

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2017

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Eau, Santé et Environnement

Présenté par :

AGGUINI Lamia & *ZAIDI Nabila*

Thème

*Séchage Innovant (Micro-onde) et Conventionnel (Etuve) de
la boue résiduaire : Etude phénoménologique*

Soutenu le : 03/ 07 / 2017

Devant le jury composé de :

<i>Mme MAHDI Khadidja</i>	<i>MCA</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>President</i>
<i>Mr DAHMOUNE Farid</i>	<i>MCA</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Promoteur</i>
<i>Mr REMINI Houcine</i>	<i>MAB</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Co-Promoteur</i>
<i>Mr ABERKANE Boubekour</i>	<i>MAB</i>	<i>Univ. de Bouira</i>	<i>Examineur</i>

Année Universitaire : 2016/2017

Remerciements

Nous tenons à remercier Dieu, pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

Notre promoteur et co-promoteur : Mr DAHMOUNE Farid Maitre de Conférence classe A de l'université de Bouira et Mr REMINI Houcine Maitre de Conférence classe B de l'université de Bouira pour leurs conseils et leur suivi.

Tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nous tenons également à remercier, les membres du jury : Mr ABERKANE Boubekeur Maitre de conférences classe B de l'université de Bouira et Mme MAHDI Khadidja Maitre de Conférences classe A de l'université de Bouira, qui nous feront l'honneur d'examiner notre travail.

On adresse également nos profonds remerciements à Mr Belaid Tahar Directeur du laboratoire du contrôle de la qualité et de la répression des fraudes de la Wilaya de Bouira, de nous avoir autorisé à effectuer notre stage au sein de ce laboratoire.

Et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Dédicace

Au bon Dieu qui m'a donné la force et le courage de continuer et qui m'a éclairé le chemin tout le long de ma vie.

A celle qui m'a offert la clé de la réussite sur un plant d'or et qui ne cesse de donner sans recevoir, ma très chère Mère dont je suis fière et à mon très cher père qui m'a toujours encouragé et soutenu.

A mes très chers frères, Ali, Lounis, Younes et aussi mes très chères sœurs, Nawal, Sarah, Asma.

A mon futur merveilleux mari qui m'a été le bras droit Mohamed Hennache et toute sa famille.

A mes très chères amies, Nawal, Kahina et Adila.

A tous mes oncles, mes tentes surtout ma tente Naïma et tous mes cousins et cousines.

A ma binôme Lamia et sa famille.

NABILA

Dédicace

Au bon Dieu qui m'a donné la force et le courage de continuer et qui m'a éclairé le chemin tout le long de ma vie.

Je dédie ce fruit de tant d'années d'études aux êtres qui me sont très chers dans la vie :

- ❖ A mes très chers parents qui m'ont toujours témoigné leurs sacrifices et bénédictions et pour toutes les peines qu'ils se sont données pour me voir réussir dans la vie, avec toutes ma fidélité et tous mon amour pour vous mes parents, je ne pourrais jamais égaler votre mérite.*
- ❖ A ma moitié, mon chers époux Mouloud et ma belle-famille.*
- ❖ A ma chère sœur et sa fée Ines sans oublier son mari.*
- ❖ A mes adorables anges, mes frères : Farouk et Lamine.*
- ❖ A tous mes proches : Mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines sans citer leur noms.*
- ❖ A ma binôme bila et sa famille.*
- ❖ A mon Directeur Mr Belaïd et mes chères collègues qui m'ont soutenu tout le long de mon stage pratique.*
- ❖ A tous les gens qui m'aiment et qui m'ont aidé à réaliser se travail de fin d'étude.*

Lamia

Table de matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

I. Revue de la littérature

1. Généralités sur les boues	3
1.1. Définition.....	3
1.2. Composition des boues résiduaires.....	4
1.2.1. Matière organique	4
1.2.2. Eléments fertilisants et amendements.....	4
1.2.3 .Contaminants chimiques inorganiques et organiques.....	4
1.2.4. Les micro-organismes pathogènes.....	5
1.3. Caractéristiques des boues	5
1.4. Les différentes filières de traitement des boues.....	6
1.5. Les principales filières d'élimination et de valorisation.....	8
1.5.1. La mise en décharge contrôlée.....	8
1.5.2. La valorisation agricole.....	8
a. Compostage.....	8
b. Épandage agricole.....	9
1.5.3. La valorisation énergétique.....	9
a. L'incinération.....	9
b. Oxydation par voie humide (OVH).....	10
c. Thermolyse.....	10
d. Gazéification.....	11

2. Généralités sur le séchage	12
1. Objectifs de séchage	13
2. Principe de séchage	13
3. Modes de transfert de la chaleur.....	15
4. Différents types d'application du séchage	15
4.1. Séchage industriel	15
4.2. Séchage par micro-ondes	16
4.3. Séchage par lyophilisation.....	16
4.4. Séchage Solaire	17
5. Inconvénients liés au séchage	17
5.1. Facteurs de modification de la qualité.....	17
5.2. Dégradation thermique	19
5.3. La consommation de l'énergie	19

II. Matériels et Méthodes

1. Objectif de l'étude.....	20
2. Matériels	20
2.1. Appareillage et équipements.....	20
2.2. Verrerie et matériel en plastique	20
2.3. Milieux de cultures et réactifs.....	20
3. Méthodes.....	21
3.1. Echantillonnage.....	21
3.2. Caractérisation de la boue	21
3.2. 1.Teneur en matières sèches ou siccité.....	21

3.3. Séchage de la boue	22
3.3.1. Séchage par micro-ondes et étuve.....	22
3.3.2. Séchage par lyophilisateur.....	23
3.3.3. Séchage à l'aire libre	23
3.4. Analyse microbiologique de l'échantillon de boue.....	24
3.4.1. Préparation de l'échantillon pour essai (suspension mère).....	24
3.4.2. Préparation des Dilutions décimales.....	25
3.4.3. Recherche des germes totaux.....	25
3.4.4. Recherche d'une contamination d'origine fécale.....	26
4.4.5. Recherche des bactéries sulfito-réductrices à 46 °C.....	27
4.4.6. Détection et isolement de germe pathogène (Salmonelle).....	28

III. Résultats et de discussion

1. Teneur en matières sèches (MS) et en humidité de la boue.....	32
2. Cinétique de séchage de la boue.....	32
2.1. Cinétique de séchage par micro-onde (innovant) de la boue.....	32
2.2. Cinétique de séchage à l'étuve (conventionnel) de la boue résiduaire.....	33
2.3. Séchage par lyophilisateur.....	34
2.4. Séchage à l'aire libre.....	35
3. Analyse microbiologique de l'échantillon de boue.....	37
Conclusion.....	40
Références bibliographiques.....	41

Annexes

Liste des figures

Figure 1 : Boue issue de la station d'épuration de Bouira.....	03
Figure 2 : Schéma général des traitements des boues.....	07
Figure 3 : Techniques de traitement des boues et leur destination	12
Figure 4: Schéma d'une station d'épuration intégrant l'ensemble des étapes de traitement.....	Annexe
Figure 5 : l'échantillon de boue avant séchage (A), séchage par étuve (B) et séchage par micro-onde(C).....	22
Figure 6: Le séchage par lyophilisateur.....	23
Figure 7: Les étapes de la préparation de l'échantillon pour essai (suspension mère).....	24
Figure 8: Préparation des Dilutions décimales.....	25
Figure 9 : Ensemencement des germes totaux.....	26
Figure 10: L'évolution de la perte de masse en fonction du couple temps-puissance de séchage par micro-onde.....	32
Figure 11 : L'évolution de la perte de masse en fonction du couple temps-température du séchage à l'étuve.....	33
Figure 12 : La différence de la couleur et texture de la boue avant et après séchage, (A) boue avant séchage, (B) boue après séchage par micro-onde et étuve, et (C) boue après séchage par lyophilisateur.....	35
Figure 13 : L'évolution de la perte de masse en fonction du temps, du séchage à l'air libre.....	35
Figure 14: Comparaison de l'évolution de la perte de masse en fonction du temps, du séchage à l'air libre, à l'étuve et au micro-onde.....	37
Figure 15: Dénombrement des germes aérobies mésophiles totales des échantillons BAS, SS, SL, 40°C, 60°C, 80°C, 100°C, 120°C, et 150°C.....	Annexe
Figure 16 : Dénombrement des germes aérobies mésophiles totales des échantillons 70, 150, 300, 600, 900, et 1200 Watt.....	Annexe
Figure 17 : Dénombrement des bactéries sulfito-réductrices des échantillons BAS, SS, SL, 40°C, 60°C, 80°C, 100°C, 120°C, et 150°C.....	Annexe
Figure 18 : Dénombrement des bactéries sulfito-réductrices des échantillons : 70, 150, 300, 600, 900, et 1200Watt.....	Annexe

Figure 19 : Dénombrement des coliformes totaux, coliformes fécaux et <i>E.coli</i> des échantillons : BAS, SS, SL.....	Annexe
Figure 20 : Dénombrement des coliformes totaux, coliformes fécaux et <i>E.coli</i> des échantillons 40°C, 60°C, 80°C, 100°C, 120°C, et 150°C.....	Annexe
Figure 21 : Dénombrement des coliformes totaux, coliformes fécaux et <i>E.coli</i> des échantillons : 70, 150, 300, 600, 900, et 1200Watt.....	Annexe
Figure 22 : Dénombrement des salmonelles des échantillons : 70, 150, 300, 600, 900, et 1200Watt.....	Annexe

Liste des tableaux

Tableau 1 : Etat physique d'une boue.....	6
Tableau 2 : Les différents types et principes de séchage	14
Tableau 3: Principaux phénomènes de transformation de la qualité des produits en fonction de l'état ou de la dynamique de l'eau dans le produit.....	18
Tableau 4: Les différentes CEM (consommation énergétique massique) en fonction des modes de séchage	19
Tableau 5 : Table NPP d'après la norme ISO 7218 :1996 (F).....	annexe
Tableau 6 : Lecture et interprétation des phénomènes se produisant après culture sur gélose TSI	30
Tableau 7: Les durées des différentes étapes du séchage par lyophilisation.....	34
Tableau 8 : Résultat de l'analyse microbiologique.....	38

Liste des abréviations

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

AMORCE : Association nationale des collectivités et gestion des déchets.

aw : activité de l'eau.

BLBVB : bouillon lactosé bilé au vert brillant.

C : carbone.

CEM : consommation énergétique massique.

CF : coliformes fécaux.

CT : coliformes totaux.

DCO : demande chimique en oxygène.

GA : germes aérobie.

GHZ : gigahertz.

HAP : hydrocarbure aromatique polycyclique.

ISDND : installation de stockage des déchets non dangereux.

ISO : organisation internationale de normalisation.

MKTTn : Muller-Kauffmann au tétrathionate-novobiocine.

Mm : matière minérale.

MS : matière sèche.

MVS : matière volatile sèche.

N : azote.

ONA : office nationale de l'assainissement Algérie.

OTV : Omnium de Traitement et de Valorisation.

OVH : oxydation par voie humide.

P : phosphore.

PCA : plate count agar.

PCB : polychlorobiphényle.

RVS : Rappaport-Vassiliadis avec soja.

STEP : station d'épuration.

TSC : tryptose - sulfite – cyclosérine.

TSI : citrate de fer et aux trois sucres.

XLD : xylose lysine désoxycholate.

Introduction

Le traitement des eaux constitue actuellement la part essentielle des investissements industriels pour la protection de l'environnement, le traitement dans les stations d'épuration s'accompagne de quantités de boues non négligeables dont il faut se débarrasser. Plusieurs filières existent pour l'élimination de ces boues, mais le choix doit être tributaire du coût d'installation, de l'origine des boues, de la valeur ajoutée du produit qui en résulte et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement (**Amir, 2005**).

La mise en décharge (appelée aussi stockage) s'avère une technique peu valorisante et elle est légalement interdite dans de nombreux pays (directive 1999/31/CE). L'incinération des boues a un coût prohibitif et présente un risque lié à l'impact des gaz toxiques sur l'environnement tel que celui de la dioxine. La valorisation énergétique (production de biogaz comme source de chaleur et d'électricité) et la valorisation biologique ou agricole (production d'engrais et de compost) constituent des technologies vertes permettant de transformer les boues en produits à haute valeur ajoutée en minimisant les risques de pollution (**ADEME, 2001**).

Le traitement des boues est un compromis entre ce qui est techniquement faisable, viable et socialement acceptable. Il est probable, et même certain, que les débouchés actuels seront amenés à évoluer dans les années à venir suite à de nouvelles exigences réglementaires principalement adoptées pour regagner la confiance du grand public. Dans ce contexte, le traitement en amont des boues, dont l'objectif principal est de conditionner les boues recueillies sous une forme compatible avec leur destination finale, devra aussi évoluer. Parmi les différentes techniques de conditionnement utilisables, le séchage thermique présente de nombreux avantages comme la diminution du volume, la réduction des odeurs, le blocage des processus biologiques etc. Mais le coût élevé ainsi que les problèmes technologiques liés à la mise en œuvre des procédés ou les problèmes de sécurité ont constitué des freins importants au développement de cette technique (**RECORD, 2001**).

L'objectif du présent travail, vise à démontrer l'efficacité des procédés de séchage sur la perte de masse et l'activité microbienne de l'échantillon de boue de la station d'épuration de la wilaya de Bouira.

Pour cela notre étude a englobée deux aspects, le premier étant consacré à l'étude des cinétiques de séchage, et leurs évolutions au cours du temps avec différentes températures à l'étuve et différentes puissances au micro-onde et d'autres procédés de séchage par lyophilisation ou à l'air libre. Le second aspect de notre étude était dédié à l'analyse microbiologique de l'échantillon de boue avant et après séchage par différents procédés.

Synthèse bibliographique

1. Généralités sur les boues

1.1. Définition

Les boues sont définies comme «un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent».

Les boues d'épuration sont les sédiments résiduaux issus du traitement des eaux usées ; les boues d'épuration urbaines résultent du traitement des eaux usées domestiques qui proviennent de l'activité des particuliers et éventuellement des rejets industriels dans les réseaux des collectivités après avoir suivi un pré-traitement obligatoire figure 1.

Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers les stations d'épuration où elles sont traitées. En fin de traitement, à la sortie de la station, l'eau épurée est rejetée vers le milieu naturel et il reste les boues résiduaux qui sont composées d'eau et de matières sèches contenant des substances minérales et organiques (**Feddane et al, 2014**).

Les boues résiduaux représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (Matière organique, éléments fertilisants (N et P ...), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes) (**Bousselhaj, 1996**).



Figure 1 : Boue issue de la station d'épuration de Bouira (**Aguini L et Zaidi N, 2017**).

1.2. Composition des boues résiduaires

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année, du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration (Werther et Ogada, 1999).

1.2.1. Matière organique

La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. La matière organique des boues est constituée de matières particulaires éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation) (ADEME, 2001).

1.2.2. Eléments fertilisants et amendements

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésie, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium (Zebarth *et al.*, 2000). Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux.

1.2.3. Contaminants chimiques inorganiques et organiques

Ces mêmes éléments traces métalliques (cuivre, le zinc, le chrome et le nickel) indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses (Chang *et al.*, 1992). D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels (Alloway, 1995). Ainsi, un polluant peut être défini comme un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. Aussi, dans les boues, une multitude de polluants organiques (HAP, Phthalates, PCB, etc) peut se trouver en concentrations en général de l'ordre de $\mu\text{g}/\text{kg MS}$ (Lega *et al.*, 1997).

La nature et la concentration des eaux usées en polluants organiques et inorganiques sont très dépendantes des activités raccordées au réseau. L'essentiel des contaminations chimiques vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de bricolage...).

Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées (**Klöpffer, 1996**).

1.2.4. Les micro-organismes pathogènes

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration. Seul une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux (**Sahlström et al., 2004**).

La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine: les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées (**Ecrin, 2000**). Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost (arrêté n°2210 du 30 avril 2004: Abattoirs). D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture (**Garrec et al., 2003**).

1.3. Caractéristiques des boues

Une boue est aussi représentée par plusieurs données numériques qui permettent de la caractériser (**Gheriani, 2015**).

➤ Siccité

Les boues sont constituées d'eau et de matières sèches. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 % (**Ait Younes et Azouzz, 2012**).

➤ Teneur en matière volatiles en suspension (MVS)

Les matières sèches englobent des matières minérales (M. Min) et de matière organiques appelées aussi matières volatiles sèche (M.VS)

$$MS = MVS + Mm$$

Pour la majorité des boues, la détermination des matières volatiles est une évaluation approche de la matière organique (**Léonard, 2002**).

Généralement, on exprime la concentration des MVS en pourcentage par rapport aux MS, dans ce cas on parle de taux de MVS.

Ce paramètre nous renseigne sur le degré de stabilité de la boue

✓ **Notion de stabilité d'une boue**

Une boue est dite stable lorsqu'elle est débarrassée de ses matières organiques (MVS), donc, plus une boue est stable, moins elle contient de matière organiques (**Boudjenoun, 2009**).

