d'autres combinaisons température/temps ayant un effet équivalent.

- **Stérilisation :**

Le lait peut aussi être stérilisé (environ 115 °C - 120 °C pendant 15 à 20 minutes) ou subir un traitement UHT (environ 140 °C pendant quelques secondes).

- **Microfiltration :**

Consiste à faire passer le lait écrémé, porté entre 37 °C et 50 °C, à travers une membrane dont les pores micrométriques sont capables de retenir les micro-organismes. Le lait est ensuite enrichi le cas échéant en crème pasteurisée. Le lait obtenu a un goût proche du lait cru. Le lait est vendu entier (3,5 % de MG), demi-écrémé (entre 1,5 et 1,8 %) ou écrémé (moins de 0,5 %). En pratique le lait est totalement écrémé puis on lui ajoute de la crème à la concentration souhaitée.

Le traitement thermique du lait permet sa conservation. Les laits de consommation ne contiennent aucun additif.

La chaine technologique du lait prêt à la consommation est illustrée par le diagramme représenté sur la figure 1

2-1-3-2 Crème et beurre :

- **Crème :**

C'est un concentré des globules gras contenus dans un lait entier. Elle est obtenue par écrémage du lait. La crème peut ensuite être épaissie ou aromatisée grâce à une opération de maturation (physique et/ou biologique). Elle peut aussi subir une homogénéisation et un traitement thermique UHT pour une longue conservation (crème UHT) (Soustre et *al.*, 2017).

- **Beurre :**

La fabrication traditionnelle repose sur une concentration par étape de la matière grasse laitière. Passage du lait à une crème contenant 40 à 50 % de MG, maturation de la crème (Cette opération facilite le barattage et permet d'obtenir un produit à la consistance voulue) et action mécanique (avec une baratte ou un butyrateur). Les grains sont séparés de la partie liquide non grasse du lait (le babeurre) puis sont lavés et malaxés pour former une masse compacte « le beurre ».

Il existe d'autres types de beurre à usages surtout industriels : beurre concentré (99,8 % de MG au moins) ; beurre aéré …...etc. (Soustre et *al.*, 2017).

Les étapes de fabrication du beurre crème douce sont illustrées par le diagramme représenté sur la figure 2

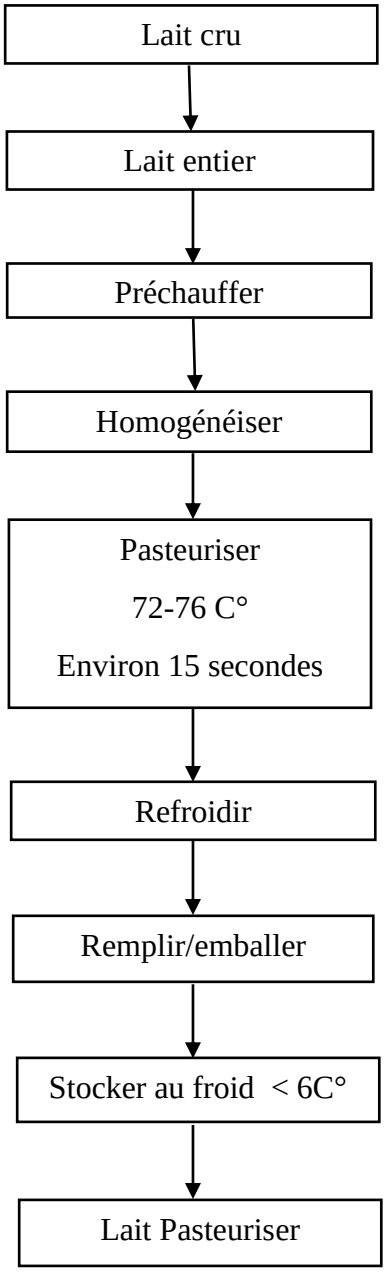

Figure 1 : Diagramme du lait prêt à la consommation

(Strahm et Eberhand, 2010)

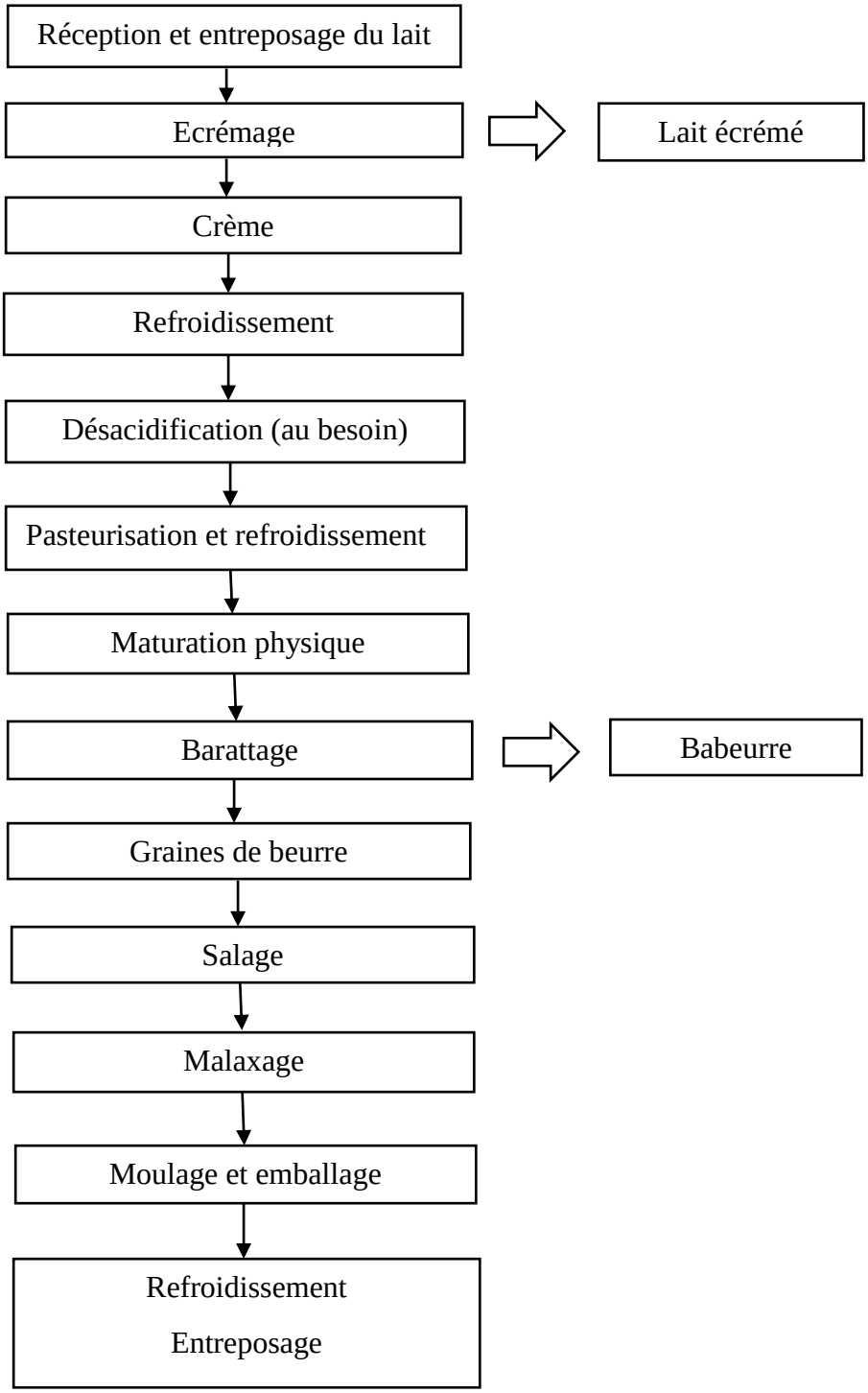

Figure 2 : Diagramme de fabrication du beurre crème douce (Amiot et *al*., 2002).

2-1-3-3 Fromage :

Le fromage est obtenu à partir des matières d'origines exclusivement laitières suivantes : lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre, utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse (Mahaut et *al.*, 2000).

Fabriquer du fromage consiste à faire coaguler le lait. Ce passage de l'état liquide à l'état solide (gel) se fait par acidification (conversion du lactose en acide lactique par les bactéries lactiques) et sous l'action d'agents coagulants (présure ou enzyme coagulante…etc.).

- La présure est un agent coagulant d'origine animale extrait du quatrième estomac (caillette) de jeunes ruminants. Elle est constituée d'enzymes essentiellement de chymosine et également de pepsine. Sa production n'étant plus suffisante pour répondre à la demande mondiale, d'autres agents coagulants (d´origine microbienne, fermentaire ou végétale…) sont utilisés en fabrication fromagère. La présure animale est essentiellement utilisée dans la fabrication de fromages d'appellation d'origine protégée (AOP) et des fromages sous label rouge.

La fabrication de fromage débute avec la préparation du lait (avec éventuellement traitement thermique du lait et maturation car cette dernière elle favorise la coagulation ultérieure du lait par la présure et permet la libération de composés d'arômes tels que des peptides ou des acides aminés). Les étapes suivantes sont la coagulation, le tranchage, l'égouttage et le moulage suivis ou non du salage et de l'affinage.

Les fromages sont regroupés en grandes familles technologiques : fromages frais, pâtes molles à croûte fleurie, pâtes molles à croûte lavée, pâtes persillées, pâtes pressées non cuites, pâtes pressées cuites, fromages fondus… etc. La qualité sensorielle des fromages varie selon le type de lait utilisé et la technologie de fabrication.

La fabrication des fromages génère un coproduit, le lactosérum (plus ou moins acide et minéralisé selon la technologie fromagère utilisée), source de nombreuses molécules à haute valeur ajoutée.

(Soustre et *al.*, 2017).

Les étapes de fabrication du fromage sont illustrées par le diagramme général présenté sur la figure 3

2-1-3-4 Yaourt :

En France, l'appellation yaourt est réservée aux produits fermentés avec les deux seules bactéries lactiques thermophiles *Lactobacillus delbrueckii* subsp *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* présentant une teneur en acide lactique minimale de 0,7 % et contenant au moins 10 millions de bactéries vivantes par gramme de produit au moment de la vente au consommateur (Beal et Helinck, 2019).

Pour fabriquer un yaourt, le lait (entier, écrémé ou demi écrémé auquel on ajoute ou non d'autres ingrédients laitiers tel que le lait en poudre, crème pasteurisée, protéines laitières ou encore du babeurre). Est chauffé pendant quelques minutes de manière intense (de l'ordre de 90 °C). Il est ensuite refroidi et ensemencé avec ses deux bactéries spécifiques : la fermentation se fait à une température comprise entre 40 - 45 °C pendant 2 à 5 heures. Il existe sur le marché de nombreux types de yaourts : ils peuvent être fermes, brassés ou encore liquides, natures, sucrés ou édulcorés, additionnés de fruits ou encore aromatisés (Soustre et *al.*, 2017).

Les étapes de fabrication des principaux types de yaourts et laits fermentés nature sont illustrées par le diagramme général présenté sur la figure 4

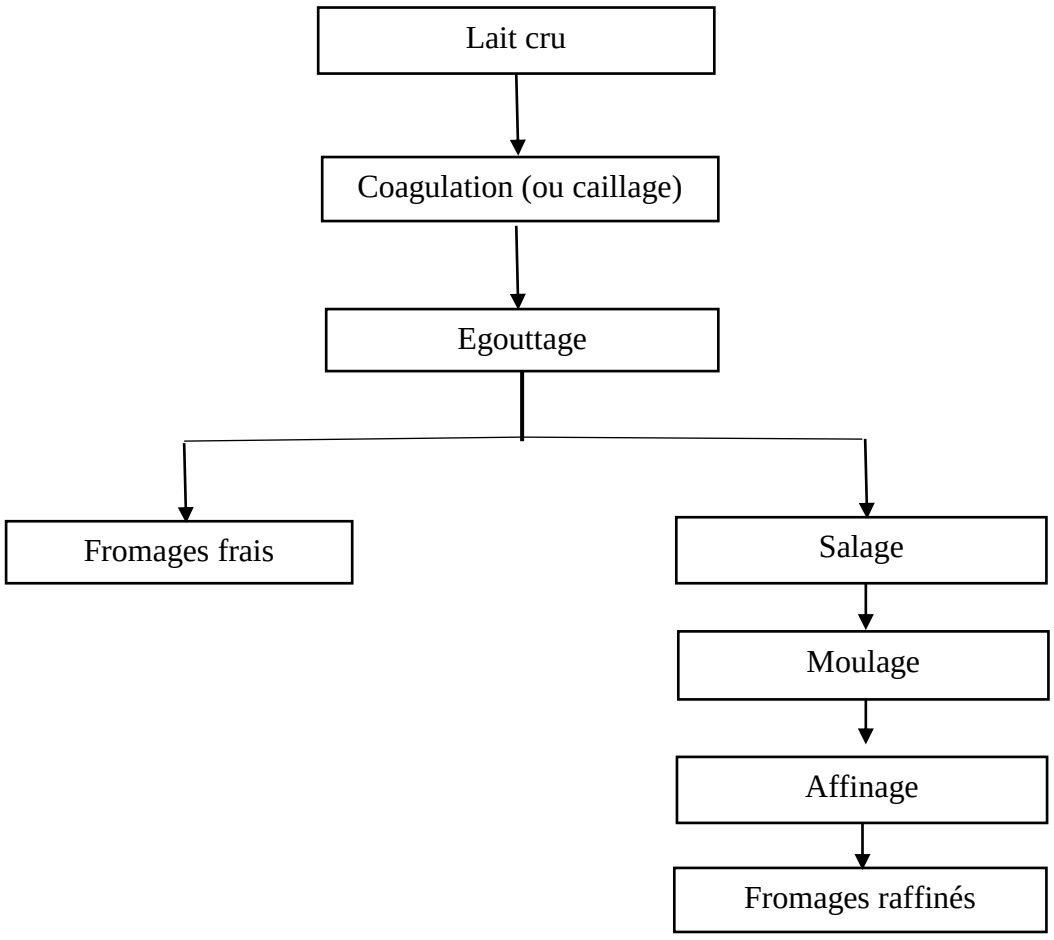

Figure 3 : Diagramme général de fabrication du fromage (Rigaudière et *al*., 2012).

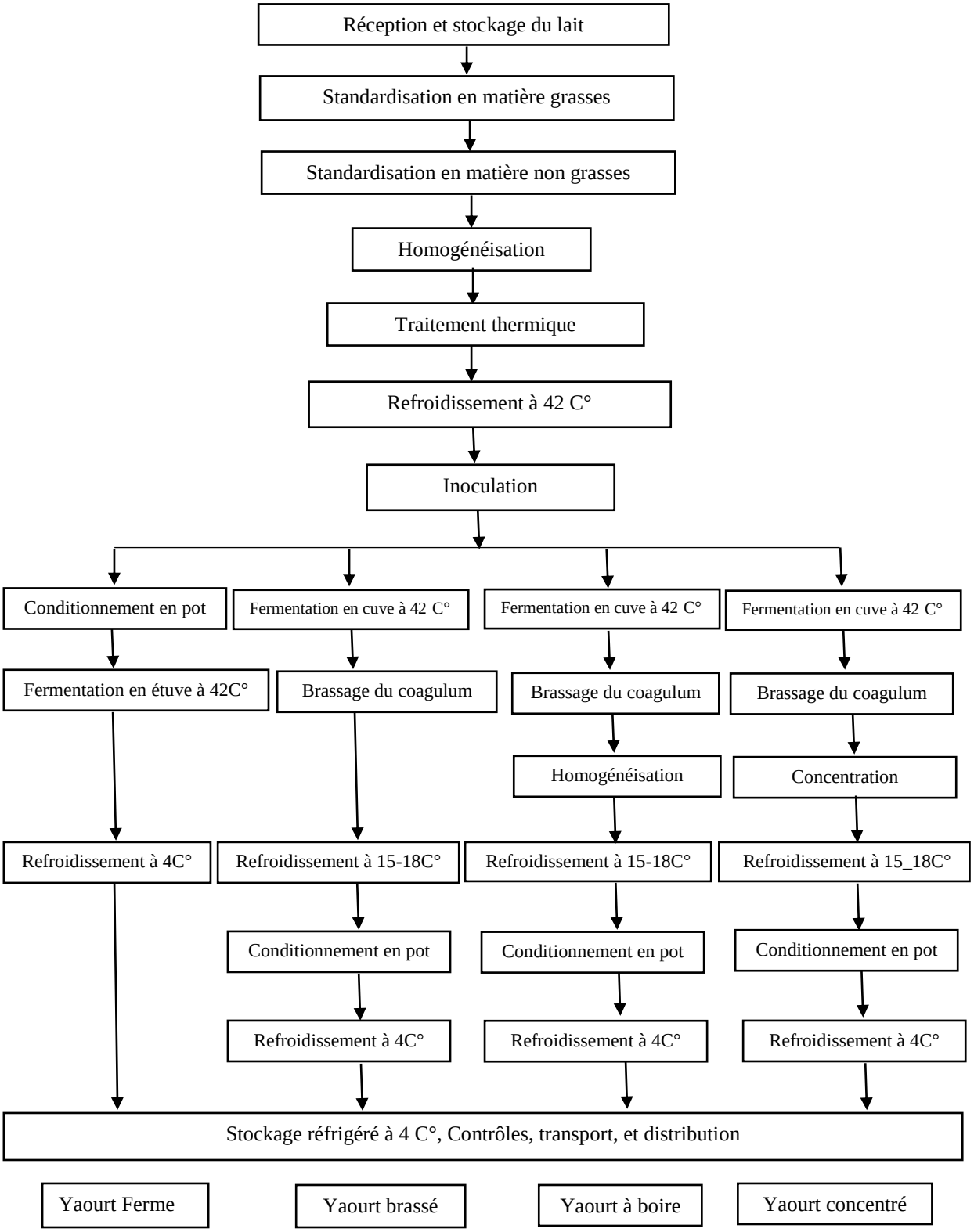

Figure 4 : Diagramme général de fabrication des principaux types de yaourts et laits fermentés nature (Beal et Helinck, 2019).