Tableau 01 : Etat physique d'une boue (**Gheriani, 2015**).

Etat	Siccité (%)
Liquide	< 10 %
Pâteuse	10-25 %
Solide	25-50 %
Granulaire	> 50 %

1.4. Les différentes filières de traitement des boues

On distingue deux types de boues : les boues primaires issues de la décantation primaire qui contiennent, entre autres, des virus entériques et les boues en excès provenant du bassin d'aération après une décantation secondaire. Ces boues sont riches en résidus bactériens.

Avant de les rejeter dans le milieu naturel, il est nécessaire de traiter ces deux types de boues afin d'éviter toute contamination de l'environnement par les résidus non éliminés.

Le traitement comporte plusieurs étapes : la stabilisation pour réduire leur caractère fermentescible, l'épaississement et la concentration pour réduire leur volume, la déshydratation et le conditionnement figure 2 (**Mathlouthi, 2011**).

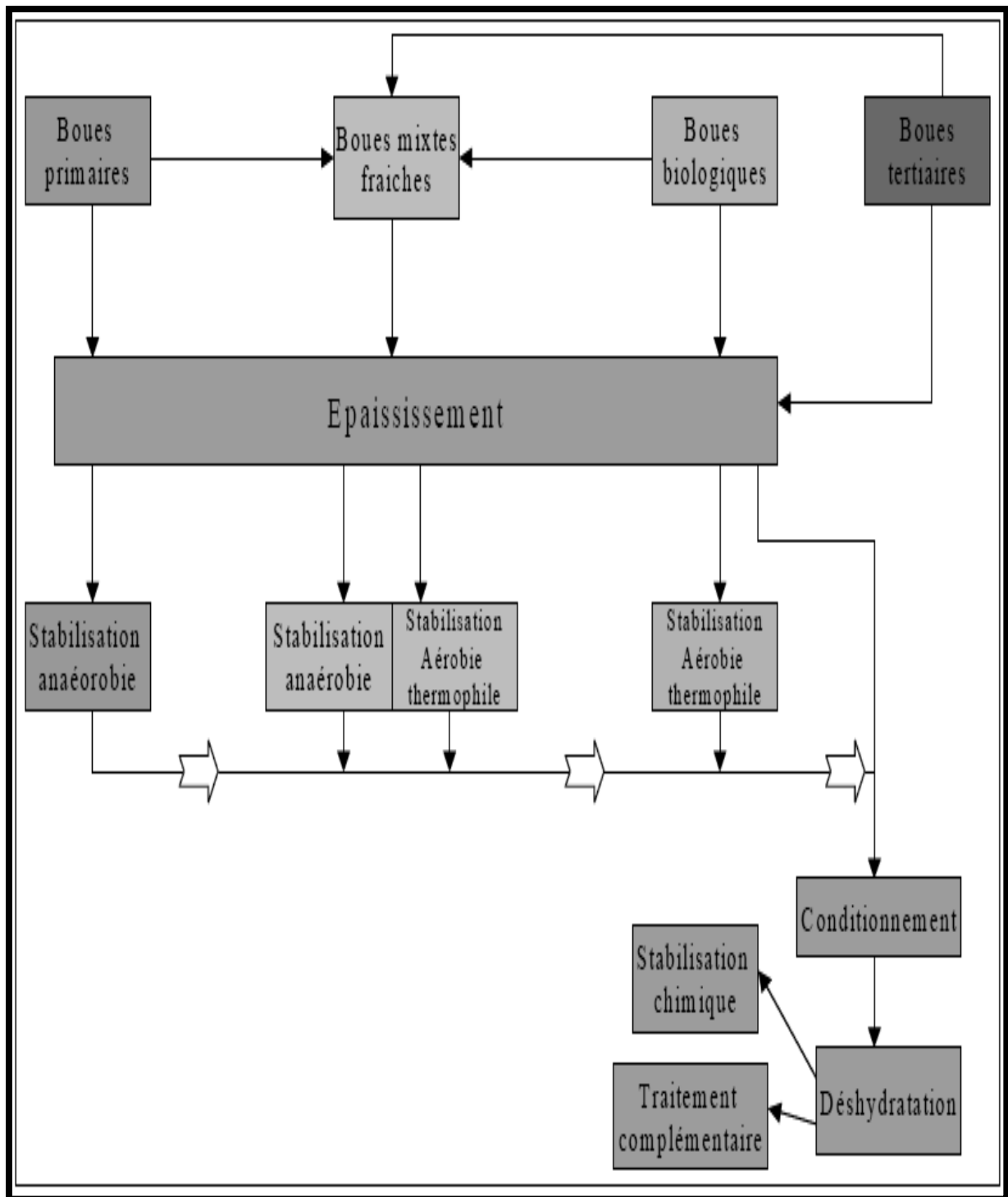


Figure 2: Schéma général des traitements des boues (Gheriani, 2015).

1.5. Les principales filières d'élimination et de valorisation

1.5.1. La mise en décharge contrôlée

La mise en décharge contrôlée consiste en un enfouissement des boues (souvent mélangées avec les ordures ménagères) en tenant compte de certaines conditions : compactage des résidus, site étanche, récupération et traitement des jus de décharges, équipement et gestion du site (**El-Fadel et Khoury, 2000**). Les boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées (humidité maximale de 70 %).

Cette solution a perdu progressivement de son intérêt et se retrouve actuellement interdite pour des raisons financières (procédure de fermeture ...) et pour des problèmes environnementaux tels que les odeurs nauséabondes, pullulation de moustiques, entraînement d'éléments fertilisants (nitrates, phosphates) et de produits toxiques par les eaux superficielles et contamination des nappes d'eaux souterraines (**Marttinen et al., 2003**).

1.5.2. La valorisation agricole

La valorisation agricole des boues résiduaires peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimique (C, N, P..), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges. Les boues résiduaires peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux (**Amir, 2005**).

a. Compostage

Les difficultés de stocker, de manipuler et de transporter des gâteaux de boues collants, de même que les risques associés à la présence de microorganismes pathogènes et à la putrescibilité des boues, font en sorte de mettre en valeur le compostage des boues d'épuration comme voie de valorisation de cette biomasse. Ainsi, le compostage des boues déshydratées avec un support carboné structurant permet, certes avec des investissements supplémentaires, de faciliter l'évacuation des boues résiduaires organiques et d'obtenir un amendement organique commercialisable (maraîchage, horticulture florale, pépinières, viticulture, sylviculture, etc.), si les teneurs en métaux lourds sont acceptables. (**Jean-François, et Jean-Louis, 1996**).

Le compostage est la décomposition et la stabilisation, par voie biologique aérobie thermophile, de substrats organiques contenus dans des déchets solides. Cette oxydation par

des microorganismes divers, s'accompagne d'une augmentation de température pouvant atteindre entre 65 et 70° C, ce qui entraîne une destruction des germes pathogènes et une diminution de l'humidité du produit. Une revue des aspects microbiologiques et des principes de base du compostage a été préparée récemment par (**Golueke, 1992**).

La génération importante d'odeurs lors du compostage des boues représente le principal obstacle à ce mode de traitement et de valorisation des boues. Il faut également prendre note que le compostage ne peut, à lui seul, servir au traitement d'une proportion élevée des boues générées dans les stations d'épuration. Toutefois, des unités de plus en plus volumineuses de compostage des boues sont implantées à travers le monde.

Ils existent deux principaux procédés de compostage des boues, soit à l'air libre avec des piles retournées mécaniquement, soit par aération forcée avec compostage en tas ou en réacteur fermé (**Jean-François et Jean-Louis, 1996**).

b. Épandage agricole

Tous les pays disposant de systèmes d'assainissement doivent éliminer les boues d'épuration qui en résultent. L'épandage agricole est une pratique très ancienne permettant de profiter des capacités biologiques naturelles des sols à digérer les boues et en réintroduire leurs éléments dans les cycles naturels.

Cette pratique permet également de valoriser les propriétés fertilisantes des boues pour les cultures agricoles. Bien que pratiqué depuis plus de trente ans sans aucun accident portant atteinte à la santé publique, l'épandage agricole des boues de stations d'épuration fait l'objet d'une vigilance renforcée (**Slim, 2007**).

1.5.3. La valorisation énergétique

a. L'incinération

L'incinération des boues doit permettre l'oxydation complète de leur fraction organique, à 800-900°C, en atmosphère oxydante (excès d'air). Différentes mises en œuvre sont possibles.

- ✓ Incinération dans un four spécifique :

Cette solution est adoptée par des stations qui produisent de grandes quantités de boue mais peut aussi être le résultat d'une association de plusieurs stations d'épuration qui valorisent leurs boues conjointement.

- ✓ Co-incinération avec ordures ménagères :

Cette option est envisagée lorsque le volume de boue ne justifie pas la construction d'un four et qu'un incinérateur ménager est situé à proximité (**Surh, 2002**). La capacité thermique du four doit être telle qu'elle permet l'introduction de boues. La boue sous forme pâteuse (15 à 30% MS) est plutôt considérée comme un fluide de refroidissement alors qu'une boue de teneur en matières sèches supérieure à 60% possède un pouvoir calorifique inférieur proche des ordures et fait office de combustible.

b. Oxydation par voie humide (OVH)

Les boues épaissies (3 à 4% MS) sont éliminées par oxydation à chaud (220- 230°C) en présence d'air ou d'oxygène pur, sous pression (4000 à 13000 kPa) et en milieu humide. Après traitement on obtient les sous-produits inertes suivants :

- ✓ un résidu minéral à 97% pouvant être recyclé dans les bétons ou la fabrication de tuiles ;
- ✓ une solution aqueuse (5 à 10 g/l DCO) réinjectée en tête de station ;
- ✓ des gaz résiduels ne nécessitant aucun traitement complexe avant rejet.

L'oxydation par voie humide a été validée à l'échelle pilote et sur quelques installations à grandeur réelle. Cette technique pourrait constituer une alternative à l'incinération pour un coût global de traitement généralement inférieur (**OTV, 1997**).

Cependant, des difficultés technologiques liées à la corrosion, à la précipitation de sels inorganiques et au travail sous pression retardent son développement industriel. Une version supercritique du procédé existe également, qui se distingue par des pressions (> 21800 kPa) et températures (374°C) plus élevées ainsi que des problèmes de corrosion encore plus aigus.

c. Thermolyse

La thermolyse (ou pyrolyse) est une dissociation thermique de la matière organique et de la matière minérale, en l'absence d'oxygène (moins de 2 %), sous l'action de la chaleur (400 à 800°C). Il s'agit donc d'un traitement thermique sans combustion et endothermique.

Selon les conditions de la réaction (température, pression partielle en oxygène, pression totale), la fraction organique se décompose en gaz, huiles et résidus solides carbonés (**Ait Younes et Azouzzi, 2012**).

d. Gazéification

La gazéification consiste à convertir à forte température (900-1100°C) une énergie contenue dans un matériau solide en un résidu inerte et gaz calorifique valorisable sous forme de chaleur ou d'électricité, avec des rendements énergétiques et un bilan environnemental favorables. Cependant, cette technique nécessite des boues préalablement séchées à 90%, ce qui grève pour le moment le coût de cette solution alternative (**AMORCE, 2012**). Le schéma ci-dessous présente une vue globale des techniques de traitement sur STEP et la destination des boues traitées figure 3 :

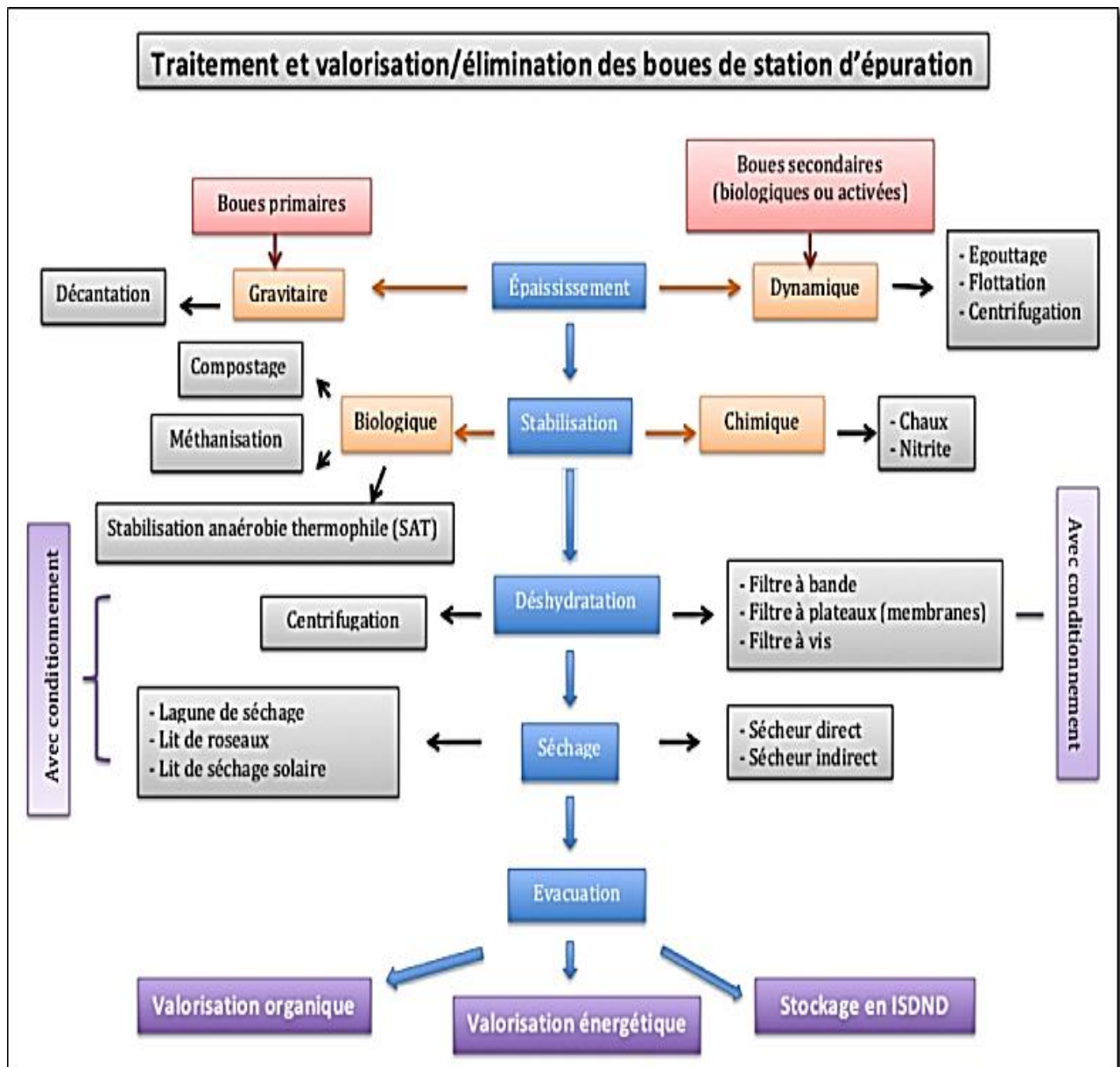


Figure 03 : Techniques de traitement des boues et leur destination (AMORCE, 2012).

2. Généralités sur le séchage

Le séchage est l'une des anciennes méthodes de conservation des aliments. Selon (Alibas, 2007), le séchage est défini comme étant l'une des méthodes de stockage, qui a tendance à augmenter la période de conservation d'un aliment, tout en préservant sa qualité nutritionnelle. Le séchage est le processus d'élimination de l'humidité dans un produit jusqu'à une valeur constante par évaporation (Li *et al.*, 2011).

Bonazzi & Bimbenet, (2003) ont défini le séchage comme l'opération consistant à évaporer l'eau contenu dans l'aliment, ce qui permet la stabilité des denrées périssables par

abaissement de l'activité de l'eau (a_w), pour avoir des produits solides et secs avant utilisation dans les procédés industriels.

Quel que soit le mode de séchage (air-chaud ou aux micro-ondes), le transfert d'eau est due à la différence de pression de vapeur d'eau entre l'intérieur et la surface du produit, ce qui fournit une force entrainante pour l'humidité (**Maskan, 2001**).

2.1. Objectifs de séchage

L'utilisation du séchage dans les industries agro-alimentaires à des multiples buts dont le principal est de prolonger la durée de conservation des aliments (viandes, fruits, graines, pâtes, épices, thé, champignons) (**Alibas, 2007; Bonazzi et Bimbenet, 2003**), d'inhiber l'activité des micro-organismes, des enzymes ou des ferments de la matière ; de stabiliser les produits agricoles (maïs, riz, lait, tomate) (**Alibas, 2007; Maskan, 2001**). Le séchage permet aussi de diminuer la masse et le volume des aliments pour faciliter leurs stockages et leurs transports (**Bonazzi et Bimbenet, 2003 ; Vasseur, 2011**).

2.2 Principe de séchage

Selon (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**), l'élimination d'eau peut être effectuée par trois voies principales :

❖ Voie mécanique

Se réalise par un simple transfert de quantité de mouvement mais pas avec un transfert thermique exemple : Centrifugation, filtration, égouttage, essorage, pressage.