2-2- Les effluents de la transformation laitière et fromagère :

2-2-1 Les particularités de la production des industries laitières :

Ces contraintes ont eu un impact important sur la production alimentaire et en conséquence sur ses rejets en quantité et en qualité.

Parmi ces contraintes :

- Une augmentation importante de la capacité de production des installations ;

- Un degré de complexité des produits élaborés de plus en plus important.

- La nécessité de permettre à ces produits essentiellement périssables par nature, d'avoir une durée de vie suffisante, ce qui exige une très grande rigueur dans le maintien de la meilleure hygiène possible. Ceci impose l'utilisation de produits de nettoyage et de désinfection en quantité souvent importante.

Il faut par ailleurs noter que la production laitière consomme des quantités d'eau importante. Dans la majorité des cas, seule une faible partie de cette eau participe à la composition du produit. En général, il s'agit d'une utilisation dans le procédé de fabrication, les phases de conservation et le lavage du matériel et des locaux (Moletta et *al.*, 2002).

2-2-2 Les effluents laitiers :

- La fabrication de lait reconstitué (addition de l'eau à la poudre lait) génère des effluents :

- Les eaux blanches : renferment les produits utilisés pour nettoyer l'équipement et les résidus de lait mêlés à l'eau de lavage de l'équipement.

- La traite des animaux réalisée dans des salles de traite spécifiques génère principalement deux sortes de rejets :

- **Les eaux vertes** en premier lieu, sont issues des rejets de l'animal pendant la stabulation et du lavage du sol. Ces eaux rejoignent généralement la fosse à lisier avant épandage sur les champs.

- **Les eaux blanches** ensuite, sont issues des lavages du matériel ayant servi à la traite des animaux, des bidons, du sol... Elles sont en général, assez peu chargées, mais nécessitent néanmoins un traitement (Moletta et Torrijos.1999).

2-2-3 Les effluents de transformation fromagère :

Il existe trois types d'effluents issus d'un atelier de transformation fromagère :

-Les eaux blanches de la salle de traite / laiterie concentrant les produits de nettoyage basiques et acides de la machine à traire.

-Les eaux blanches de la fromagerie regroupant les eaux de lavage des locaux et du matériel.

- Le lactosérum, petit-lait ou sérum, liquide riche en matière organique ultra-concentrée issu de l'égouttage du caillé, est 60 à 80 fois plus polluant qu'une eau usée domestique (Idele, 2018).

Ces effluents issus de l'activité laitière ou fromagère sont constitués d'un mélange d'eaux usées, provenant des différents postes d'activité du site et sont présenté sous forme de schéma sur la figure n 5

2-2-4 Fabrication et Origine des rejets en laiterie :

La nature des effluents issus des laiteries dépend en grande partie des procédés de fabrication. La figure 6 présente la fabrication et rejets en laiterie qui est sous forme d'une schématisation de la genèse des effluents.

La composition de ces eaux usées dépend bien sûr de la nature du produit formé et donc des procédés mis en œuvre dans la laiterie. Les produits retrouvés dans les effluents sont ceux qui proviennent de la matière première (lactose, protéines, lipides, sels minéraux...) et ceux qui sont ajoutés ou utilisés à des fins de lavage et d'hygiénisation (bactéricides, antiseptiques, soude, acides phosphorique et nitrique...) (Moletta et Torrijos.1999).

2-2-5 Caractéristiques des effluents de laiteries :

Les effluents issus de la transformation laitière sont caractérisés par des charges élevées de matière organique. En effet, les effluents de laiterie contiennent essentiellement de l'eau et du lait ou des résidus de produits laitiers dilués. Les produits de nettoyage peuvent également être à l'origine de taux élevés de phosphore. De plus, la qualité des effluents dépend des produits finis fabriqués sur le site (Bourdon, 2018) (Voir tableau 2 ci-après)

Les effluents laitiers sont très facilement biodégradables et cela se traduit par un rapport DCO/DBO variant de 1,5 à 2 environ (Moletta et Torrijos.1999).

2-2-6 Impacte de la filière laitière sur l'environnement :

Dans la filière laitière, le principal problème se situe au niveau de l'eau. Elle doit être dépolluée avant rejet dans le milieu naturel. Ce traitement génère des boues dont il faut aussi tenir compte.

Les laiteries n'ont aucune incidence particulière sur la pollution de l'air et des sols. Mais en ce qui concerne les déchets, les principaux problèmes sont soulevés par les boues des stations

d'épuration et la réduction des emballages des produits finis. Pour ces derniers, une stratégie drastique de réduction est engagée afin de minimiser la quantité de déchets ménagers (Moletta et Torrijos.1999).

Tableau 2 : Caractéristiques des rejets des industries 1aitières (la concentration dans l'effluent exprimées en mg.l$^{-1)}$

	Fromagerie Avec récup. sérum	**Beurre Avec récup. sérum**	**Collecte Et stockage**	**Poudre de lait**	**Lait de Consommation Et yaourt**	**Usine polyvalente**
DBO_5	2000	1000	1000	1600	1200	850
DCO	3500	2000	2000	2800	2000	1700
MES	500	300	600	400	500	350
N(NTK)	50	30	40	80	80	60

(Moletta et *al.*, 2002).

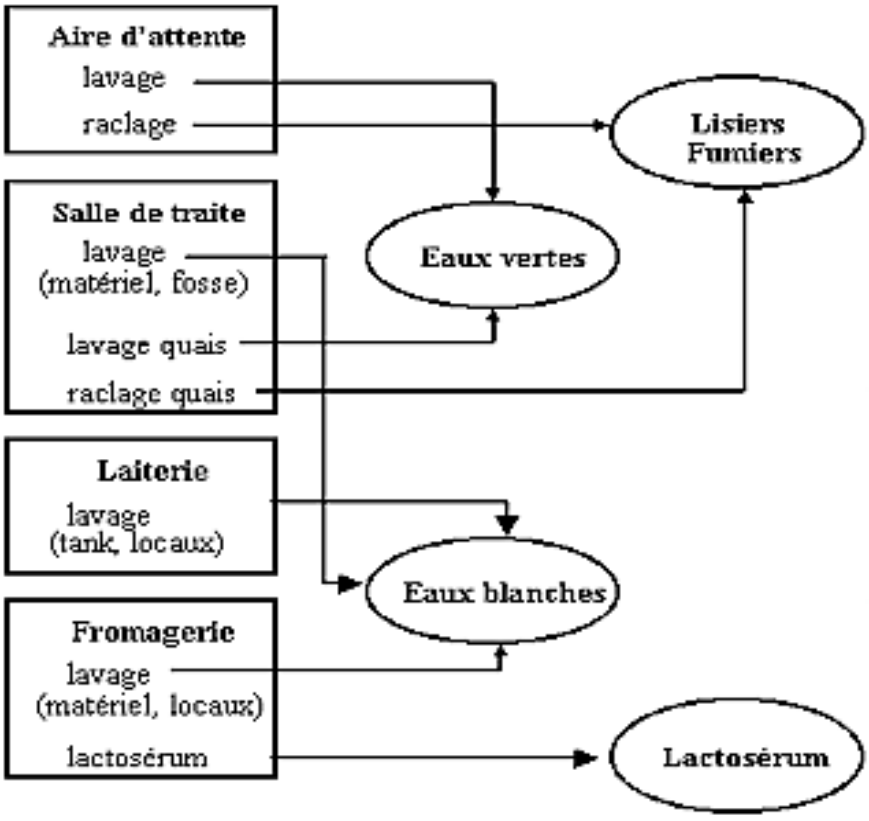

Figure 5 : les effluents issus de l'activité laitière et fromagère (Tormo, 1995)

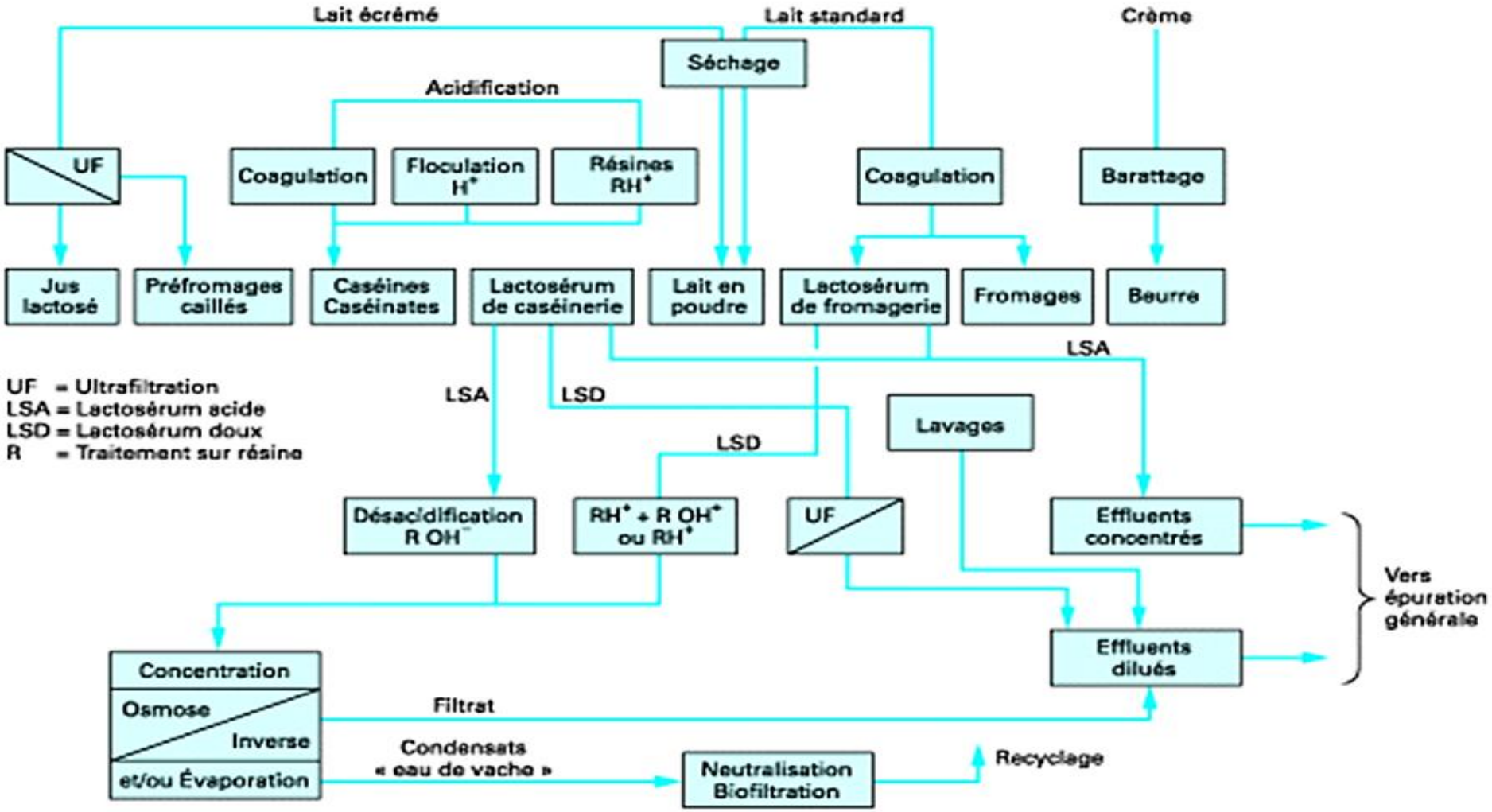

Figure 6 : Fabrication et rejets en laiterie (Moletta et Torrijos.1999).

Chapitre 3

Gestion des effluents issus de la transformation laitière

Et fromagère

3-1 Traitement :

D'après Moletta et Torrijos (1999) les effluents de l'industrie laitière sont essentiellement composés de matière organique carbonée présente sous forme soluble (concentrations élevées en lactose, acides aminés, petits peptides...). Le traitement de ce type d'effluents est donc axé en priorité sur l'élimination du carbone.

Compte tenu de leur excellente biodégradabilité, les procédés de dépollution par voie biologique occupent une place prédominante dans le traitement des effluents issus de l'industrie laitière.

Les procédés physico-chimiques en traitement complet des effluents laitiers ne permettent qu'une épuration très médiocre car ils n'assurent essentiellement que l'élimination des matières en suspension et très peu celle des composés solubles. En conséquence, ils sont généralement utilisés comme prétraitement des effluents en tête d'un dispositif :
- soit d'une station d'épuration biologique (présentée en annexe 3)
- soit d'épandage

En fonction du procédé de dépollution retenu, les prétraitements peuvent inclure : un dégrillage, un dessablage, un dégraissage et un bassin tampon avec régulation du pH. La mise en place d'une décantation primaire n'est pas recommandée compte tenu de la faible concentration en MES des effluents laitiers et du risque de départ en fermentation.
Les procédés de prétraitement décrits ici sont applicables aux effluents laitiers mais leur utilisation n'est pas systématique et dépend des caractéristiques de l'effluent à traiter et du procédé de traitement choisi.

3-1-1 Prétraitements physicochimiques :

3-1-1-1 Dégrillage :

Selon Moletta et *al* (2002) le dégrillage est une opération indispensable pour éliminer de gros objets susceptibles de gêner le fonctionnement des procédés situés en aval. Il permet donc de séparer et d'évacuer les matières volumineuses amenées par l'effluent à traiter (Séparation physique à l'aide d'une surface percée d'orifices réguliers ou d'une grille fine)

L'efficacité du procédé dépend essentiellement de l'écartement des barreaux des grilles ; on distingue trois types de dégrillage :

-Le dégrillage fin (écartement entre 3 à 10 mm).
-Le dégrillage moyen (écartement entre 10 à 25 mm).
-Le dégrillage grossier (écartement entre 50 à 100mm).

3-1-1-2 Dégraissage :

Les graisses perturbent les traitements biologiques en limitant la diffusion de l'oxygène dans l'eau et en gênant la décantation des boues. Par leurs propriétés chimiques, elles peuvent également être source d'odeurs nauséabondes et de colmatage des canalisations. Elles diminuent aussi les performances de la déshydratation des boues. Les substances lipidiques favorisent également le développement des bactéries filamenteuses, sources de graves perturbations sur les stations (Ouanouki, 2014).

Le dégraissage permet l'élimination des graisses par flottation. Cette opération peut être réalisée par un dégraisseur statique avec cloison siphoïde ou de préférence par un dégraisseur à insufflation d'air.

En général, les effluents laitiers contiennent peu de matières grasses et la mise en place d'un dégraisseur n'est alors pas nécessaire, particulièrement dans le cas où le traitement secondaire est effectué par boues activées à faible charge. Les graisses seront en partie dégradées dans le bassin d'aération et les graisses résiduelles pourront être récupérées à la surface du clarificateur par la mise en place d'un pont racleur. Dans le cas d'un effluent dont la concentration en matières grasses est supérieure à $1\ g \cdot L^{-1}$ environ ou dans le cas d'un traitement biologique par lit bactérien, il semble souhaitable de mettre en place un système de dégraissage (Moletta et Torrijos ,1999).

3-1-1-3 Dessablage :

Le but de l'opération de dessablage est l'extraction des sables et des particules minérales plus ou moins fines afin d'éviter les dépôts dans les canaux ou les conduits et de protéger les pompes et autres appareils (Moletta et Torrijos ,1999).

Son principe repose sur la sédimentation des particules plus denses que l'eau (Bourbon, 2018).

Le dessablage peut être réalisé au moyen d'un dessableur indépendant ou d'un dessableur intégré au dégraisseur dans le cas où un dégraissage est prévu. (Moletta et Torrijos ,1999).

3-1-1-4 Bassin tampon et régulation du pH :

D'après Moletta et Torrijos (1999) en général, pour des stations par boues activées à faible charge, le volume du bassin d'aération est suffisamment important pour qu'il ne soit pas nécessaire de mettre en place de capacité tampon en tête.

Pour les autres procédés de traitement (boues activées moyenne charge, lit bactérien,....), la mise en place d'un bassin tampon aéré en tête est souhaitable pour assurer le bon fonctionnement du

traitement biologique et permettre une alimentation avec un effluent de composition et de débit relativement constant.

En général, il n'est pas nécessaire de prévoir de régulation de pH. Toutefois, dans le cas d'effluents particuliers ou dans le cas d'un traitement par méthanisation, il peut être nécessaire de réguler le pH et d'augmenter l'alcalinité des effluents à traiter.