❖ Voie chimique

C'est une méthode extractive basée sur des interactions chimiques, ou physico-chimiques, telle que la déshydratation imprégnée par immersion (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**).

❖ Voie thermique

Se réalise par un transfert de masse qui nécessite une activation de l'eau par certaine quantité d'énergie apportée par un transfert de chaleur.

L'évaporation de l'eau d'un produit mis en œuvre deux mécanismes : l'entraînement et l'ébullition tableau 2.

Tableau 2 : Les différents types et principes de séchage.

Type de séchage	Définition	Référence
Séchage par rayonnement	L'énergie est apportée au produit par rayonnement, ce qui décrit les cas de chauffage par infrarouge, micro-ondes, hautes fréquences, ainsi que le séchage solaire	(Vasseur, 2011 Roussy et al., 2003)
Séchage par friture	Est un procédé complexe combinant trois opérations unitaires en une seule : -séchage par ébullition -imprégnation d'huile	
Séchage par lyophilisation	La lyophilisation est une opération de déshydratation à basse température et à basse pression qui consiste à éliminer principalement la majeure partie de solvant du produit par sublimation	
Séchage par entrainement	Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle de la vapeur d'eau	(Kisselmina, 2011)
Séchage par ébullition	L'ébullition a lieu lorsque la température du produit est élevée (par conduction sur une surface chaude, par rayonnement, par la vapeur d'eau surchauffée, par immersion dans de l'huile chaude)	
Le séchage convectif (lit fluidisé, atomisation)	Le séchage par atomisation commence par le pompage du liquide dans la chambre de séchage. La pulvérisation de la solution à déshydrater va former des gouttelettes en contact avec un milieu gazeux chaud et sec	
Le séchage solaire (peut être considéré comme séchage par rayonnement)	Le produit est exposé au rayon solaire, et l'élimination d'eau par convection	(Ferradji et al., 2001)

2.3. Modes de transfert de la chaleur

Le séchage est une opération complexe qui met en jeu des transferts couplés de matière (d'eau essentiellement) et de chaleur, accompagnés de modifications physico-chimiques et de structure du matériau (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**). Le transfert de chaleur peut se faire par trois voies :

❖ Conduction

La chaleur se déplace du corps plus chaud (paroi) au moins chaud, elle est apportée au produit par conduction à travers cette paroi chaude vers le produit, puis par conduction à l'intérieur du produit, ce mode de séchage se fait soit par ébullition ou par entraînement (**Vasseur, 2011**).

❖ Convection

En séchage industriel, il s'agit probablement du mode de transfert d'énergie le plus courant. Il consiste à mettre en contact un gaz (air) s'écoulant en régime généralement turbulent autour du corps à sécher qui peut se présenter sous forme de particules, de gouttelettes, de films ou de plaques (**Charreau et Cavallé, 1995**).

❖ Rayonnement

Dans cette technique l'énergie est apportée au produit par rayonnement, ce qui décrit les cas de chauffage par infrarouge, tel que micro-ondes.

2.4. Différents types d'application du séchage

Il existe de nombreuses applications de séchage. Selon le domaine, on retrouve :

2.4.1. Séchage industriel

a) Séchage à l'air chaud

C'est la méthode de séchage la plus commune pour les aliments (**Maskan, 2001**). Plusieurs chercheurs ont souligné que le séchage à l'air chaud, (à des températures élevées), provoque une dégradation importante des attribues de la qualité alimentaire tels que : la couleur, la flaveur, la texture, un sévère rétrécissement, réduction de la densité et la capacité de réhydratation, endommagement des caractéristiques sensorielles et la migration des solutés vers la surface de l'aliment (**Bouraoui et al., 1994 ; Yongsawatdigul et gunasekaran 1996 ;Feng et Tang, 1998 ; Maskan, 2000**).

b) Séchage à l'étuve (séchage conventionnel)

Il faut préciser la consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester. Même si cette taille n'est pas en général critique, le temps de séjour dans l'étuve doit être adapté au rapport surface/volume. On appelle « matière sèche » la masse finale constante restante, et la perte de masse (différence entre la pesée avant et après séchage) donne la teneur en eau initiale. L'humidité de l'air présente dans l'étuve peut être augmentée par la vapeur émise par les échantillons séchés, en fonction du renouvellement de l'atmosphère interne de l'étuve (rarement précisé), et en fonction des hétérogénéités de température dans l'étuve, (préférer les étuves « ventilées », à ventilation forcée) (**Vasseur, 2009**).

2.4.2. Séchage par micro-ondes

Le séchage par micro-onde (encore appelé séchage hyperfréquence ou ultra-haute fréquence) est identique à celui du chauffage haute fréquence et se caractérise par l'absorption d'un rayonnement électromagnétique par le produit à chauffer (**Roussy et al., 2003**). Le séchage des fruits et légumes par micro-onde est une méthode efficace dans la réduction du temps de séchage (méthode de séchage très rapide). Dans certains cas, elle peut aussi être efficace dans l'amélioration de la qualité du produit (**Li et al., 2011**).

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques, leurs gammes de fréquences est 300 MHz à 300 GHz. Quel que soit l'usage (domestique, médical ou industriel), la fréquence réglementaire est de 2,45 GHz (**Kingston et Haswell, 1997 ; Thostenson et Chou, 1999; lidstrom et al., 2001 ; Juane et al., 2011**).

Les techniques de séchages par micro-ondes ont approuvé leurs efficacité pour certains nombre de produits agricoles (les herbes) (**Ozkan et al., 2007**).

2.4.3. Séchage par lyophilisation

La lyophilisation signifie extraction de l'eau d'un produit congelé. Le séchage est réalisé en évitant de passer par l'état liquide, par sublimation, c'est-à-dire par passage direct de l'état de glace à l'état de vapeur d'eau. Ceci est réalisé sous vide avec une température du produit normalement inférieure à -10°C.

Le but de la lyophilisation est d'obtenir un produit facilement soluble dans l'eau et qui, après adition d'eau, présente les mêmes caractéristiques que le produit d'origine.

Le fait que le séchage soit effectué à l'état congelé sous des températures très basses rend possible le séchage, par exemple, de l'albumine sans la dénaturer. De même, la plupart des autres composants chimiques ne subiront aucune modification qualitative ou quantitative (**Manuel d'instruction, 2006**).

2.4.4. Séchage Solaire

Le séchage est l'opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide par évaporation de cette eau. Le corps humide mis en jeu peut être solide ou liquide, mais le produit final est solide. Dans le cas des boues de STEP le séchage solaire est un traitement qui vise à augmenter la siccité des boues grâce à l'énergie émise par les rayonnements solaires.

Le séchage constitue toujours l'une des principales méthodes de conservation des produits agricoles au Cameroun. Règle générale, les produits sont étalés directement sur le sol, sur une natte ou sur une dalle de ciment afin de les exposer au soleil.

On connaît bien les inconvénients liés à cette méthode traditionnelle. Le temps d'exposition est long et le séchage doit parfois être interrompu à cause de conditions climatiques défavorables. Une supervision constante du séchoir s'impose puisqu'il faut ramasser et déplacer les produits en cas de pluie, et chasser les prédateurs. En outre, la poussière, la saleté et les infestations par des insectes réduisent la qualité des produits (**Michael et Schmidt, 1986**).

2.5. Inconvénients liés au séchage

2.5.1. Facteurs de modification de la qualité

La plupart des produits biologiques sont profondément modifiés par le séchage (couleur, goût, texture, caractéristiques nutritionnelles, propriétés fonctionnelles, etc.). Les conditions de séchage et leurs variations peuvent altérer définitivement la qualité du produit, ou lui conférer des nouvelles propriétés (formulation, texturation). Il est important que l'utilisateur puisse définir les propriétés attendues du produit final, afin de pouvoir lier les probables altérations ou modifications aux paramètres du séchage (**Tein et al., 1998**).

La déshydratation poussée, conduisant à l'élimination d'une part importante de l'eau cellulaire (typiquement supérieure à 95 %). L'eau étant un élément structurant des macromolécules du vivant, le retrait de l'eau cellulaire engendre des modifications structurales, notamment au niveau des membranes (**Dupont *et al.*, 2013**). La qualité du produit peut aussi être affectée par le séchage (perte d'arôme, perte de vitamines, insolubilité des protéines et/ou réaction de brunissement) (**Mafar, 1996; Bonazzi et Bimbenet, 2008**).

Les modifications technologiques que peut subir l'aliment durant sa transformation sont nombreuses (dénaturation thermique, cisaillement, hydrolyse, gélification...). Toutes ces modifications se superposent avec l'affinité des ingrédients présents dans l'aliment vis-à-vis de l'eau (**Faiveley, 2012**).

Donc, le séchage provoque diverses altérations physiques et mécaniques du produit, se traduisant par des modifications de la taille et de la forme des produits. L'ensemble des phénomènes de transformation de la qualité des produits sont résumés dans le tableau 03.

Tableau 03 : Principaux phénomènes de transformation de la qualité des produits en fonction de l'état ou de la dynamique de l'eau dans le produit (**Bonazzi et Bimbenet, 2008**).

Phénomènes liés au niveau d'activité de l'eau dans le produit	Phénomènes liés à l'intensité des transferts d'eau
<ul style="list-style-type: none"> • Réactions chimiques, biochimiques et enzymatiques : <ul style="list-style-type: none"> – brunissement ; – hydrolyse. • Développement microbien et activité biologique : <ul style="list-style-type: none"> – bactéries pathogènes et d'altération ; – fermentation ; – moisissures. 	<ul style="list-style-type: none"> • Migration d'autres substances : <ul style="list-style-type: none"> – pertes d'arômes ; – migration de solutés. • Déformations : <ul style="list-style-type: none"> – gonflement/contraction ; – création de porosité ; • Développement de contraintes mécaniques : <ul style="list-style-type: none"> – fissures ; – brisures

+2.5.2. Dégradation thermique

Une température importante peut altérer le produit séché. En effet, une température élevée peut détruire certaines vitamines, dénaturer les protéines, favoriser ou inhiber des réactions enzymatiques, affecter les acides gras. Citons classiquement les réactions de Maillard qui sont des réactions de brunissement non enzymatique entre les sucres réducteurs et acides aminés (**Bonazzi et Bimbenet, 2008**).

2.5.3. La consommation de l'énergie

La consommation énergétique massique ou CEM d'un séchoir, correspond à la quantité de chaleur (exprimé en KJ/kg) à fournir au produit pour sécher 1 kg d'eau. Cette grandeur permet de comparer les séchoirs sur une base indépendante du tonnage d'eau évaporée tableau 04 (**Vasseur, 2011**).

Tableau 04: Les différentes CEM (Consommation Energétique Massique) en fonction des modes de séchage (**Vasseur, 2011**).

Type d'installation	CEM (KJ/kg d'eau)
Séchoirs par entrainement (sans récupération)	3300 à 6500
Séchoirs par ébullition (ou entrainement avec récupération)	2400 à 3300
Vapeur d'eau surchauffée + compression mécanique de vapeur	160 à 200
Evaporateurs à multiple effets	

Partie pratique

1. Objectif de l'étude

Etude comparative des cinétiques de séchage de la boue résiduaire par différents procédés en vue de l'optimisation de celui-ci et d'assurer une bonne gestion et valorisation de ce produit.

2. Matériel

2.1. Appareillage et équipement

- Balance de précision 310 g OHAUS ADVENTURER.
- Bec Bensun.
- Broyeur BagMixer 400W.
- Compteur de colonies FUNKE GERBE2 Colonystor.
- Dessiccateur RADWAG MAC 50/NP.
- Dilutor smart dillutorW-IUL.
- Étuves MEMMERT-IN110.
- Lyophilisateur CHRIST ALPHA 1-2 LDplus.
- Micro-onde STARLIGHT-P70B17L-S2.
- Vortex HEIDOLPH Multi Rex.
- pH mètre WTW -Inolab PH7310.

2.2. Verrerie et matériel en plastique

- Cristalliseur.
- Boîtes de Petri, en verre ou en plastique, de 90 mm à 100 mm de diamètre.
- Flacon Duran.
- Pipettes, de 1 et 10 ml de capacité nominale.
- Pipettes pasteur.
- Tubes à essais ou fioles, de capacité appropriée et ne dépassant pas 500 ml.
- Spatules.
- Portoirs de tubes à essai.
- Anse bouclée en platine.

2.3. Milieux de cultures et réactifs

- Gélose PCA.
- Bouillon BLBVB.
- Bouillon Tryptone sans indole.

- Gélose TSC.
- Eau peptonée tamponnée.
- Eau physiologique.
- RVS.
- MKTTn +iode ioduré.
- Gélose XLD.
- Milieu TSI.
- Réactif de Kovacs.

Voir la composition et la préparation des milieux de culture en annexe.

3. Méthodes :

3.1. Echantillonnage :

L'échantillon de boue que nous avons utilisé dans cette étude provient de la station d'épuration de l'ONA.

Les prélèvements sont effectués dans des sachets stériles, au cours du mois d'avril de l'année 2017. L'échantillon est conservé à une température de - 4°C jusqu'à son utilisation, au laboratoire du control de qualité et de la répression de fraude de la wilaya de Bouira sis à Sour EL- Ghozlane.

3.2. Caractérisation de la boue

3.2.1. Teneur en matières sèches ou siccité (MS)

Cette mesure s'effectue par la mise en place de 50 g de l'échantillon de boue dans une étuve à 105°C durant 24 h. Connaissant la masse initiale et la masse finale après perte d'eau, la teneur en matières sèches est calculée (**Léonard, 2002**).

- Calcule de la teneur en matière sèche

$$EST = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} * 100$$

EST : Extrait sec total.

P₀ : Poids du cristalliseur vide.

P₁ : Poids du cristalliseur + poids frais de la boue.

P₂ : Poids de la boue séchée + cristalliseur.

3.3. Séchage de la boue

On peut définir le séchage comme étant l'opération unitaire qui consiste à éliminer tout ou partie d'un solvant (en général de l'eau) contenu dans un produit humide, le plus souvent solide ou pâteux. C'est un procédé coûteux en énergie car il nécessite de fournir au minimum, par kilogramme d'eau extraite, l'équivalent de la chaleur latente de vaporisation, soit environ 2500 kJ/kg (RECORD, 2001).

3.3.1. Séchage par micro-ondes et étuve

Au laboratoire, l'échantillon de boue est homogénéisé, des quantités de 40 g sont pesées et étalées dans des boîtes de pétri en verre, les couches de boue ne dépassants pas 0,5 à 1 mm d'épaisseur figure (5.A). L'échantillon de boue a subi deux types de séchage micro-onde et étuve (à des différentes puissances et températures).

Pour ces dernières la masse est suivie périodiquement, jusqu'à avoir une valeur constante, pour toutes les puissances (70, 150, 300, 600, 900 et 1200 W) testées au micro-onde figure (5.B) et pour toutes les températures (40, 60, 80, 100,120 et 150°C) testées à l'étuve figure (5.C).

Les essais de séchage (micro-onde et étuve) ont été réalisés en triple pour chaque température et chaque puissance.



Figure 5 : l'échantillon de boue avant séchage (A), séchage par étuve (B) et séchage par micro-onde(C).

3.3.2. Séchage par lyophilisateur

L'échantillon de boue est réparti en triple à raison de 40 g dans des boîtes de pétri en verre et étalée en des couches fines de 0,5 à 1 mm est séché par un lyophilisateur pendant 5 heure figure 6.

Les principales étapes sont les suivantes :

- Préchauffage de la pompe pendant 20 min.
- Congélation pendant 10 min.
- Dessiccation primaire pendant 1 h.
- Dessiccation secondaire pendant 3 h.

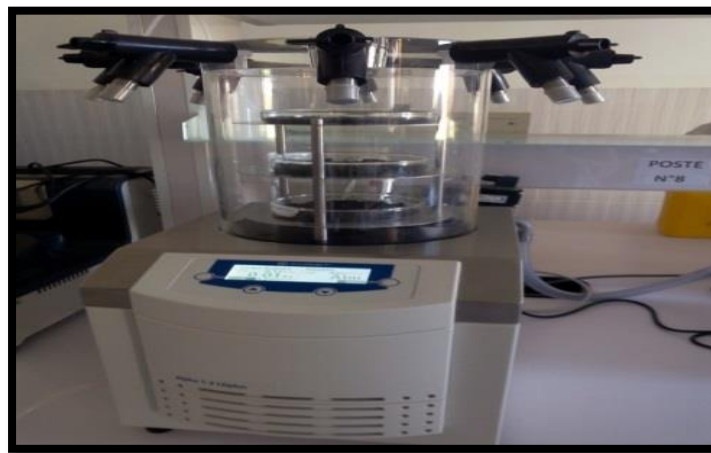


Figure 6 : Le séchage par lyophilisateur.