3-1-2 Traitements biologiques :

Le but du traitement des eaux usées par voie biologique est essentiellement de réaliser l'élimination des composés organiques, présents en majorité sous forme soluble, et de l'azote ammoniacal.

Compte tenu de l'excellente biodégradabilité des effluents laitiers, les procédés par voie biologique occupent une place très importante dans le traitement des effluents issus de l'industrie laitière (Moletta et Torrijos ,1999).

3-1-2-1 Les procédés biologiques aérobies :

Les procédés biologiques aérobies consistent en une élimination des matières organiques biodégradables dans des conditions aérobies. Efficaces pour réduire la DCO et la DBO, les procédés aérobies sont les plus répandus sur les sites de transformation laitière. Il s'agit de procédés maîtrisés et rentables (Bourbon, 2018).

Comme le soulignent les études menées par les agences de l'eau AELB (2010) ; AESN (2003), les traitements les plus couramment rencontrés sont le procédé à boues activées et le lagunage aéré. Le tableau 3 dresse une liste des procédés aérobies utilisés sur les sites laitiers.

3-1-2-1-1 Boues activée (procédés mettant en œuvre une culture libre en suspension) :

Le principe de fonctionnement d'un procédé continu à boues activées pour l'élimination du carbone est présenté sur la figure 7

Selon Moletta et *al* (2002) les procédés biologiques par boues activées comportent principalement deux phases successives :

- **une première phase biologique :** de mise en contact de la matière organique à éliminer avec une culture bactérienne dans un bassin brassé et aéré où l'on maintient une certaine concentration en oxygène. Les bactéries utilisent la matière organique de l'effluent comme source d'énergie et de carbone pour leur multiplication (production de boues) et l'oxygène comme accepteur final d'électrons ;

- **une deuxième phase physique :** de séparation des eaux épurées et des micro-organismes en suspension dans un décanteur. On exploite l'aptitude naturelle des boues activées à s'agglomérer pour former des flocs dont la densité est supérieure à celle de l'eau et qui vont pouvoir sédimenter au fond du décanteur. L'effluent traité est évacué par surverse et les boues sont réintroduites dans le bassin d'aération (recirculation) ou éliminées (boues en excès).

Tableau 3 : Les procédés aérobies utilisés sur les sites laitiers AELB (2010) ; AESN (2003)

Traitement	Principe
Boues activées*	Contact entre les eaux usées à traiter et une biomasse active de microorganismes aérobies dans les boues en présence d'oxygène (air ou oxygène pur). Suivi d'une étape de décantation. Sur les sites laitiers, ce sont principalement des boues activées à aération prolongée qui sont installées.
Lagunage aéré*	Traitement par les algues, des bactéries, le soleil et le vent dans un bassin peu profond alimenté en oxygène par des aérateurs
Lit bactérien	Formation d'un biofilm sur un support fixé. Contact entre les eaux usées et le biofilm.
Réacteur biologique séquentiel (SBR)	Même principe que les boues activées mais les étapes de contact et de décantation ont lieu dans un même réacteur.
Disques biologiques (biodisques)	Développement d'un biofilm sur une série de disques rotatifs partiellement immergés dans les eaux à traiter.
Filtres aérobies haut rendement	Filtration sur un support optimisé. Passage des eaux usées par une série de buses.
Bioréacteurs aérobies	Bioréacteur noyé aéré, submergé aéré, à lit fluidisé, lit mobile, biofilm flottant...

*traitements les plus couramment utilisés sur les sites laitiers.

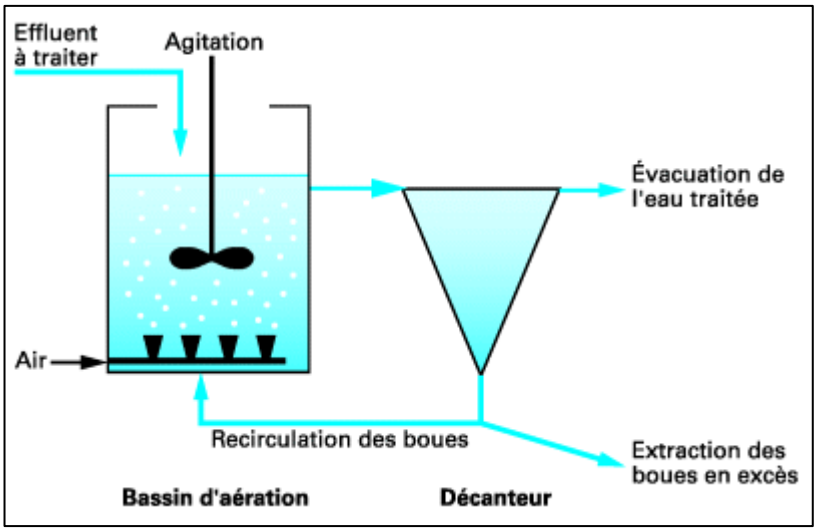

Figure 7 : Principe de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées (Moletta et Torrijos ,1999).

3-1-2-1-2 Procédés mettant en œuvre une culture fixée :

Dans les cultures fixées, la tendance naturelle des micro-organismes à se fixer sur un support est utilisée pour maintenir une concentration élevée en micro-organismes dans le réacteur tout en s'affranchissant des risques de perte. Dans les procédés à biomasse fixée, les micro-organismes ne sont plus en suspension dans la phase liquide mais fixés sur un support ou garnissage. Ils se développent à la surface du matériau et forment une couche appelée biofilm. Au cours du temps, l'épaisseur du biofilm augmente et une stratification apparaît avec superposition d'une couche aérobie près de la surface où l'oxygène et les éléments nutritifs peuvent diffuser et d'une zone anaérobie en profondeur, près du support. Ce phénomène provoque la mort des cellules proches du support, ce qui entraîne des décrochages locaux du biofilm (Moletta et *al.*, 2002).

- ***f*** **Lits bactériens ou lits à ruissellement :**

Dans un lit bactérien, l'eau à traiter ruisselle sur une masse de matériau de surface spécifique comprise entre 50 et 200 $m^2 \cdot m^{-3}$ servant de support aux micro-organismes épurateurs qui y forment un film plus ou moins épais. Une aération est pratiquée à contre-courant le plus souvent par tirage naturel, parfois par aération forcée. Régulièrement, on observe un détachement local du biofilm qui met à nu une partie de la surface du support qui est recolonisée par la suite. On procède à des entrainements par lavage périodique. A ce stade, on constate que la pollution de la phase liquide est transférée vers la phase « boues ». La nécessité d'apporter en permanence nourriture et oxygène au biofilm impose d'étudier particulièrement la conception d'un lit

bactérien afin qu'a aucun moment le lit ne colmate et que le débit d'arrosage ne soit trop fort ni n'entraine l'élimination des micro-organismes fixes (Koller, 2004).

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien est présenté sur la figure 8

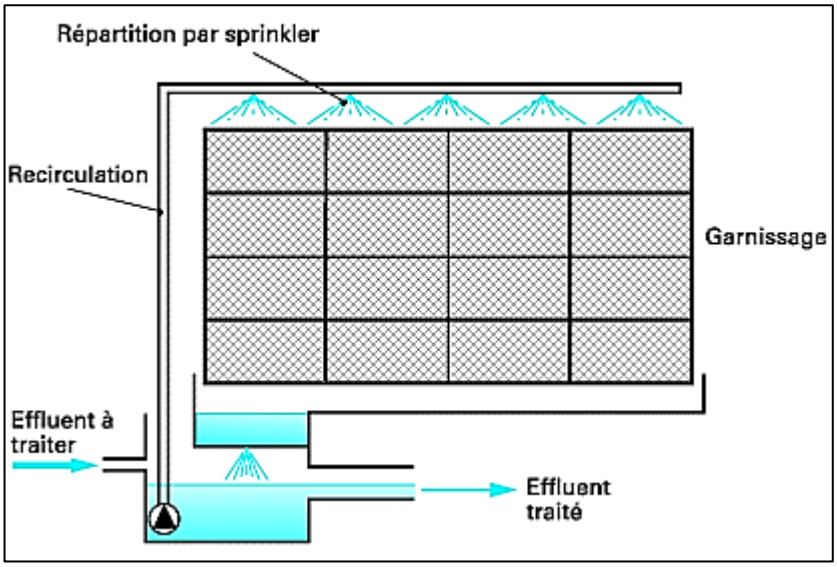

Figure 8 : Principe de fonctionnement d'un lit bactérien (Moletta et Torrijos ,1999).

- **Biodisques :**

Selon Moletta et *al* (2002) la biomasse est fixée sur des disques tournant autour d'un axe horizontal et baignant en partie dans l'eau à traiter. De par la rotation, la biomasse se trouve alternativement en contact avec l'eau à traiter et l'oxygène de l'air. La mise en rotation des disques est généralement assurée par un moteur électrique. Un système d'insufflation d'air peut apporter une aide à la rotation des disques et à l'oxygénation.