3.3.3. Séchage à l'air libre

Les expériences de séchage ont été effectuées pendant le 12 et le 13 du mois de Mars 2017 dans les conditions climatiques de Sour El Ghozlane, L'échantillon de boue est réparti en triple à raison de 40 g dans des boîtes de pétri en verre et étalée en des couches fines de 0,5 à 1 mm est séché à l'air libre, la masse est suivie périodiquement, jusqu'à avoir une valeur constante.

3.4. Analyse microbiologique de l'échantillon de boue

Dans cette partie, nous avons soumis l'échantillon de boue à l'état frais et les échantillons ayant subi le séchage à l'analyse microbiologique en vue de montrer l'impact du séchage sur la charge bactérienne. Pour cela nous avons effectué le dénombrement de quelques germes indicateurs de contamination et des germes pathogènes.

3.4.1. Préparation de l'échantillon pour essai (suspension mère)

La préparation de l'échantillon est aussi une étape importante à réaliser avant d'entamer l'analyse et comme notre produit est de nature solide, donc on doit d'abord préparer la suspension mère qui est la base de l'analyse (ISO 8261, 2007).

La préparation se fait dans des conditions aseptiques (devant le bec bunsen) comme suit :

- La pesée : peser 10g de chaque échantillon, ajouter 90ml de l'eau physiologique pour chacun de ces échantillons, la pesée se fait dans des sachets à filtre stérile sur une balance automatique appelé Dillutor figure (7.A).
- Le broyage : le contenu sera broyé au moyen d'un broyeur pendant environ 1 à 2 min figure (7.B).
- La filtration : le filtrat sera récupéré dans des flacons Duran ce dernier qui est à l'origine de la suspension mère figure (7.C).
- Jusqu'au moment de l'analyse, conserver l'échantillon à 6°C.

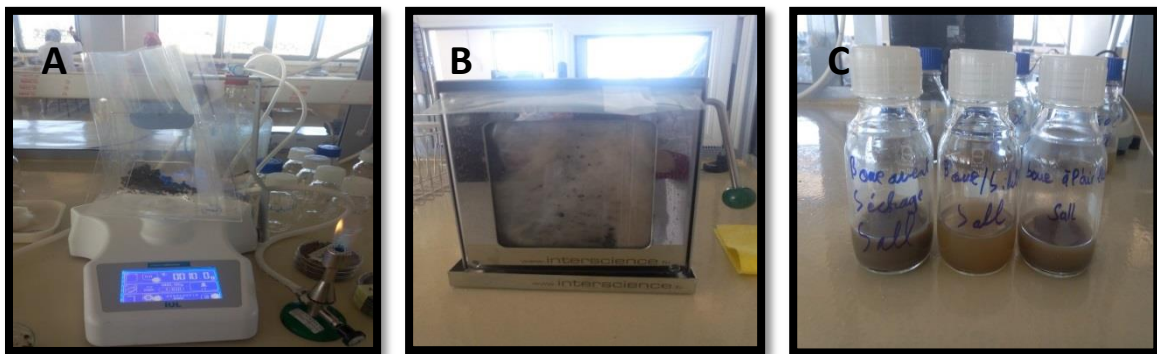


Figure 7: Les étapes de la préparation de l'échantillon pour essai (suspension mère).

3.4.2. Préparation des Dilutions décimales

La préparation des dilutions décimales est effectuée avec un diluant (l'eau physiologique).

- Distribuer aseptiquement le diluant à raison de 9 ml dans des tubes à essais stériles.
- Une dilution au 1/10 est obtenue en transférant aseptiquement 1 ml de la suspension mère à l'aide d'une pipette stérile dans 9 ml de diluant.
- Procéder de manière identique afin d'obtenir une dilution 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} et 10^{-5} figure 8.
- Mélanger soigneusement chacune des dilutions pendant 5 à 10 secondes au moyen d'un agitateur mécanique (ISO 8261, 2007).



Figure 8 : Préparation des Dilutions décimales.

3.4.3. Recherche des germes totaux

Bactéries, levures ou moisissures formant des colonies dénombrables, se développent dans les conditions spécifiées dans la présente Norme internationale (ISO 4833, 2003).

➤ **Ensemencement et incubation**

Prendre deux boîtes de Petri stériles. À l'aide d'une pipette stérile, transférer, dans chacune des boîtes, 1 ml de la suspension mère (dilution à 10^{-1}). Prendre deux autres boîtes de Petri stériles. À l'aide d'une nouvelle pipette stérile transférer, dans chacune des boîtes, 1 ml de la première dilution décimale (10^{-2}) de la suspension mère (dans le cas d'autres produits).

Recommencer, ces opérations avec les dilutions suivantes, à l'aide d'une nouvelle pipette stérile, pour chaque dilution décimale jusqu'à la dilution 10^{-5} . Couler, dans chaque boîte de Petri, environ 12 ml à 15 ml de la gélose pour dénombrement, entre 44 °C et 47 °C.

Mélanger soigneusement l'inoculum au milieu de culture en faisant tourner les boîtes de Petri et laisser le mélange se solidifier en posant les boîtes de Petri sur une surface fraîche et horizontale figure 9.

Retourner les boîtes ainsi préparées et les placer à l'étuve à $30\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ pendant $72\text{ h} \pm 3\text{ h}$ (ne pas empiler plus de 6 boîtes. Les piles de boîtes doivent être séparées les unes des autres, ainsi que des parois et du haut de l'étuve).

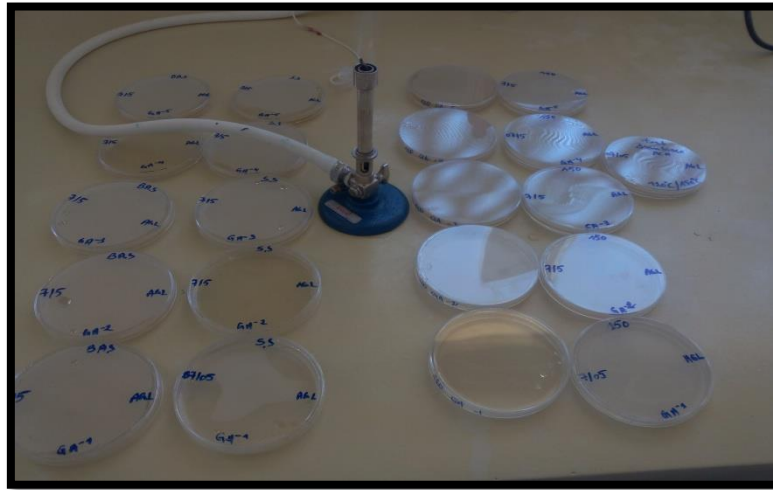


Figure 9 : Ensemencement des germes totaux.

➤ Comptage des colonies

Après la période d'incubation spécifiée, procéder, à l'aide de l'appareil de comptage, au comptage des colonies si nécessaire et examiner chaque boîte en lumière tamisée. Il est important d'inclure dans le comptage les colonies en tête d'épingle.

3.4.4. Recherche d'une contamination d'origine fécale

Coliformes : Selon la norme ISO 4831 de juillet 1991, le terme coliforme correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, à coloration de Gram négative, oxydase négative, aérobies ou facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaires, et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 48 heures, à des températures de $35\text{ à }37\text{ °C}$.

Coliformes fécaux ou thermotolérants : Les coliformes fécaux, donc d'origine intestinale, sont des coliformes qui fermentent le lactose avec production de gaz à 44 °C (ISO 9308-2, 1990).

***Escherichia coli* présumés :** « *E. coli* présumé » correspond à des coliformes thermotolérants qui, à 44°C, fermentent le lactose avec production du gaz et qui, à 44°C, produisent de l'indole à partir du tryptophane (**ISO 9308-2, 1990**).

➤ **Dénombrement en milieu liquide**

La numération des coliformes est réalisée par ensemencement de 1 ml de l'échantillon de boue (suspension mère) et de ses dilutions décimales dans un bouillon lactosé bilé au vert brillant (BLBVB). Les essais sont effectués en triple et les résultats analysés par la méthode de MacGrady, tableau 5. Après ensemencement, les milieux sont incubés à 30°C pendant 24 h puis 48 h, sont considérés comme positifs les tubes dans lesquels il y a croissance et une production notable de gaz (1/10 au moins du volume de la cloche).

La numération des coliformes fécaux (ou *E. coli* présomptifs) est effectuée avec le même milieu mais après 48 heures d'incubation à 44,5°C.

❖ **Test de Mac KENZIE**

Une ôse d'un tube positif est inoculée dans un tube de BLBVB avec cloche, et une autre dans un tube d'eau peptonée ; si après incubation à 44°C pendant 48h il y a production de gaz (BLBVB) et d'indole (mis en évidence par addition de réactif de Kovacs dans le tube d'eau peptonée) on peut soupçonner la présence d'*E. coli*.

Ces recherches peuvent être confirmées par l'isolement et l'identification des bactéries productrices de gaz (isolement sur EMB par exemple) (**Bonnefoy, C et al., 2002**).

➤ **Expression des résultats**

À partir de l'indice NPP lu dans le tableau 10 en annexe (en fonction de la combinaison des trois (ou cinq) dilutions consécutives retenues), déterminer le nombre le plus probable de micro-organismes dans le volume de référence.

Exprimer les résultats comme le nombre le plus probable de micro-organismes (ou groupe spécifique de micro-organismes) par gramme ou millilitre (**ISO 7218, 2008**).

4.4.5. Recherche des bactéries sulfito-réductrices à 46 °C

Les *Clostridium* sulfito-réducteurs sont des bacilles Gram positif anaérobies stricts capables de sporuler, réduisant les sulfites en sulfure. Hôtes normaux de l'intestin, ils peuvent également être d'origine tellurique.

Leurs spores sont recherchées dans l'eau comme indice de contamination fécale ancienne (**NF V 08-061, 2009**).

➤ **Inoculation et incubation**

A l'aide d'une pipette stérile, déposer 1 ml de la suspension-mère dans un tube à essai stérile ajouter 15ml du milieu (TSC), mélanger doucement l'inoculum au milieu de culture, sans faire de bulle pour ne pas provoquer une oxygénation du milieu, par un mouvement de rotation ample du poignet.

Recommencer ces opérations, à l'aide des nouvelles pipettes stériles, pour chaque dilution (10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , et 10^{-5}) et laisser le mélange se solidifier puis ajouter une deuxième couche du même milieu enfin incubé à 46 °C en anaérobiose pendant (20±2) h.

Remarque : Il est nécessaire de faire un test d'ambiance et du milieu pour chaque analyse effectuée.

4.4.6. Détection et isolement de germe pathogène (Salmonelle)

Les bactéries du genre *Salmonella* appartiennent à la famille des Enterobacteriaceae. Ce sont des bacilles à GRAM négatif, sporulées, habituellement mobiles par ciliature péritriche. Se sont des micro-organismes formant des colonies typiques ou moins typiques sur des milieux sélectifs solides et possédant les caractéristiques biochimiques et sérologiques décrites lorsque l'essai est exécuté selon la présente Norme internationale (NA ISO 6579, 2008).

Principe

La recherche de *Salmonella* nécessite quatre phases successives. Les *Salmonella* peuvent, en effet, être présentes en petit nombre et sont souvent accompagnées d'un nombre beaucoup plus grand d'autres micro-organismes appartenant à la famille des Enterobacteriaceae ou à d'autres familles. En conséquence, un enrichissement sélectif est nécessaire; de plus, un préenrichissement est aussi souvent nécessaire afin de pouvoir rechercher les *Salmonella* en nombre restreint ou les *Salmonella* ayant subi une altération (iso 6579).

➤ **Préenrichissement en milieu non sélectif liquide**

Pesée 25g de l'échantillon et l'ensemencé dans 225 ml du milieu de préenrichissement liquide (l'eau péptonnée tamponnée). Réaliser un broyage suivit d'une filtration, récupéré après le filtrat dans un flacon Duran puis incubation à 37 °C ± 1 °C pendant 18 h ± 2.

➤ **Enrichissement sélectif en milieu liquide**

Transférer 0,1 ml de la culture obtenue précédemment (préenrichissement) dans un tube contenant 10 ml de bouillon RVS.

Transférer 1 ml de la culture obtenue précédemment (préenrichissement) dans un tube contenant 10 ml de bouillon MKTTn après avoir ajouté 2 gouttes d'iode iodurée.

Incuber le bouillon RVS ensemencé à $41,5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ pendant $24\text{ h} \pm 3\text{ h}$ et le bouillon MKTTn $37\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ pendant $24\text{ h} \pm 3\text{ h}$.

➤ **Isolement et identification**

A partir de la culture obtenue dans le bouillon RVS après $24\text{ h} \pm 3\text{ h}$ d'incubation, ensemencer avec une anse la surface d'une boîte de Pétri contenant le premier milieu d'isolement sélectif (gélose XLD), de façon à permettre le développement de colonies bien isolées. Opérer de même avec le deuxième milieu d'isolement sélectif (gélose BISMUTH) en se servant d'une nouvelle anse et de boîtes de Pétri.

A partir de la culture obtenue dans le bouillon MKTTn après $24\text{ h} \pm 3\text{ h}$ d'incubation, répéter les opérations décrites précédemment avec les deux milieux d'isolement sélectifs, retourner les boîtes, les placer dans une étuve réglée à 37 °C .

Après $24\text{ h} \pm 3\text{ h}$ d'incubation, examiner les boîtes afin de rechercher la présence de colonies Typiques de Salmonella, ainsi que les colonies atypiques susceptibles d'être des Salmonella. Les colonies typiques de Salmonella cultivées sur gélose XLD ont un centre noir et sont entourées d'un halo clair transparent rouge dû à un changement de l'indicateur du milieu et les colonies typiques de Salmonella cultivées sur gélose bismuth sont noires, bombées avec reflets métalliques.

➤ **Choix des colonies pour la confirmation**

Pour la confirmation, prélever, à partir de chaque boîte de chacun des milieux sélectifs au moins une colonie considérée comme caractéristique ou suspecte, puis quatre autres colonies si la première s'est révélée négative.

Ensemencer les colonies sélectionnées sur la surface de boîtes de gélose nutritive, préalablement séchées, de façon à permettre le développement de colonies bien isolées.

Incuber les boîtes ainsi ensemencées à $37\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ durant $24\text{ h} \pm 3\text{ h}$.

➤ **Confirmation biochimique**

A l'aide d'un fil à ensemencer, ensemencer le milieu la pente du milieu gélose TSI en stries et le culot par piqûre avec chacune des cultures obtenues à partir des colonies retenues en premier milieu sélectif XLD et le deuxième milieu sélectif (gélose BISMUTH). Incuber à $37\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ durant $24\text{ h} \pm 3\text{ h}$.

Interpréter les phénomènes se produisant, comme indiqué dans le tableau suivant:

Tableau 6 : Lecture et interprétation des phénomènes se produisant après culture sur gélose TSI.

Culot	
Jaune	Glucose positive (utilisation du glucose)
Rouge ou inchangé	Glucose négative (pas d'utilisation du glucose)
Noir	Formation de sulfure d'hydrogène
Bulles ou fissures	Formation de gaz à partir du glucose
Pente de la gélose	
Jaune	Lactose et/ou saccharose positif (utilisation du lactose et/ou du saccharose)
Rouge ou inchangé	Lactose et saccharose négative (pas d'utilisation ni du lactose ni du saccharose)

NB

Les cultures caractéristiques de *Salmonella* correspondent à une pente alcaline (rouge) et un culot acide (jaune) avec formation de gaz (bulle), et (dans environ 90 % des cas) formation de sulfure d'hydrogène (noircissement de la gélose).

En conséquence, une confirmation préliminaire de cultures de *Salmonella* ne doit pas être fondée uniquement sur les résultats obtenus à partir de la gélose TSI (ISO 65 79, 2003).

Le nombre de micro-organismes par gramme est exprimé par la formule suivante :

$$N = \frac{\sum C}{V(n_1 + 0,1n_2)d}$$

Avec :

N : nombre d'UFC/g de l'échantillon initial (unité formant une colonie).

C : Somme totale des colonies comptées.

n_1 : Nombre de boîtes comptées dans la première dilution.

n_2 : Nombre de boîtes comptées dans la seconde dilution.

d : Facteur de dilution à partir duquel les premiers comptages ont été obtenus.

Pour exprimer le nombre de microorganismes, arrondir le nombre à deux chiffres significatifs.

Résultats et discussion

1. Teneur en matières sèches (MS) et en humidité de la boue

La teneur en matières sèches et en eau de la boue était de 42,42% et 57,58% respectivement.

2. Cinétique de séchage de la boue

Le séchage conventionnel (étuve), innovant (micro-onde), séchage par lyophilisation et séchage à l'air libre sont les méthodes adoptées dans cette étude, dans le but de comparer les performances de ces procédures.

2.1. Cinétique de séchage par micro-onde (innovant) de la boue

La figure 10, représente la perte de masse en fonction du couple temps-puissance du séchage micro-onde de la boue.