Les disques sont en polystyrène, PVC ou feuilles de polyéthylène ondulées. Ils ont un diamètre de 2 à 3 m et sont espacés de 2 à 3 cm. Leur vitesse de rotation est de 1 à 2 tours · min^{-1}.

Les boues en excès sont retenues au niveau d'un clarificateur dimensionné sur des vitesses ascensionnelles pouvant atteindre 2 m · h^{-1} en pointe.

L'absence de brassage dans la cuve d'aération impose la présence d'un décanteur primaire et interdit la recirculation de boues depuis le clarificateur.

Les charges appliquées sont exprimées en grammes de DBO par mètre carré de surface de disque et par jour. En général, elles ne dépassent guère 20 à 30 $g \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$.

Le principe de fonctionnement des biodisques est présenté sur la figure 9

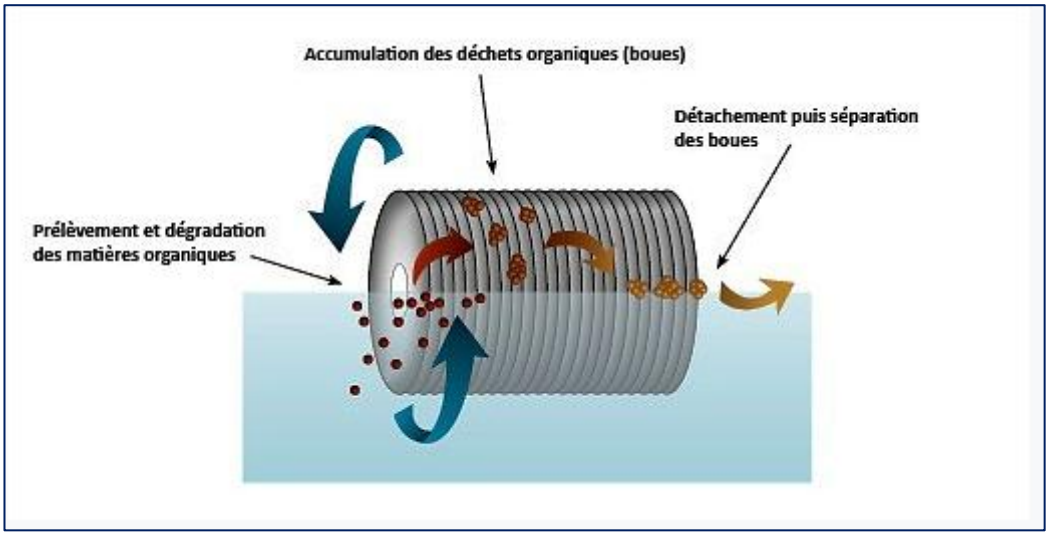

Figure 9 : Principe de fonctionnement des biodisques (Anonyme, 2017).

- ***f*** **Biofiltres ou lits granulaires fixes :**

Selon Moletta et *al* (2002) la biofiltration est une technique qui assure à la fois l'épuration biologique et la rétention des matières en suspension. Le réacteur est rempli d'un garnissage qui permet la fixation de la biomasse et une filtration efficace grâce à une granulométrie du support suffisamment faible.

Au cours du fonctionnement, la rétention des matières en suspension de l'alimentation et la croissance bactérienne vont entraîner un colmatage progressif du lit, ce qui nécessite la mise en œuvre régulière de séquences de lavage visant à décolmater le lit.

À l'heure actuelle, la biofiltration n'est pas envisageable en traitement biologique du carbone des effluents laitiers car ce procédé est généralement utilisé pour des effluents peu chargés avec une concentration en DBO inférieure à 300 $mg \cdot L^{-1}$ et une concentration en MES inférieure à 150 $mg \cdot L^{-1}$, ce qui correspond aux caractéristiques des eaux résiduaires urbaines.

3-1-2-1-3- Bioréacteurs à membrane ou BRM :

Selon Moletta et *al* (2002) les membranes de micro ou d'ultrafiltration assurent la fonction de séparation entre l'effluent traité et les micro-organismes. Elles fonctionnent en flux tangentiel et sont de nature minérale ou organique. Les membranes retiennent la totalité des MES qui sont

renvoyées à l'intérieur du réacteur biologique. Lorsqu'elles sont colmatées, les membranes sont lavées par un système de nettoyage automatisé.

Ce type de procédé permet d'obtenir des rejets d'une excellente qualité qui ne contiennent pas de MES. L'eau traitée peut être en grande partie recyclée vers l'usine.

Le bioréacteur à membrane présente un certain nombre d'avantages intéressants tels que : compacité des installations, excellente qualité de l'effluent, faible production de boues...

Les limites à son utilisation proviennent essentiellement des coûts d'investissement et des possibles problèmes de colmatage.

Une station de traitement des effluents par bioréacteur sous forme de schéma est présentée sur la figure 10

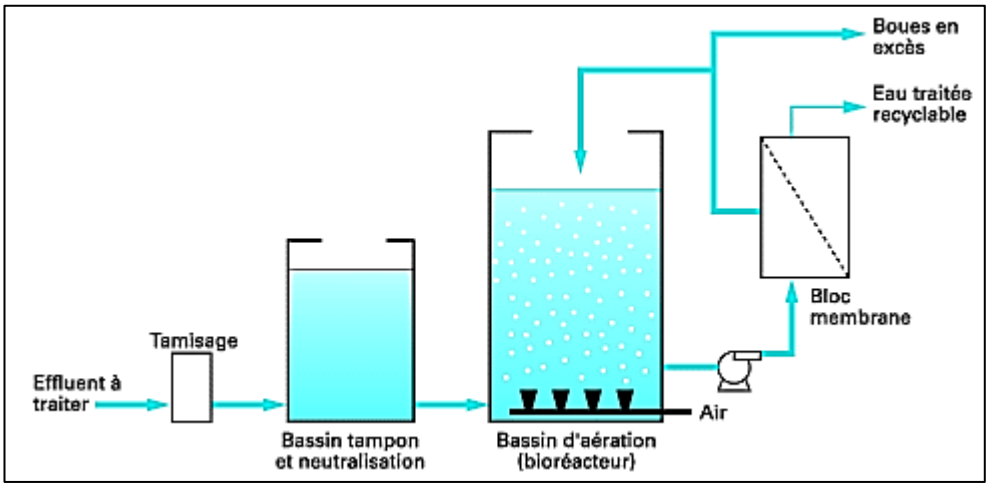

Figure 10 : Station de traitement des effluents par bioréacteur à membranes (Moletta et Torrijos ,1999).

Il existe différent types de membranes on peut distinguer :

-Les membranes d'osmose inverse : qui laissent passer les molécules d'eau et arrêtent toutes les autres molécules (sels en particulier) (Koller, 2004).

Le procédé d'osmose inverse utilise une membrane semi-perméable afin de séparer les solides dissous, la matière organique, les virus et bactéries de l'eau. Le procédé est dit "inverse" car il nécessite une pression suffisante pour 'forcer' l'eau pure à passer à travers la membrane. Ce procédé abouti à de très bons résultats, car il peut éliminer de 95 à 99 % des particules solides dissoutes et 99% des micro-organismes (Cun, 2003).

-Les membranes de nanofiltration :

Selon Cun (2003) la nanofiltration est une technique membranaire relativement récente qui couvre un domaine de séparation intermédiaire entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse dans la famille des procédés à membranes sous pression.

Les capacités de séparation de cette technique se situent :

- pour les composés organiques, dans une gamme de poids moléculaire allant de 200 à 600 daltons.
- pour les sels minéraux, dans une forte rétention globale des espèces ioniques à de faibles concentrations, et dans une séparation entre mono et multivalents pour des concentrations élevées.

Les nanofiltres sont mis en œuvre selon le principe de la filtration tangentielle avec un transfert de matière à travers la membrane dû à un gradient de pression pouvant varier de 10 à 40 bars. La couche active de ces nanofiltres est constituée d'un matériau organique ou inorganique présentant une structure microporeuse avec des diamètres de pores de l'ordre du nanomètre.

Mis au point initialement pour la séparation en milieu liquide les nanofiltres sont maintenant considérés comme offrant des possibilités d'application intéressantes dans la séparation des gaz, ou les réacteurs catalytiques à membranes.

-Les membranes d'ultrafiltration : qui laissent passer les petites molécules et arrêtent les grosses molécules (protéines par exemple) (Koller, 2004).