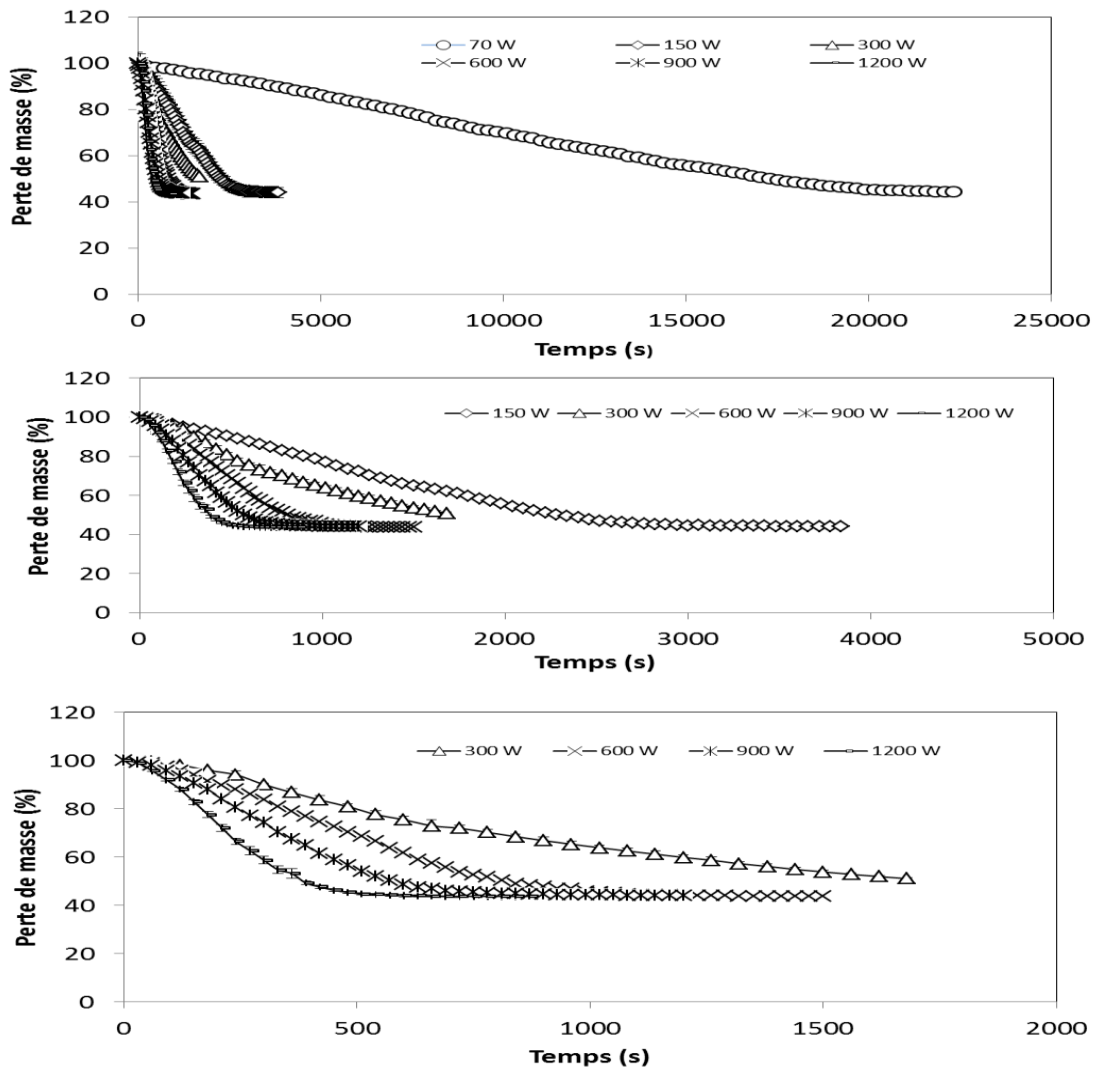


Figure 10 : L'évolution de la perte de masse en fonction du couple temps-puissance de séchage par micro-onde.

Les cinétiques de séchage (figure 10) montrent que la perte de masse de l'échantillon de boue est en fonction du couple temps-puissance du traitement micro-onde. Les temps de séchage les plus longs sont attribués à la puissance 70 W, qui est de 6 h et 2 min. Par contre, le laps de temps le plus court est obtenu lors de séchage à 900 W et à 1200 W (la stabilité de la masse est atteinte à 20 et 14 min 5 seconde, respectivement).

Les résultats obtenus montrent que la durée de séchage est inversement proportionnelle aux puissances de séchage, donc plus le niveau de puissance est élevé, plus le temps de séchage est réduit. L'efficacité de séchage par microondes peut être expliquée par une haute pression interne, donnant un gradient de concentration qui augmentent l'évaporation du liquide à travers le produit jusqu'à stabilité (Chemat *et al.*, 2008).

L'application des micro-ondes permet de réduire au maximum le temps du processus de séchage et ainsi réduire le coût énergétique du procédé. Une teneur en eau réduite finale proche de 2,82 est trouvée au bout de 13 min en appliquant une puissance d'irradiation égale à 1200 W.

2.2. Cinétique de séchage à l'étuve (conventionnel) de la boue résiduaire

La perte de masse en fonction du couple temps-température du séchage à l'étuve de la boue est représentée dans la figure 11.

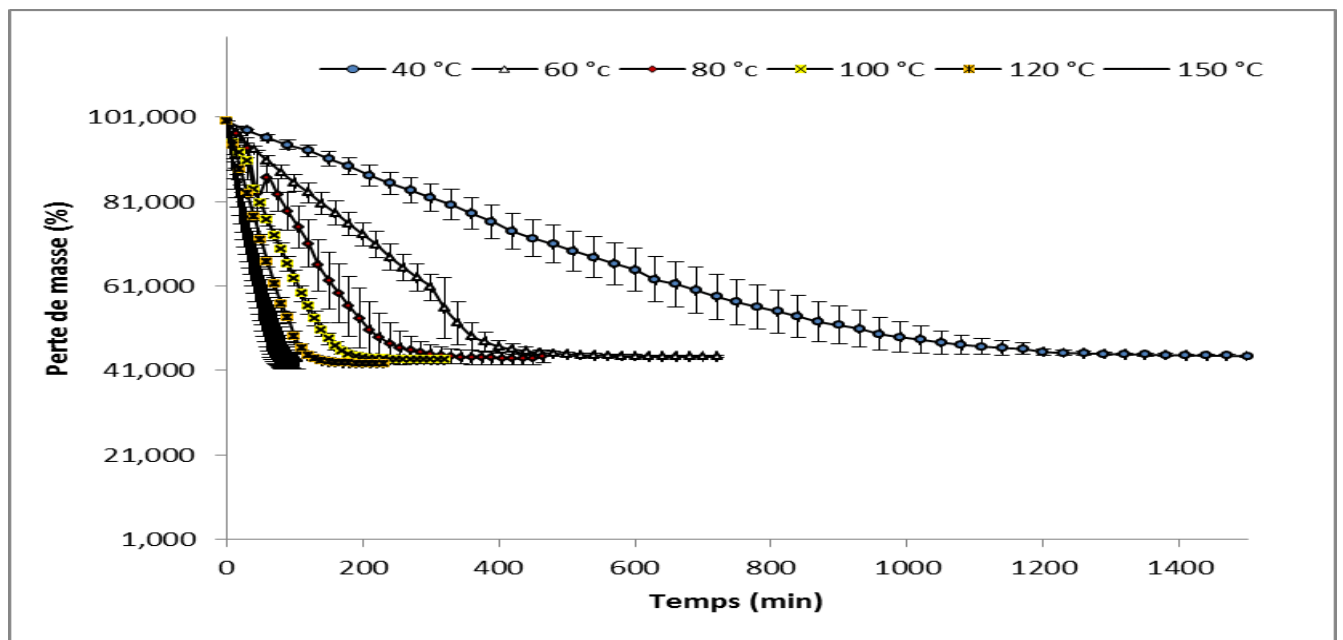


Figure 11 : L'évolution de la perte de masse en fonction du couple temps-température du séchage à l'étuve.

D'après la figure 11, on constate que la perte de masse de la boue est proportionnelle au couple temps-température du séchage à l'étuve. En effet, à haute température (120 et 150°C), la perte en eau est beaucoup plus rapide 3 h 8 min et 1h 7 min, respectivement. Alors qu'à 40 °C, la masse est devenue stable après 1 journée et 65 min, donc la vitesse de la perte en eau est très lente.

Les résultats obtenus montrent que le temps de séchage est inversement proportionnel à la température appliquée. Selon Jean-Jacques *et al.*, (2003) ; Jean (2011), la stabilité du poids peut être expliquée par le fait que la température de la surface atteint celle de l'air de séchage car la force de migration de l'eau de l'intérieur vers la surface est insuffisante. D'autre part, il est également possible qu'il n'y plus d'eau libre dans le produits.

2.3. Séchage par lyophilisateur

La lyophilisation est une méthode de conservation des aliments, utilisés principalement dans l'industrie alimentaire et l'industrie pharmaceutique.

Dans notre étude on a utilisé cette méthode de séchage dans le but d'obtenir des résultats optimaux, la durée et des différentes étapes du séchage sont cités dans le (tableau 7).

Tableau 7 : Les durées des différentes étapes du séchage par lyophilisation.

Différentes étapes de séchage	Durée (min)
Préchauffage de la pompe	20 min
Congélation	10 min
Dessiccation primaire	60 min
Dessiccation secondaire	180 min

D'après les résultats obtenus, le séchage de la boue a été atteint au bout de 5 h. on comparant cette technique de séchage (lyophilisation) au deux techniques précédentes (micro-onde et étuve), on constate qu'en termes de temps cette dernière est plus lente.

Par ailleurs, le séchage par lyophilisation reste la technique qui respecte le plus la forme, la texture, la couleur (figure 12), l'arôme et la capacité de réhydratation des aliments dans l'industrie alimentaire.

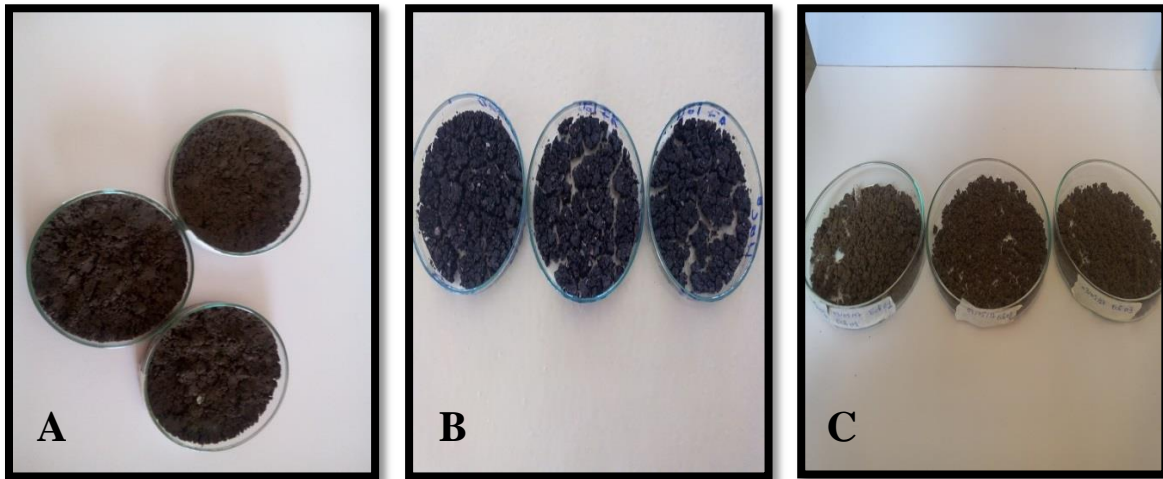


Figure 12 : La différence de la couleur et texture de la boue avant et après séchage, (A) boue avant séchage, (B) boue après séchage par micro-onde et étuve, et (C) boue après séchage par lyophilisateur.

2.4. Séchage à l'air libre

La perte de masse en fonction du temps, du séchage à l'air libre de la boue est représentée dans la figure 13.

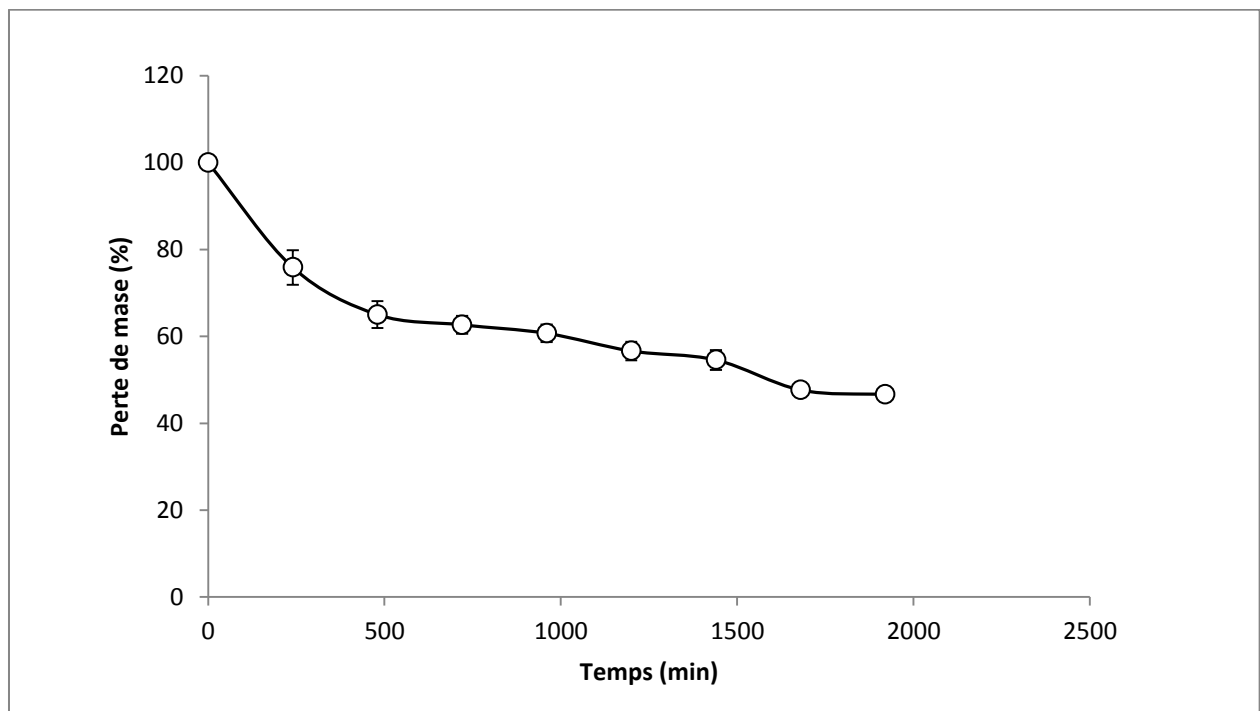


Figure 13 : L'évolution de la perte de masse en fonction du temps, du séchage à l'air libre.

D'après la figure 13, on constate une perte de masse de la boue au cours du temps du séchage à l'air libre (température ambiante), la masse est devenue stable après 1 journée et 8 h, donc la vitesse de la perte en eau est très lente.

Les résultats obtenus montrent que les temps de séchage les plus longs sont attribués à l'air libre où la stabilité de la masse est atteinte au bout d'une journée et 8 h puis lors du séchage à 40 °C dont la stabilité de la masse est atteinte à 1 journée et 65 min. Par contre, le laps de temps le plus court est obtenu lors de séchage à 70 W (la stabilité de la masse est atteinte à 6 h et 12 min) figure 14.

La méthode du séchage à l'air libre peut être peu couteuse, consomme moins d'énergie. Néanmoins, il présente un certain nombre de contraintes, qu'il est important de garder à l'esprit :

- ❖ Le temps d'exposition est long et le séchage doit parfois être interrompu à cause de conditions climatiques défavorables.
- ❖ Superficie nécessaire importante.
- ❖ Nuisance olfactive sur site non maîtrisable.
- ❖ La qualité du produit final (aspect et/ou consistance) reste encore difficilement maîtrisable, ce point étant primordial pour la manutention ultérieure de la boue.

Le séchage innovant assisté par micro-onde reste le meilleur en termes du temps de séchage par rapport à d'autres types de séchage dont la stabilité de la masse est atteinte à seulement 6 h et 12 min à une puissance de 70W figure 14.