L'ultrafiltration est un procédé de séparation physique utilisant une membrane. Elle s'applique à la séparation de particules de 0,005 à 0,1 µm. La séparation de particules plus petites fait appel à la nanofiltration ou à l'osmose inverse. La migration des produits d'un coté à l'autre de la membrane est obtenue par une différence de pression. La filtration est généralement de type tangentiel, c'est à dire que le fluide circule parallèlement à la membrane, contrairement à la filtration classique qui est dite frontale. La filtration tangentielle permet de limiter l'accumulation de dépôts qui obturent la surface de filtration (Cun, 2003).

-Les membranes de microfiltration : qui laissent passer toutes les molécules dissoutes (petites ou grosses) et arrêtent les particules solides de dimensions comprises entre 0.1 et 10µm. il est considéré habituellement qu'au-delà de 10µm on se trouve dans le domaine de la filtration classique (Koller, 2004).

- **Durée de vie des membranes**

La durée de vie des membranes varie actuellement entre cinq et sept ans selon les fournisseurs.

Il a été observé sur certaines installations qu'au bout de cinq années de fonctionnement, seulement 40 % des membranes avaient besoin d'être remplacées (Gaid, 2008).

3-1-2-1-4- Lagunage aéré (procédés aérobies extensifs) :

D'après Moletta et *al* (2002) cette technique consiste à traiter un effluent par voie biologique avec un apport artificiel d'oxygène (aérateurs mécaniques flottants ou fixes en général) dans des bassins à génie civil simplifié. Elle se différencie des boues activées par l'absence de recirculation des boues et par une concentration en micro-organismes dans les bassins d'aération non contrôlée.

Un long temps de séjour des effluents dans les bassins est nécessaire pour parvenir à une épuration poussée, ce qui entraîne une emprise au sol assez importante.

La décantation du floc bactérien est très médiocre et les lagunes aérées sont souvent suivies de vastes lagunes de décantation présentée sur la figure 11.

Figure 11 : lagune aérée (Bessedik, 2015).

3-1-2-2 Les procédés biologiques anaérobies :

Les procédés biologiques anaérobies correspondent à la transformation d'une partie de la matière organique biodégradable en biogaz (méthane et dioxyde de carbone). Ces techniques, moins efficaces que les procédés aérobies pour extraire la matière organique des eaux usées, ont l'avantage de produire une moindre quantité de boues et de fournir une source de biogaz valorisable énergétiquement (Rodríguez, 2005).

Les procédés anaérobies utilisés pour traiter les effluents issus de la transformation laitière sont synthétisés dans le tableau 4. Les effluents peuvent également être traités dans un bassin d'anoxie. La matière organique est alors biodégradée en absence total d'oxygène. Cette technique permet notamment d'éliminer l'azote.

Tableau 4 : Procédés anaérobies utilisés pour traiter les effluents issus de la transformation laitière (Bourbon, 2018).

Traitement	Principe
Contact anaérobie	Contact entre les eaux à traiter et une biomasse anaérobie dans un réacteur étanche à l'air
Lagunage anaérobie	Bassin couvert profond (3 à 4m) muni d'un brassage ou d'un garnissage pour améliorer la répartition des microorganismes.
Filtre anaérobie	Développement des microorganismes sur un garnissage puis séparation des gaz de la phase liquide.
UASB	Lit à boue ascendante anaérobie (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB)
Réacteurs à lit fluidisé et expansé	Passage de l'effluent sur un matériau porteur, sable ou plastique, avec recirculation de l'effluent.
Bioréacteurs anaérobies	Réacteur SBR anaérobie, réacteur membranaire anaérobie, réacteur à biofilm anaérobie, etc.

3-1-3 Traitements tertiaires :

On assiste aujourd'hui à l'essor des procédés de filtration membranaire, qui permettent d'obtenir une eau de qualité élevée. À titre d'exemple, Macedo et *al* (2014) appliquent un traitement d'ultrafiltration suivie d'une étape de nanofiltration sur du lactosérum de brebis et obtiennent un taux de rétention de la DCO de 93%.

Dans le secteur laitier, les membranes de microfiltration, d'ultrafiltration, de nanofiltration, d'électrodialyse et d'osmose inverse permettent d'obtenir une eau de qualité suffisante pour être réutilisée, comme l'affirment Kulkarni et Goswami (2014).

Les bioréacteurs membranaires (BRM) couplent un traitement biologique et une unité de filtration membranaire. Ils peuvent fonctionner en conditions aérobies ou anaérobies, avec une unité de filtration membranaire immergée ou en boucle externe. En outre, pour le rejet des effluents dans les zones sensibles ou le recyclage des eaux, il est parfois nécessaire de recourir à un traitement de finition. Ces traitements ont pour objectif d'éliminer le phosphore et l'azote, les micropolluants ou encore les microorganismes pathogènes (Bourbon, 2018). Comme il apparaît dans le tableau 5

Tableau 5 : Principaux traitements tertiaires appliqués sur les sites de transformation (Bourbon, 2018).

Substances à éliminer	Procédés applicables
Azote	- Nitrification-dénitrification par une alternance de conditions aérobie-anoxie - Colonne de désorption ou d'adsorption pour extraire l'ammoniac
Phosphore	- Élimination biologique : alternance de conditions aérobie/anaérobie -Élimination chimique : précipitation de phosphates métalliques insolubles
Rejet substances dangereuses dans les eaux (RSDE)	- Adsorption au carbone - Oxydation chimique
Bactéries	- Biocides oxydants ou non oxydants - Ozonation - Ultraviolets

3-1-4 L'épandage :

3-1-4-1 Définition

D'après Moletta et *al* (2002) l'épandage est un procédé d'épuration par le sol qui permet un traitement direct des effluents susceptibles d'être dégradés biologiquement avec assimilation des charges organiques et minérales, destruction des germes pathogènes et valorisation agronomique des charges organiques et minérales par une pratique culturale.

Le rejet à traiter par épandage doit donc être dégradable ou assimilable par voie biologique et non toxique pour le sol et les végétaux ou animaux qui le peuplent. Le sol doit être normalement exploité ou régulièrement travaillé pour maintenir la flore et la faune à leur degré d'activité maximal.

3-1-4-2 L'épandage dans l'industrie laitière :

Dans le cas des effluents de l'industrie laitière, l'épandage ne pose pas de problème particulier et il est souvent réalisé par aspersion sur prairie.

Les eaux usées de l'industrie laitière sont de nature essentiellement organique et ne contiennent en général que peu de matières en suspension. Ces eaux sont relativement peu chargées en éléments minéraux avec quelques dizaines à quelques centaines de milligrammes par litre d'azote, d'acide phosphorique et de potasse. L'intérêt agronomique des eaux usées de laiterie est donc relativement limité et l'élément limitant de l'épandage est dans ce cas la capacité de rétention du sol qui limite les volumes à apporter et définit la charge hydraulique maximale. En revanche, dans le cas d'épandage de lisiers notamment, le facteur limitant est la quantité d'éléments minéraux apportés. Ainsi, pour un même sol cultivé en prairie, la dose annuelle par hectare sera seulement de 50 m^3 pour un lisier alors qu'elle pourra être de 4 ou 5 apports de 400 m^3 pour une eau résiduaire de laiterie (Moletta et Torrijos ,1999).

3-1-5 Devenir des boues :

Selon Moletta et Torrijos (1999) lors du traitement des effluents laitiers, l'utilisation de la matière organique comme source de carbone et d'énergie par les micro- organismes se traduit par une croissance bactérienne importante et donc par une forte production de boues en excès, en particulier pour les procédés aérobies

- Ces boues, issues des traitements biologiques et éventuellement des traitements physico-chimiques, constituent le « déchet » de l'épuration, déchet dont il est important d'assurer une élimination correcte. Elles sont très diluées (10 à 15 $g \cdot L^{-1}$ environ), présentent une résistance relativement forte à la déshydratation et contiennent de la matière organique fermentescible.

- Le but de la filière de traitement des boues sera donc d'une part de stabiliser la matière organique afin d'éviter les départs non contrôlés en fermentation pour limiter le risque de développement de mauvaises odeurs, et d'autre part de diminuer par épaississement et déshydratation le volume de boues à éliminer.

3-1-5-1 Traitement des boues :

Les boues issues de la décantation primaire et les boues activées en excès sont pompées vers des cuves closes, les digesteurs. Elles sont brassées à 35 C° pendant plusieurs semaines, subissant ainsi des processus de fermentation anaérobie qui modifient leurs caractères et les stabilisent sur le plan de l'hygiène.

La digestion produit un gaz riche en méthane qui représente une source d'énergie pour la station (chauffage des digesteurs, production d'énergie électrique). Les boues digérées sont ensuite épaissies, ce qui diminue leur volume. Elles sont conditionnées par adjonction de chaux et de chlorure ferrique. Elles sont enfin déshydratées dans les filtres presses, conduisant à la formation

de « gâteaux » contenant environ 40% de matières solides. Ces produits sont en grande partie incinérés dans des fours, les fumées libérées faisant l'objet de traitement (Beaux, 2011).