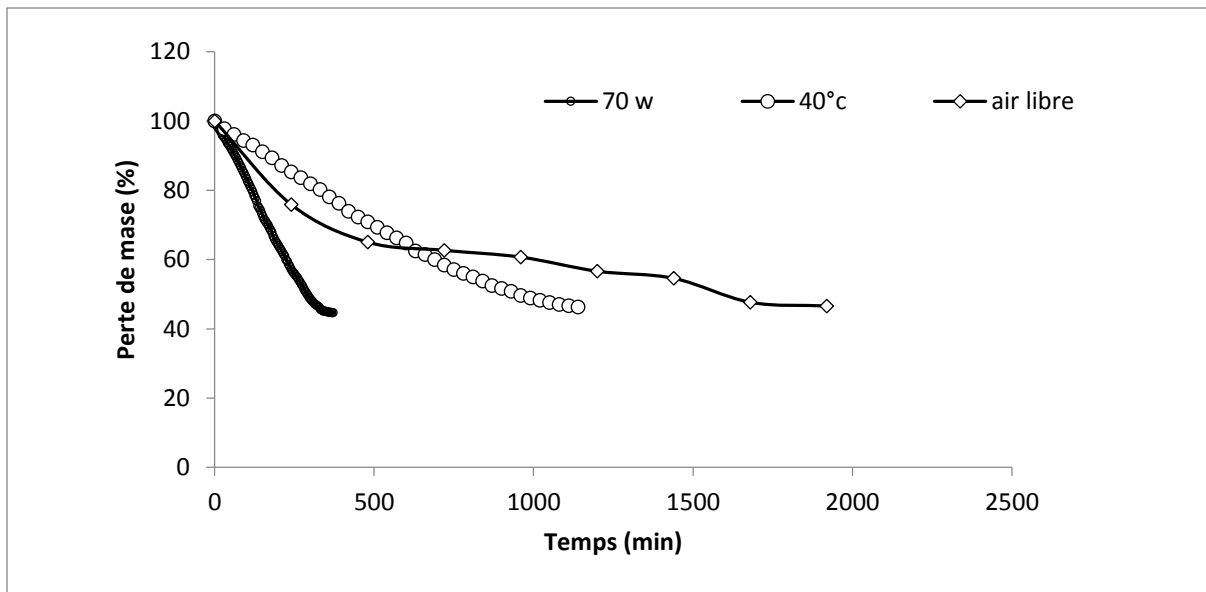


Figure 14: Comparaison de l'évolution de la perte de masse en fonction du temps, du séchage à l'air libre, à l'étuve et au micro-onde.

3. Analyse microbiologique de l'échantillon de boue

Les paramètres microbiologiques ont été déterminés au laboratoire de contrôle de qualité de la répression des fraudes. Ces analyses ont été effectuées en vue de dénombrer et/ ou rechercher :

- ✓ La flore aérobie mésophile totale.
- ✓ Recherche des coliformes totaux, coliformes fécaux, et *Escherichia coli* présumés.
- ✓ Recherche des bactéries sulfite-réductrices à 46 °C.
- ✓ Détection et isolement de germe pathogène (*Salmonelle*).

Ces paramètres microbiologiques nous renseignent sur l'impact du séchage sur le taux d'élimination de la charge bactérienne, notamment la qualité hygiénique de la boue.

Les résultats de la recherche sont montrés dans le tableau qui suit :

Tableau 8: Résultat de l'analyse microbiologique.

Germes Echantillons	Coliformes totaux (UFT/g)	Coliformes fécaux (UFT/g)	<i>E.coli</i> UFT/g)	Clostridium (UFC/g)	Germes aérobies (UFC/g)	Salmonelles (UFC/g)	
BAS	43	23	23	$2,8 \times 10^6$	Ind (>300)	Absence	
SS	23	23	23	$4,5 \times 10^5$	$1,1 \times 10^7$	Absence	
SL	240	43	23	$4,9 \times 10^6$	Ind (>300)	Absence	
Séchage étuve (°C)	40	43	23	$4,2 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	Absence	
	60	15	9,2	$9,2$	$5,2 \times 10^5$	$1,0 \times 10^6$	Absence
	80	9,2	3,6	3,6	$9,8 \times 10^4$	$3,5 \times 10^5$	Absence
	100	Absence	Absence	Absence	$7,8 \times 10^4$	$3,2 \times 10^5$	Absence
	120	Absence	Absence	Absence	$2,9 \times 10^2$	$1,3 \times 10^4$	Absence
	150	Absence	Absence	Absence	$2,3 \times 10^2$	$1,3 \times 10^3$	Absence
Séchage micro-onde (Watts)	70	15	15	9,2	$8,2 \times 10^5$	$2,2 \times 10^6$	Absence
	150	03	Absence	Absence	$7,1 \times 10^5$	$9,0 \times 10^5$	Absence
	300	Absence	Absence	Absence	$3,7 \times 10^4$	$2,1 \times 10^5$	Absence
	600	Absence	Absence	Absence	$9,4 \times 10^3$	$3,6 \times 10^4$	Absence
	900	Absence	Absence	Absence	$4,4 \times 10^3$	$8,8 \times 10^3$	Absence
	1200	Absence	Absence	Absence	$3,4 \times 10^2$	$6,6 \times 10^3$	Absence

BAS : Boue avant séchage / **SL** : Séchage par lyophilisation / **SS** : Séchage solaire.

D'après le tableau 8, l'analyse des résultats montre que la charge bactérienne des germes aérobies mésophiles totaux, coliformes totaux, coliformes fécaux, *E.coli* et bactéries surfito-réductrices des échantillons de la boue fraîche et de la boue séchée par lyophilisation, est plus élevée que celle des échantillons séché par micro-onde, étuve et air libre.

Nous avons constaté une absence totale des germes pathogènes (salmonelles) dans l'échantillon de boue fraîche et des échantillons ayant subi les différents types de séchage figure 22 en annexe.

On a noté une réduction considérable des germes aérobies mésophiles totaux, et des bactéries surfito-réductrices et une élimination des coliformes totaux, coliformes fécaux, et *E.coli* pour les échantillons séchés par micro-onde et étuve par rapport à l'échantillon de boue avant séchage (BAS), l'échantillon séché à l'air libre (SS) et par lyophilisateur (SL) figures (15 jusqu'à 21), ce qui explique la réduction de ces germes par l'augmentation du couple temps puissance et temps température de séchage par ces deux procédés innovant et conventionnel.

En revanche la charge bactérienne de l'échantillon séché à l'air libre et par lyophilisation est restée, presque similaire à l'échantillon de boue à l'état frais, car ces derniers n'ont pas d'effet sur la qualité microbiologique.

L'élimination totale des germes indicateurs de la contamination fécale coliformes totaux, coliformes fécaux et *E.coli* est atteinte à une température de 100°C, et à une puissance de 300 W pour l'étuve et le micro-onde respectivement figures (20 et 21).

Les résultats obtenus montrent l'efficacité du séchage par étuve et micro-onde sur l'amélioration de la qualité microbiologique de la boue, à la lumière de cette étude on peut dire que le séchage innovant par micro-onde est meilleur et plus performant.

Conclusion

A la lumière de cette investigation, les résultats des cinétiques de séchage innovant assisté par micro-onde montrent que la perte de masse de la boue est plus rapide par rapport à la méthode conventionnelle et les autres méthodes étudiées. A la puissance de 70 W, il a fallu seulement 6 h et 2 min pour stabiliser la masse de 40 g d'échantillon frais à 17,8 g (la masse à l'équilibre), par contre, pour l'échantillon séché à 40°C à l'étuve, il a fallu 1 journée et 65 min pour stabiliser la même masse d'échantillon. En revanche, pour les fortes puissances 1200 et 900 W, il a fallu 14 min et 5 s et 20 min respectivement, quant au séchage étuvé à 150°C il a fallu 1h 7 min, 1 journée 8 h à l'air libre et 5 h par lyophilisation.

Concernant l'impact de ces procédés sur la qualité microbiologique des échantillons de boue, les différents type de séchage réalisés montrent une diminution de de la flore mésophile totale et les bactéries sulfito-reductrices.

Il est à noter également qu'une élimination totale a été enregistrée à la puissance de 300 W et à la température de 100°C par micro-onde et étuve respectivement des germes suivants : coliformes totaux, coliformes fécaux et d'*E coli*.

En fin, le séchage par micro-onde est plus avantageux en termes de la durée de séchage et de l'amélioration de la qualité microbiologique de la boue.

Tout fois il serait souhaitable de compléter ce travail avec :

- ❖ Etablir des modèles cinétiques de séchage et d'optimisation basés sur les plans d'expérience pour déceler tous les paramètres qui peuvent influencer les procédés ;
- ❖ Appliquer un équipement micro-onde à l'échelle de la STEP pour désactiver et réduire les volumes des boues résiduelles ;
- ❖ D'assister cette technique par les ultrasons ;
- ❖ Elaborer des équipements hybrides pour traitement des déchets ;
- ❖ Approfondir l'étude microbiologique en cherchant d'autres germes à savoir moisissures, protozoaires, virus, listeria etc ;
- ❖ Etudier l'impact de ces procédés sur les métaux lourds ;
- ❖ Etudier l'impact sur l'environnement ;
- ❖ Enfin, effectuer une étude technico-économique des procédés en question, en estimant le cout en termes de la consommation d'énergie.

Références bibliographiques

- 1. ADEME.** 2001. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture – dossier documentaire. p30.
- 2. AIT YOUNES, O, AZOUZZI, M.** Valorisation de la station d'épuration de la ville de Marrakech En. Mémoire licence science et techniques : Eau et environnement. Marrakech : Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences et techniques, 2012, 74P.
- 3. ALIBAS, I.** (2007). Microwave, air and combined microwave air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT food science and technology* 40 (2007) 1445–1451.
- 4. ALLOWAY, A.** 1995. Heavy metals in soils. Edition blackie academic & professional, 368 p. Almendros, G., Guadalix M.E., Gonzalez-Vila F.J., Martin F., 1996. Préservation of aliphatic macromolecules in soil humins. *Org. Geochem.* 24, 6/7, 651-659.
- 5. AMIR, S.** Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Formation doctorale : Sciences Agronomiques. Toulouse : l'institut national polytechnique, 2005, 60P.
- 6. AMORCE,** Boues de Station d'Épuration : Techniques de traitement, Valorisation et Elimination, Novembre 2012.
- 7. BONAZZI, C., & BIMBENET, J. J.** (2003). Séchage des produits alimentaires principe. Techniques de l'Ingénieur. Opérations unitaires du génie industriel alimentaire. Base documentaire : TIB430DUO (ref : article : f3000).
- 8. BONNEFOY, C, GUILLET, F et al.** Microbiologie et qualité dans les industries alimentaires. France : doin, 2002, 245P.
- 9. BOU DJENOUN-A- Wahad ;** La gestion des boues issues des STEP des eaux usées urbaines 2009; CFMA – BOUMERDES
- 10. BOUSSELHADJ, k.** Etude du potentiel fertilisant (N et P) de deux boues de station d'épuration par lagunage anaérobie et par boue activée. 1996
- 11. CHANG, B.V.C., YANG, M., CHENG, C.H., YUAN, S.Y.,** 2004. Biodegradation of phthalate esters by two bacterial strains. *Chemosphere*, 55, 4, 533-538.
- 12. CHARREAU A., CAVAILLÉ R.** (2003). Séchage. Théorie et calculs. Techniques de l'Ingénieur. Opérations unitaires du génie industriel alimentaire. Base documentaire. (réf : article J2480).
- 13. DUPONT S, BENEY L, GERVAIS P.,** (2013). Conservation à long terme de systèmes biologiques viables et fonctionnels. Techniques de l'Ingénieur. Concepts, équipements et réglementations des biotechnologies. Base documentaire (ref : article : f 3480).
- 14. ECRIN,** 2000. Que faire des boues ? (What doing with sludge?), Club Environnement et société. December 2000.

- 15.** -FADEL, M., KHOURY, R., 2000. Modeling Settlement in MSW Landfills: a Critical Review. *Critical Reviews in Environ. Sci. Technol.* 30, 3, 327-361.
- 16.** E.T. Thostenson, T.-W. Chou. (1999). Microwave processing: fundamentals and applications. *Composites: Part A* 30, 1055–1071
- 17.** FAIVELEY. M. (2012). L'eau et la conservation des aliments. Techniques de l'Ingénieur Notion de Biochimie alimentaire, analyses et alimentation humaine, Base documentaire (ref : article : f 1011).
- 18.** FEDDANE, Z., HALIMI, K. Valorisation des boues de la station d'épuration du complexe GP1/Z en engrais. Mémoire Master II Chimie organique industriel. Oran : Université Mohamed Boudiaf, 2014, 68P.
- 19.** Feng, H et Tang, J. (1998). microwave finish apples in a spouted bed. *Journal of Food science*, 63, 679-683.
- 20.** Ferradji, A , Malek, A , Bedoud, M , Baziz, R et S.A. Aoua. (2001). drying of diced Séchoir Solaire à Convection Forcée pour le Séchage des Fruits en Algérie. *Rev. Energ. Ren.* Vol. 4 49 – 59.M.
- 21.** GARREC, N., PICARD-BONNAUD, F., Pourcher, A.M., 2003. Occurrence of *Listeria sp.* and *L.monocytogenes* in sewage sludge used for land application: effect of dewatering, liming and storage in tank on survival of *Listeria* species. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.*, 35, 3, 275-28.
- 22.** GOLUEKE C.G. (1991) Bacteriology of composting. *Biocycle* janvier, 55-57.
- 23.** Jean-François, B, Jean-Louis, S. État de l'art du traitement et de la disposition ou valorisation des boues d'épuration municipales. Jean-François Blais et Jean-Louis Sasseville. Québec, INRS-Eau, 1996, 165P. (Efficacité énergétique, 429).
- 24.** Juane D., Xihan M., Zhuorui F., Ying G. (2011). Effects of microwave drying on the contents of functional constituents of *Eucommia ulmoides* flower tea. *Industrial Crops and Products* 34, 1102– 1110. <espace.inrs.c1/ 641/R000429.pdf> (18/03/2017).
- 25.** GHERIANI, A. Contribution à l'amélioration et à l'optimisation du procédé de séchage solaire des boues urbaines. Mémoire Master académique : Hydrocarbures, Energies renouvelable, science de la terre et de l'univers. Ouargla : Université Kasdi Merbah, 2015, 60P.
- 26.** KINGSTON M.M., et HASWELL S.J. (1997) : Microwave – Enhanced Chemistry, Fundamentals, Sample Preparation, and applications. Edition American Chemistry Society, Washington, DC, 772 p.
- 27.** KLÖPFER, W., 1996. Environmental hazard assessment of chemicals and products. Part V. Anthropogenic chemicals in sewage sludge. *Chemosphere*, 33, 1067-1081.

- 28.** LEGA, R., Ladwig, G., Meresz, O, Clement, R.E., Crawford, G., Salemi, R., Jones, Y., 1997. Quantitative determination of organic priority pollutants in sewage sludge by GC/MS. *Chemosphere*, 34, 1705-1712.
- 29.** LEONARD Angélique ; " Etude du séchage convectif des boues des stations d'épuration" Thèse pour l'obtention du grade de docteur en science appliquées ; Université de LIEGE ; 2002.
- 30.** Li Z., G.S.V. Raghavan., Wang N., & Vigneault C. (2011) Drying rate control in the middle stage of microwave drying. *Journal of Food Engineering* 104 234–238.
- 31.** lidstrom P., tierney J., wathey B., and westman J. (2001). Microwave assisted organic synthesis A review. *Tetrahedron* 57, 9225-9283.
- 32.** Mafar. P. (1996). Génie industriel alimentaire. Les procédés physiques de conservation, 2ème édition (technique et documentation) : 5-12.
33. Manuel d'instruction, lyophilisateur, Alpha 1-2 LDplus (Ref : 101521), version 11/2006-Français.
- 34.** MARTTINEN, S.K., KETTUNEN, R.H., RINTALA, J.A., 2003. Occurrence and removal of organicpollutants in sewages and landfillleachates. *The Science of the Total Environment*, 301, 1-12.
- 35.** MASKAN, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwi fruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 169-175.
- 36.** MATHLOUTHI, S. Recherche des bactéries pathogènes et des bactériophages dans les résidus des stations d'épuration. Diplôme National d'Ingénieur : Sciences Appliquées et en Technologie. Université du 7 novembre à Carthage : Centre National des Sciences et Technologie Nucléaires (CNSTN), 2011, P 50.
- 37.** Michael, W. B, Schmidt, O.G. Le séchage solaire en Afrique [En ligne]. Compte rendu du colloque, Dakar, Sénégal, 1986, P 319.Disponible sur :< <https://www.doc-developpement-durable.org/74655-sechageSolaireEnAfrique.pdf>> (09/04/2017).
- 38.** OTV, Traiter et valoriser les boues, Infinités Communication : Rennemoulin (1997).
- 39.** Ozkan I.A., Akbudak B., Akbudak N. (2007). Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering* 78, 577–583.
- 40.** RECORD. Etude des procédés de séchage des boues urbaines et industrielles [En ligne]. N°99-0217/1A. Ecole Nationale des Mines d'Albi-CarmauxINA : 2001, 187P. Disponible sur :<www.Record-net.org> (09/04/2017).
- 41.** SAHLSTRÖM, L., ASPAN, A., BAGGE, E., THAM M.L.D., ALBIHN, A., 2004. Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants. *Water Research*, 38, 1989-1994.

42. SLIM, R. Etude et conception d'un procédé de séchage combiné de boues de stations d'épuration par énergie solaire et pompe à chaleur. Docteur de l'Ecole des Mines. Paris : Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2007, P 146.
43. SURH, P., "Incinération combinée des boues d'épuration et des ordures ménagères : une filière qui séduit." L'eau, l'industrie et les nuisances, 209, 34-36 (2002).
44. TEIN M. Lin., TIMOTHY D. Durance., & Christine H. Scaman. (1998). Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. P I I : S 0 9 6 3 - 9 9 6 9 0 0 0 7 0 – 2
45. VASSEUR, J. 2011. Séchage industriel : principes et calcul d'appareils - Séchage convectif par air chaud (partie 1). Techniques de l'Ingénieur. Opérations unitaires : évaporation et séchage. (ref : article J2451).
46. WERTHER, J., OGADA, T., 1999. Sewage sludge combustion. Progress in Energy and Combustion Science, 25 55–116.
47. YONGSAWATDIGUL, J et GUNASEKARAN, S. (1996). Microwave-vacuum drying of cranberries : Part II. Quality evaluation. . Journal of Food processing and preservation, 20, 145-156.
48. zebarth, B.J., McDougall, R., Neilsen, G., Neilsen, D., 2000. Availability of nitrogen from municipal sewage sludge for dryland forage grass. Can. J. Plant Sci. 80, 575–582.

NORMES ISO

ISO. Microbiologie des aliments-Méthodes horizontales pour la recherche et dénombrements des coliformes-techniques du nombre plus probable. ISO 4831 :2006 (F), 10P.

NF V08-061. Microbiologie des aliments-dénombrements anaérobiose des bactéries sulfite-réductrice par comptage des colonies à 46°C, 2009, 11P.

ISO. Microbiologie des aliments-Méthodes horizontales pour la recherche des salmonella spp. NA ISO 6579, 2008, 35P.

ISO. Microbiologie des aliments-Méthodes horizontales pour la recherche et dénombrements des micro-organismes-techniques par comptage des colonies à 30°C. ISO 4833 :2003(F), 2003, 9P.

ISO. Qualité de l'eau-recherche et dénombrement des organismes coliformes, coliformes thermotolérants et des *Escherichia coli* présumés-Partie 2 : Méthode du nombre le plus probable. ISO 9308-02, 1990,8P.

ISO. Microbiologie des aliments-Exigences générales et recommandations. NA ISO 7218, 2008, 65P.

ISO. Lait et produits laitiers – lignes directrices générales pour la préparation des échantillons pour essai, de la suspension mère et des dilutions décimales en vue de l'examen microbiologique. NA 5912 : ISO 8261,2007, 12P.

Annexes

Les types des boues d'épuration

Les boues désignent l'ensemble des activités biologiques des microorganismes vivant dans la station d'épuration, qui transforment les matières transportées par les eaux usées pour qu'elles puissent en être extraites. Elles sont constituées essentiellement d'eau, de sels minéraux et de matière organique. **(Gheriani, 2017)** Elles sont réparties selon les familles suivantes :

1. Boues de traitement primaire

Les boues extraites au fond de décanteur primaire, ainsi que les boues issues du traitement tertiaires, sont envoyées vers l'épaississement gravitaire. Elles sont produites donc par une simple décantation des matières en suspensions (MES) contenues dans les eaux usées. 70% des MES peuvent ainsi être retenues. L'épaississement des boues primaires est réalisé en silo épaisseur hersé jusqu'à une concentration de 35 g/l. **(Ait younes et Azouzzi, 2012)**

Leurs principales caractéristiques sont :

- d'avoir une bonne aptitude à la décantation, ce qui permet l'obtention de concentrations élevées par simple épauississement car elles contiennent des particules de grosse taille et de densité élevée.

- d'être favorable à la déshydratation et donc aux traitements visant à les épauissir ;

- d'avoir une teneur importante en matières organiques, fonction de la typologie des eaux d'entrée. Ce taux de matières organiques par rapport aux MES (matières en suspension) diminue lors des épisodes pluvieux ou lors d'ajout de réactifs chimiques (et plus particulièrement lors d'ajout de coagulants minéraux).

2. Boues de traitement biologique

Ces boues sont essentiellement formées par les résidus de bactéries « cultivées » dans les ouvrages d'épuration. Ces bactéries se nourrissent de matières organiques contenues dans les eaux usées (digestion). **(Ait younes et Azouzzi, 2012)**

Sous l'effet des paramètres de fonctionnement retenus sur le réacteur biologique, les bactéries libres épauissitrices du départ vont adopter une structure en floccs.

Ceux-ci sont de taille différente selon la charge massique retenue dans le système et de qualité différente (taux de MVS) selon la part d'auto oxydation de la biomasse, dépendante aussi de la charge massique et de la typologie des eaux d'entrée (fraction des MVS sur les MES). La formation de floccs va faciliter la rétention par décantation de la biomasse au sein du clarificateur.

Les boues secondaires ou biologiques ont pour caractéristiques :

- d'être peu favorable à la déshydratation, ce qui engendre des coûts supplémentaires pour l'épaississement
- d'être de qualité variable suivant les paramètres de fonctionnement fixés ou subis qui engendrent des siccités différentes.

3. Les boues tertiaires

Les boues tertiaires sont le plus souvent issues d'un traitement physico-chimique après un traitement biologique (d'où la notion de traitement tertiaire). Ce traitement tertiaire a pour principal objectif un rôle d'affinage du traitement. Il s'avère obligatoire derrière une boue activée lorsque les niveaux de rejets demandés sont très contraignants comme une teneur en MES inférieur à 20 mg MES/l, une teneur en phosphore inférieure à 1 mg Pt/l et une concentration en DCO inférieure à 60 mg/l. Elles sont le plus souvent obtenues par l'ajout de réactifs chimiques et elles sont aussi le plus souvent plus difficiles à déshydrater.

4. Les boues mixtes

Les boues mixtes correspondent au mélange des boues primaires et secondaires voir tertiaires. Leur aptitude à la concentration par rapport aux boues biologiques est améliorée lors d'ajout de boues primaires)

En résumé, le schéma suivant représente les différentes étapes du traitement épuratoire de la file eau en lien avec les différents types de boue associés.

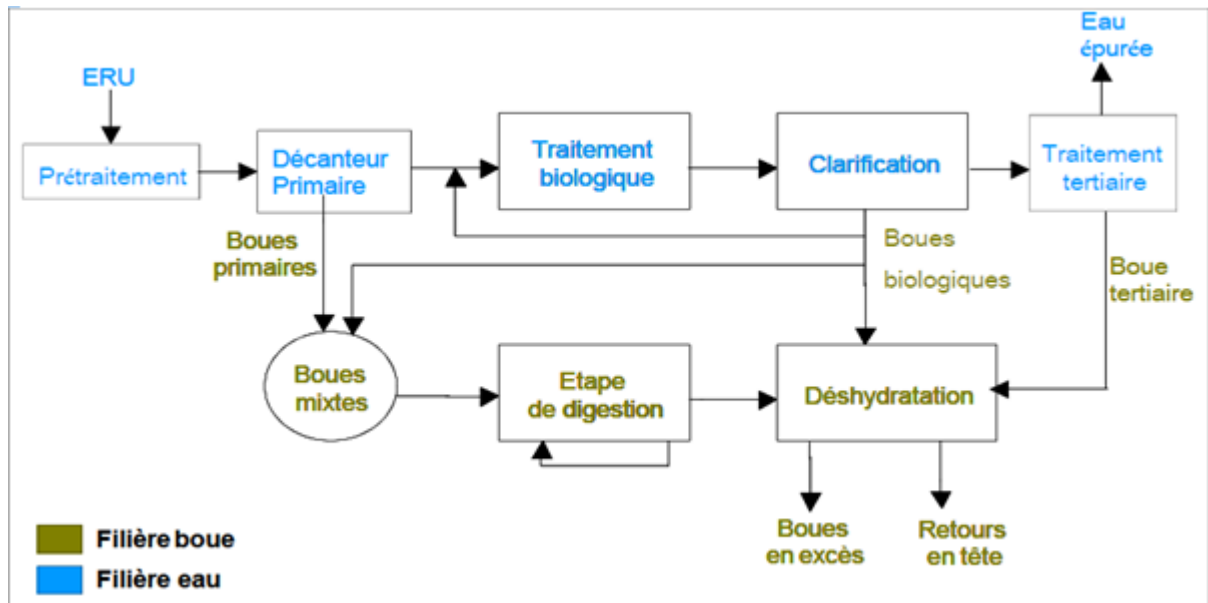


Figure 04 : Schéma d'une station d'épuration intégrant l'ensemble des étapes de traitement.

Tableau 05 : Table NPP d'après la norme ISO 7218 :1996 (F).

Tables NPP (d'après la norme ISO 7218 :1996(F))

Tableau 1 - Table NPP pour 3 x 1 g (ml), 3 x 0,1 g (ml) et 3 x 0,01 g (ml).

Nombre de résultats positifs			NPP	Catégorie lorsque le nombre d'essais de mesures est de 1 pour le lot considéré	Limites de confiance			
					>95%	>95%	>99%	>99%
0	0	0	<0,30		0,00	0,94	0,00	1,40
0	0	0	0,30	3	0,01	0,95	0,00	1,40
0	1	0	0,30	2	0,01	1,00	0,00	1,60
0	1	1	0,61	0	0,12	1,70	0,05	2,50
0	2	0	0,62	3	0,12	1,70	0,05	2,50
0	3	0	0,94	0	0,35	3,50	0,18	4,60
1	0	0	0,36	1	0,02	1,70	0,01	2,50
1	0	1	0,72	2	0,12	1,70	0,05	2,50
1	0	2	1,1	0	0,4	3,5	0,2	4,6
1	1	0	0,74	1	0,13	2,00	0,06	2,70
1	1	1	1,1	3	0,4	3,5	0,2	4,6
1	2	0	1,1	2	0,4	3,6	0,2	4,6
1	2	1	1,5	3	0,5	3,8	0,2	5,2
1	3	0	1,6	3	0,5	3,8	0,2	5,2
2	0	0	0,92	1	0,15	3,50	0,07	4,60
2	0	1	1,4	2	0,4	3,5	0,2	4,6
2	0	2	2	0	0,5	3,8	0,2	5,2
2	1	0	1,5	1	0,4	3,8	0,2	5,2
2	1	1	2,0	2	0,5	3,8	0,2	5,2
2	1	2	2,7	0	0,9	9,4	0,5	14,2
2	2	0	2,1	1	0,5	4,0	0,2	5,6
2	2	1	2,8	3	0,9	9,4	0,5	14,2
2	2	2	3,5	0	0,9	9,4	0,5	14,2
2	3	0	2,9	3	0,9	9,4	0,5	14,2
2	3	1	3,6	0	0,9	9,4	0,5	14,2
3	0	0	2,3	1	0,5	9,4	0,3	14,2
3	0	1	3,8	1	0,9	10,4	0,5	15,7
3	0	2	6,4	3	1,6	18,1	1,0	25,0
3	1	0	4,3	1	0,9	18,1	0,5	25,0
3	1	1	7,5	1	1,7	19,9	1,1	27,0
3	1	2	12	3	3	36	2	44
3	1	3	16	0	3	38	2	52
3	2	0	9,3	1	1,8	36,0	1,2	43,0
3	2	1	15	1	3	38	2	52
3	2	2	21	2	3	40	2	56
3	2	3	29	3	9	99	5	152
3	3	0	24	1	44	99	3	152
3	3	1	46	1	9	198	5	283
3	3	2	110	1	20	400	10	570
3	3	3	>110					
autres valeurs			non cité dans la table ISO 7218 : 1996 (F)					

Préparation et stérilisation des milieux de culture et diluant

Milieu tryptose - sulfite - cyclosérine (TSC) (NF V 08-061,2009)

❖ Composition

Tryptone	15 g
Extrait de levure	5 g
Soytone	5 g
Citrate ferrique ammoniacal	1 g
Métabisulfite de sodium	1 g
Gélose	20 g
Eau distillé	900 ml.

❖ Préparation

pH = 7,6. Stériliser à 121°C pendant 10 minutes.

Répartir en tubes de 18 x 180 mm à raison de 18 ml par tube.

Après régénération ajouter au milieu ramené à 60°C, 40 ml de D-cyclosérine à 1 % stérilisée par filtration.

Milieu bouillon lactosé bilé au vert brillant (BLBVB) (ISO 9308-2, 1990)

❖ Composition

Peptone pancréatique de caséine	10 g
Lactose	10 g
Bile de bœuf déshydratée	20 g.
Vert brillant	13,3 mg
Eau distillé	1000 ml

pH 7,2. Stériliser à 121°C pendant 10 minutes.

❖ Préparation

Mettre en suspension 40g du milieu dans un litre d'eau distillé en agitant souvent jusqu'à dissolution complète.

Répartir à raison de 10 ml par tube et stériliser à 121°C pendant 15 min.

Chaque tube est préalablement muni d'un petit tube à essai renversé (cloche de DURHAM) destiné à piéger la formation éventuelle de gaz.

Eau peptonée sans indole (NA ISO 6579, 2008)

❖ Composition

Digestat enzymatique de caséine	10,0 g
Chlorure de sodium	5,0 g
Eau	1 000 ml

❖ Préparation

Dissoudre les composants ou le milieu complet déshydraté dans l'eau, en chauffant si nécessaire.

Si nécessaire, ajuster le pH de sorte qu'après stérilisation, il soit de $7,3 \pm 0,2$ à 25 °C.

Répartir le milieu, par quantités de 5 ml à 10 ml, dans des tubes de 16 mm × 160 mm.

Stériliser à l'autoclave réglé à 121 °C pendant 15 min.

Milieu PCA (Plate count agar) (ISO 4833, 2003)

❖ Composition

Digesta enzymatique de caséine	5.0g
Extrait de levure	2.5g
Glucose anhydre (C ₆ H ₁₂ O ₆)	1.0g
Agar	9g à 18g
Eau	1000ml

❖ Préparation

Suivre les instructions du fabricant et ajouter, si nécessaire, la poudre de lait écrémé. Ajuster le pH, si nécessaire, de façon qu'après stérilisation il soit de $7,0 \pm 0,2$ à 25 °C.

Eau peptonée tamponnée (NA ISO 6579, 2008)

❖ Composition

Digestat enzymatique de caséine	10,0 g
Chlorure de sodium	5,0 g
Disodiumhydrogénophosphatedodécahydraté (Na ₂ HPO ₄ , 12H ₂ O)	9,0 g
Dihydrogénophosphate de potassium (KH ₂ PO ₄)	1,5 g
Eau	1000 ml

❖ Préparation

Dissoudre les composants dans l'eau, en chauffant si nécessaire.

Si nécessaire, ajuster le pH de sorte qu'après stérilisation il soit de $7,0 \pm 0,2$ à 25 °C.

Répartir le milieu, par quantités nécessaires pour l'analyse, dans des flacons de capacité adéquate

Stériliser à l'autoclave (6.1) réglé à 121 °C pendant 15 min.

Bouillon Rappaport-Vassiliadis avec soja (bouillon RVS) (NA ISO 6579, 2008)

Solution A

❖ Composition

Digestat enzymatique de soja	5,0 g
Chlorure de sodium	8,0 g
Dihydrogénophosphate de potassium (KH ₂ PO ₄)	1,4 g
Dipotassiumhydrogénophosphate (K ₂ HPO ₄)	0,2 g
Eau	1 000 ml

❖ Préparation

Si nécessaire, dissoudre les composants dans l'eau en chauffant à 70 °C environ.

La solution doit être préparée le jour même de la préparation du milieu RVS.

Solution B

❖ Composition

Chlorure de magnésium hexahydraté (MgCl ₂ , 6H ₂ O)	400,0 g
Eau	1 000 ml

❖ Préparation

Dissoudre le chlorure de magnésium dans l'eau.

En raison de la forte hygroscopicité du sel, il est conseillé de dissoudre la totalité du MgCl₂, 6H₂O contenu dans un récipient récemment ouvert, conformément à la formule. Par exemple, 250 g de MgCl₂, 6H₂O sont ajoutés à 625 ml d'eau pour donner une solution d'un volume final de 788 ml et d'une concentration massique d'environ 31,7 g pour 100 ml de MgCl₂, 6H₂O.

La solution peut être conservée dans un flacon en verre brun, à la température ambiante, au maximum 2 ans.

Solution C

❖ Composition

Oxalate de vert de malachite	0,4 g
Eau	100 ml

❖ Préparation

Dissoudre l'oxalate de vert de malachite dans l'eau.

La solution peut être conservée dans un flacon de verre brun, à la température ambiante, pendant 8 mois au maximum.

Milieu complet

❖ Composition

Solution A	1 000 ml
Solution B	100 ml
Solution	10 ml

❖ Préparation

Ajouter à 1 000 ml de solution A, 100 ml de solution B et 10 ml de solution C. Si nécessaire, ajuster le pH de sorte qu'après stérilisation il soit de $5,2 \pm 0,2$. Répartir dans des tubes à essai à l'autoclave réglé à 115 °C pendant 15 min. Conserver le milieu ainsi préparé à $3\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. L'utiliser le jour de la préparation.