3-1-6 Des procédés innovants encore au stade de l'élaboration :

Selon Bourbon (2018) des recherches sont menées à travers le monde dans le but de développer des techniques de traitement des eaux usées plus efficaces, produisant moins de rejets (boues, pollution de l'air) ou encore permettant de valoriser d'autres déchets. C'est le cas de l'étude de Sreekanth et *al* (2014), dans laquelle il est question d'utiliser des micro-algues vertes pour biodégrader la matière organique des eaux usées de laiterie et produire simultanément du biodiesel. L'utilisation de micro-algues vertes pour le traitement des eaux usées est une technologie déjà disponible sur le marché.

Par ailleurs, plusieurs articles, tels que ceux de Bazrafshan et al. (2013) ou Torres-Sánchez et al. (2014) proposent l'utilisation de l'électrocoagulation pour le traitement des effluents de laiterie. Ces études, menées à l'échelle du laboratoire, ont conclu à une efficacité de traitement en abattement de la DCO allant de 70 à 99%.

3-2 Devenir des effluents après traitement :

Les effluents sortant d'un établissement peuvent avoir trois destinations :

- dirigés vers le milieu naturel, après traitement par une station d'épuration autonome (SEA), interne à l'usine,
- dirigés vers le réseau d'assainissement aboutissant à une station d'épuration collective (SEC) urbaine (cas le plus fréquent) ou industrielle de traitement des eaux avant rejet au milieu naturel. L'effluent subit en général un prétraitement sommaire préalable. Le raccordement à une station urbaine pose cependant le problème du transfert de responsabilité vers la collectivité et peut poser des difficultés techniques liées à l'irrégularité des apports dans la gestion de la station,
- épandus sur les sols agricoles, selon le principe de la fertilisation raisonnée et en utilisant le plus souvent un réseau enterré de canalisations. Le recours à une station d'épuration, quelle que soit sa nature, conduit à la formation d'un sous-produit chargé en substances polluantes : les boues. Celles-ci peuvent être épandues, traitées, mises en décharge ou bien incinérées (Anonyme, 2008).

Ces trois filières de traitement des effluents industriels sont présentées sur la figure 12

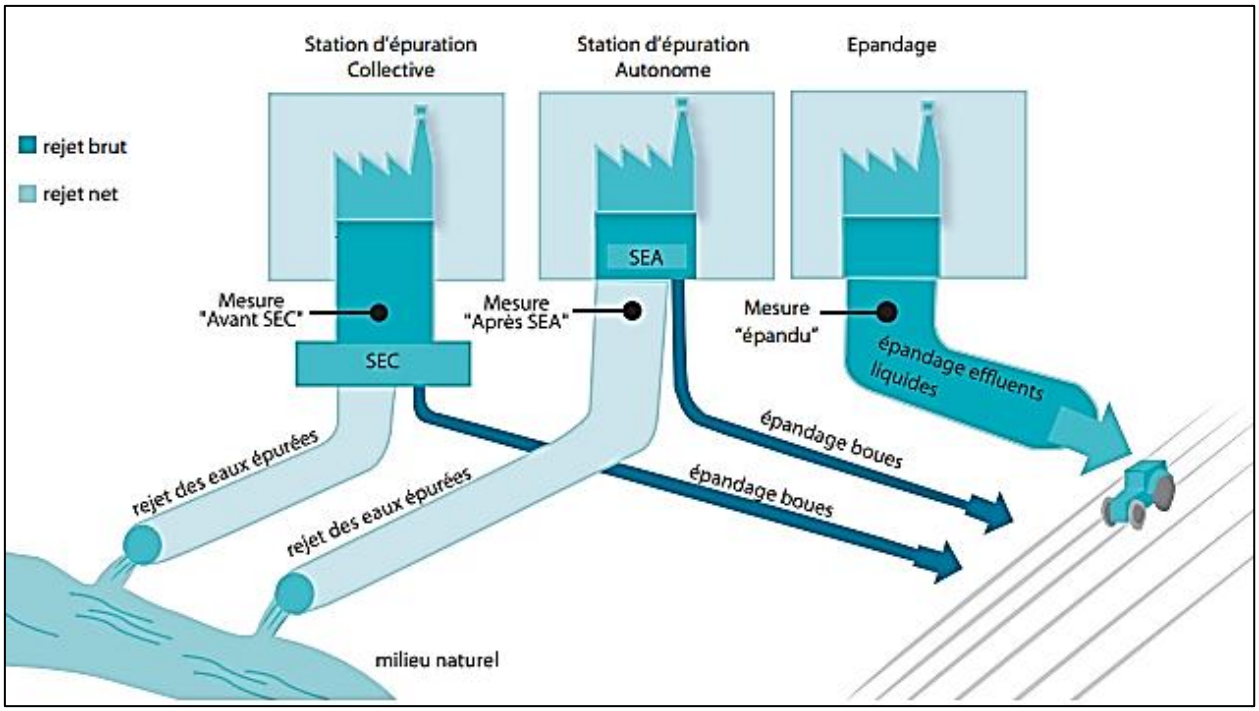

Figure 12 : Les trois filières de traitement des effluents industriels (Anonyme, 2008).

3-3 Valorisations des résidus des industries laitières et fromagères :

Pour la filière laiterie fromageries le gisement global de déchet s'élève à 9 500 000 t/an, et comprend le lactosérum dans les fromageries (9 Mt/an) et le babeurre dans les laiteries (Moletta et *al*., 2002).

Ces résidus laitiers sont nuisibles lorsqu'ils sont déversés dans les cours d'eau car ils contribuent à leur eutrophisation. Heureusement, près de leur moitié est transformé en poudre. La déshydratation requiert cependant beaucoup d'énergie (Duval, 1991).

3-3-1 Lactosérum :

Le lactosérum, coproduit de l'industrie fromagère, est composé principalement de lactose, protéines et sels minéraux (Brady et *al.*, 2016). Selon Schuck et *al* (2004) et Bourgeois et Larpent, (1996) deux grandes classes de lactosérums sont souvent distinguées en fonction du coagulant, Il y a :

- Lactosérum doux, qui est obtenu après la coagulation du lait. Il est issu de la production de fromage à pâte pressée et/ou cuite.
- Le lactosérum acide qui est obtenu par coagulation du lait après l'acidification provoquée par le métabolisme des bactéries lactiques.

Malgré sa composition intéressante, celui-ci présente des inconvénients puisque c'est un polluant qui ne peut être rejeté dans la nature et dont le transport est coûteux. Ainsi, il est actuellement valorisé sous forme de poudre pour l'alimentation humaine et animale (Brady et *al.*, 2016).

Conclusion

Avec la génération d'importants flux d'eaux usées chargés en matière organique et l'évolution de la réglementation sur la qualité des eaux rejetées dans le milieu naturel, les sites de transformation laitière et fromagère sont confrontées à une véritable problématique en ce qui concerne la prise en charge de leurs effluents.

Les procédés permettant de les traiter sont nombreux et certains d'entre eux ont démontré leur efficacité. Si les réacteurs aérobies ou anaérobies sont les plus rencontrés sur les sites de transformation, il ne faut cependant pas négliger de nouveaux types de traitement tels que les traitements membranaires qui permettent une réutilisation de l'eau traitée.

On constate que les effluents laitiers représentent une ressource d'eau renouvelable qu'il faudra exploiter dans l'industrie, l'agriculture et dans d'autres usages municipaux, donc, constitue sans doute, demain, l'une des solutions incontournables pour notre pays face au déficit hydrique. Cette réutilisation ne représente pas seulement une option économique compétitive, mais aussi de nombreux avantages sociaux et environnementaux.

Une meilleure gestion des effluents passe donc par l'utilisation de technologies de traitement efficaces mais l'économie d'eau à la source (mise en place de bonnes pratiques et d'outils de production économes en eau) constitue également un levier pour la réduction de leurs volumes et de leur impact environnemental.

Suite à cette étude bibliographique il serait intéressant de :

-Réaliser une étude sous forme d'une enquête sur l'état des lieux des stations d'épurations des industries laitière et fromagère en Algérie et d'en faire une synthèse générale, cette étude permettra de conclure l'avenir de ces stations.

-Réaliser une étude d'analyse, contrôle et suivi des effluents épurer d'une station d'épuration d'industrie laitière et fromagère afin de s'assurer que cette dernière est suffisamment bien entretenues et gérés.

Vu la situation actuelle de la pandémie Covid-19 l'accès aux entreprises laitières n'est pas permet, d'où je n'ai pas pu compléter cette étude bibliographique par une partie pratique.

Références bibliographiques