Bouillon Muller-Kauffmann au tétrathionate-novobiocine (MKTTn) (NA ISO 6579, 2008)

Milieu de base

❖ Composition

Extrait de viande	4,3 g
Digestat enzymatique de caséine	8,6 g
Chlorure de sodium (NaCl)	2,6 g
Carbonate de calcium (CaCO ₃)	38,7 g
Thiosulfate de sodium pentahydraté (Na ₂ S ₂ O ₃ , 5H ₂ O)	47,8 g
Sels biliaires à usage bactériologique	4,78 g
Vert brillant	9,6 mg
Eau	1000 ml

❖ Préparation

Dissoudre les composants de base déshydratés ou le milieu complet déshydraté dans l'eau, en portant à ébullition durant 5 min. Si nécessaire, ajuster le pH à $8,0 \pm 0,2$ à 25 °C . Bien homogénéiser le milieu. Le milieu de base se conserve 4 semaines à $3\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

Solution iodo-iodurée

❖ Composition

Iode	20,0 g
Iodure de potassium (KI)	25,0 g
Eau	100 ml

❖ Préparation

Dissoudre complètement l'iodure de potassium dans 10 ml d'eau, puis ajouter l'iode et compléter à 100 ml avec l'eau distillée. Ne pas chauffer.

Conserver la solution ainsi préparée à température ambiante dans un récipient étanche.

Solution de novobiocine

❖ Composition

Sel monosodique de novobiocine	0,04 g
Eau	5 ml

❖ Préparation

Dissoudre le sel monosodique de novobiocine dans l'eau et stériliser par filtration.

Conserver jusqu'à 4 semaines à $3\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

Milieu complet

❖ Composition

Milieu de base	1 000 ml
Solution iodo-iodurée	20 ml
Solution de novobiocine	5 ml

❖ Préparation

Ajouter aseptiquement 5 ml de solution de novobiocine à 1 000 ml de milieu de base (B.3.1), mélanger puis ajouter 20 ml de solution iodo-iodurée. Homogénéiser le tout.

Répartir stérilement le milieu dans des tubes stériles de capacité appropriée en vue de l'analyse. Le milieu complet doit être utilisé le jour de sa préparation.

Gélose xylose lysine désoxycholate (gélose XLD) (NA ISO 6579, 2008)

Milieu de base

❖ Composition

Extrait de levure en poudre	3,0 g
Chlorure de sodium (NaCl)	5,0 g
Xylose	3,75 g
Lactose	7,5 g
Saccharose	7,5 g
Hydrochlorure de L-lysine	5,0 g
Thiosulfate de sodium	6,8 g
Citrate d'ammonium-fer(III)	0,8 g
Rouge de phénol	0,08 g
Désoxycholate de sodium	1,0 g
Gélose 9 g à 18 g 1)	
Eau	1000 ml

❖ Préparation

Dissoudre les composants de base déshydratés ou le milieu complet déshydraté dans l'eau, en chauffant si nécessaire. Éviter de surchauffer.

Si nécessaire, ajuster le pH de sorte qu'après stérilisation il soit de $7,4 \pm 0,2$ à $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Répartir le milieu de base dans des tubes ou des flacons de capacité appropriée.

Chauffer en agitant fréquemment jusqu'à ébullition du milieu et dissolution de la gélose. Ne pas surchauffer.

Préparation des boîtes de milieu gélosé

Transférer immédiatement le milieu dans un bain d'eau (6.5) réglé de $44\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $47\text{ }^{\circ}\text{C}$, agiter et verser dans les boîtes. Laisser solidifier.

Juste avant l'emploi, sécher soigneusement les boîtes de milieu gélosé (de préférence après avoir retiré les couvercles et retourné les boîtes) dans l'étuve réglée entre $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ jusqu'à séchage de la surface de la gélose.

Stocker les boîtes de gélose jusqu'à 5 jours à $3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Gélose au citrate de fer et aux trois sucres (gélose TSI) :

❖ Composition

Extrait de viande	3,0 g
Extrait de levure	3,0 g
Peptone	20,0 g
Chlorure de sodium (NaCl)	5,0 g
Lactose	10,0 g
Saccharose	10,0 g
Glucose	1,0 g
Citrate de fer(III)	0,3 g
Thiosulfate de sodium	0,3 g
Rouge de phénol	0,024 g
Gélose 9 g à 18 g 1)	
Eau	1000 ml

❖ Préparation

Dissoudre les composants ou le milieu de base complet déshydraté dans l'eau, en chauffant si nécessaire.

Si nécessaire, ajuster le pH de sorte qu'après stérilisation il soit de $7,4 \pm 0,2$ à $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Répartir le milieu, par quantités de 10 ml, dans des tubes à essai.

Stériliser à l'autoclave réglé à $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 15 min.

Laisser reposer en position inclinée de façon à obtenir un culot de 2,5 cm à environ 5 cm de profondeur.

Eau physiologique (NA ISO 6579, 2008)

Chlorure de sodium(NaCl)	8.5 g
Eau	1000 ml

❖ **Préparation :**

- ✓ Dissoudre le chlorure de sodium dans l'eau.
- ✓ Si nécessaire, ajuster le ph de sorte qu'après stérilisation il soit de $7,0 \pm 0,2$ à 25°C .
- ✓ Répartir le milieu dans des flacons ou dans des tubes, de sorte qu'après stérilisation ils contiennent 90 ml à 100 ml de solution.
- ✓ Stériliser à l'autoclave réglé à 121°C pendant 15 min.

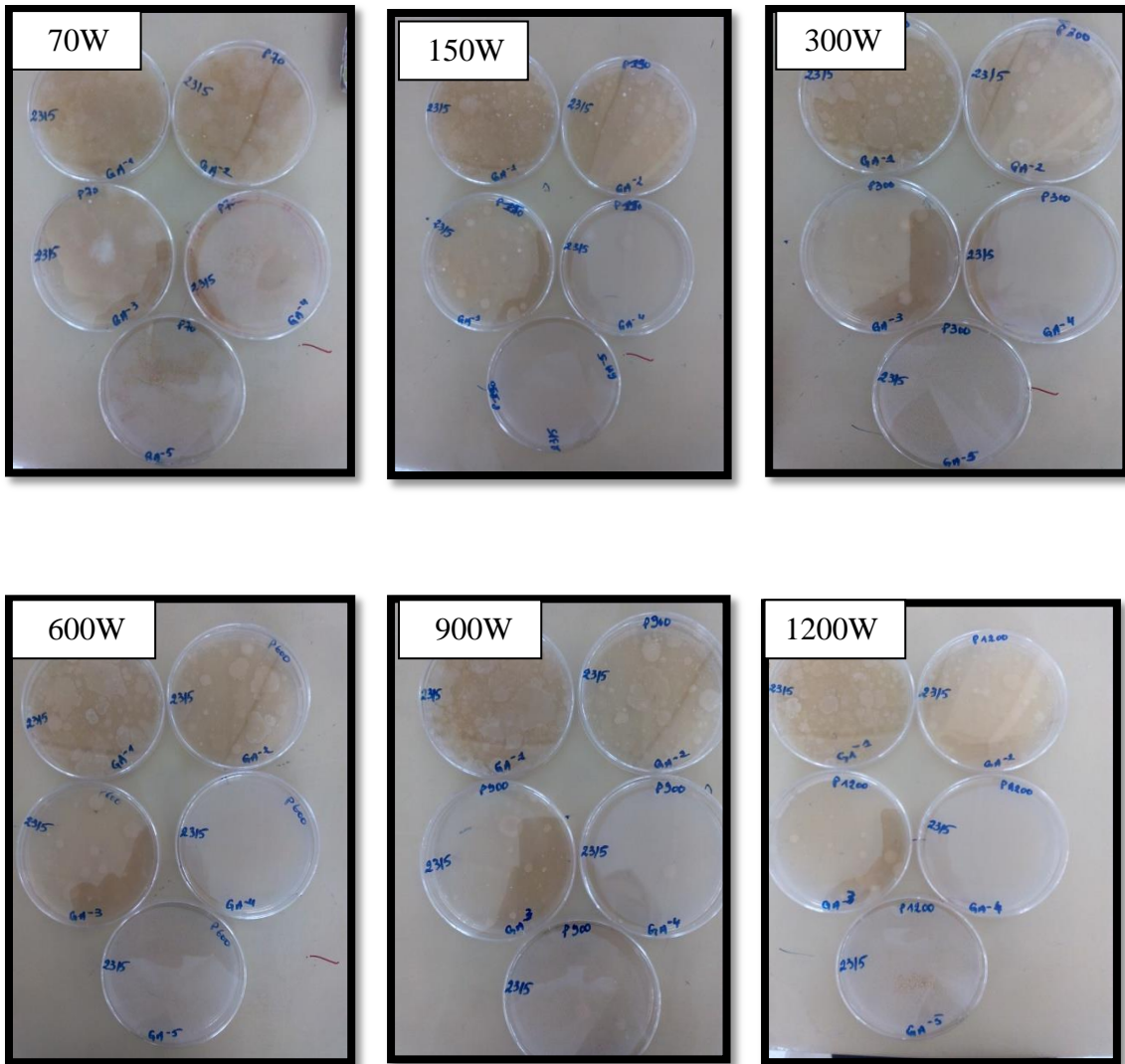


Figure 16 : Dénombrement des germes aérobies mésophiles totales des échantillons 70, 150, 300, 600, 900, et 1200Watt.

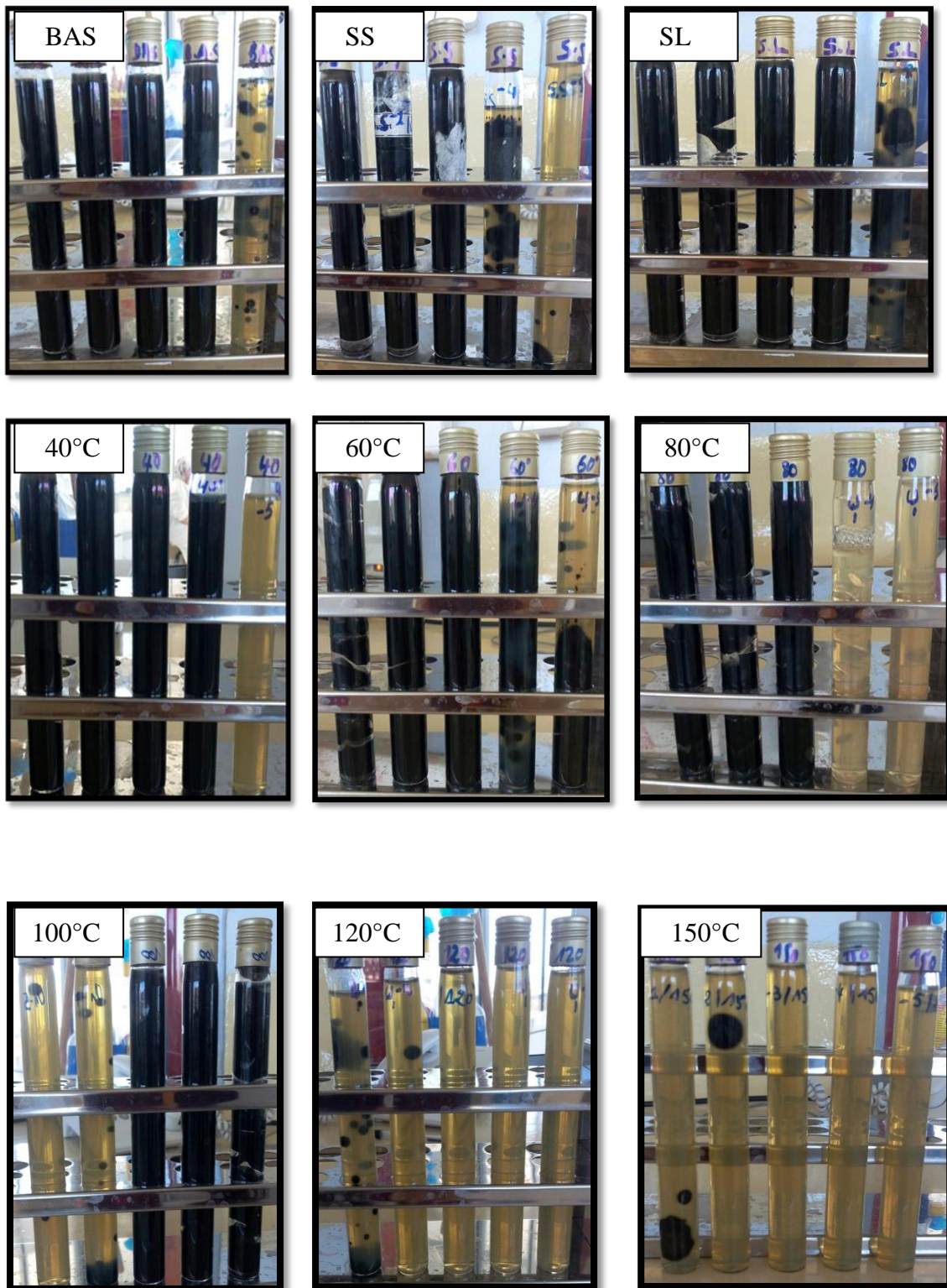


Figure 17 : Dénombrement des bactéries sulfito-réductrices des échantillons BAS, SS, SL, 40°C, 60°C, 80°C, 100°C, 120°C, et 150°C.

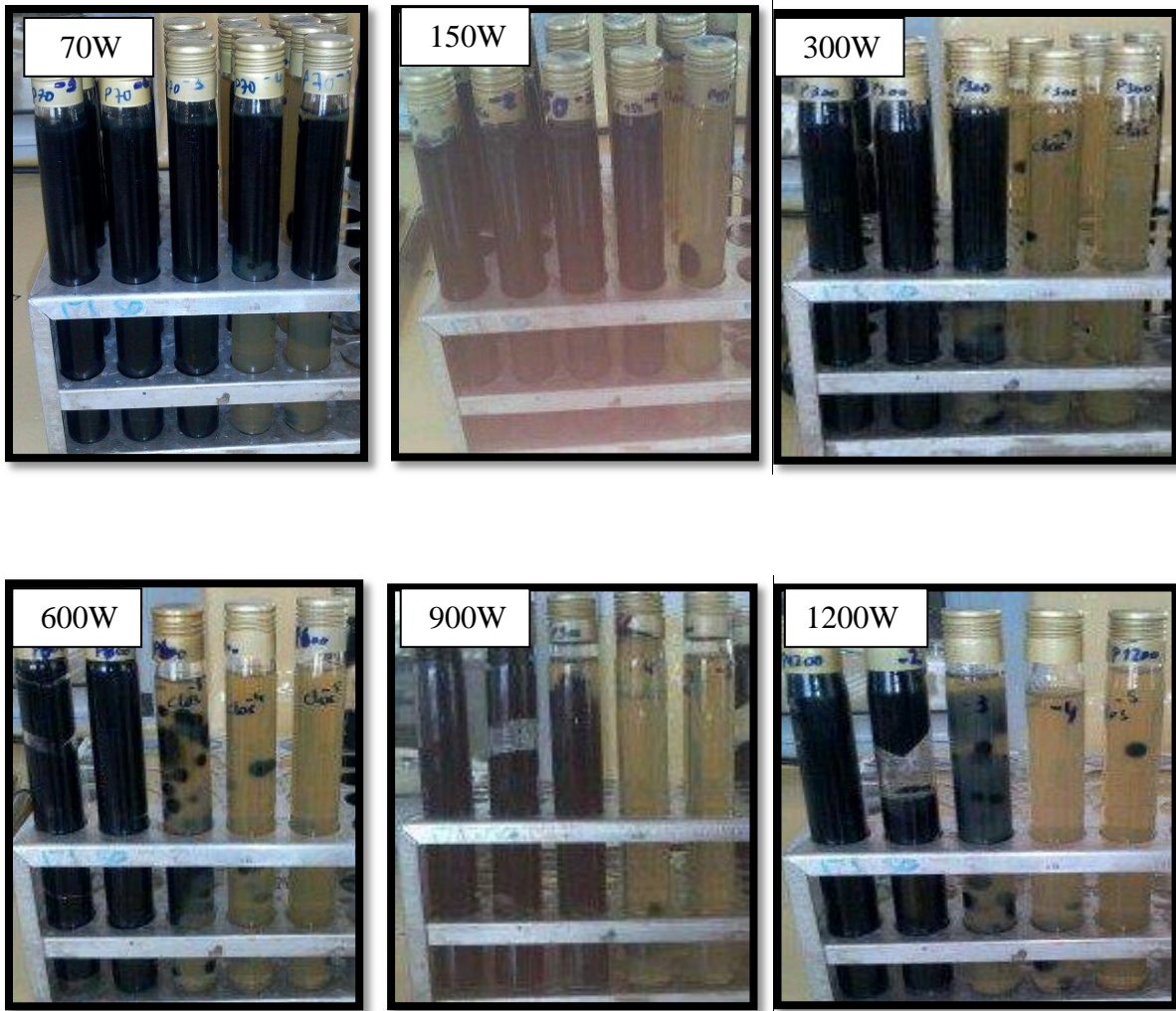


Figure 18: Dénombrement des bactéries sulfito-réductrices des échantillons : 70, 150, 300, 600, 900, et 1200Watt.

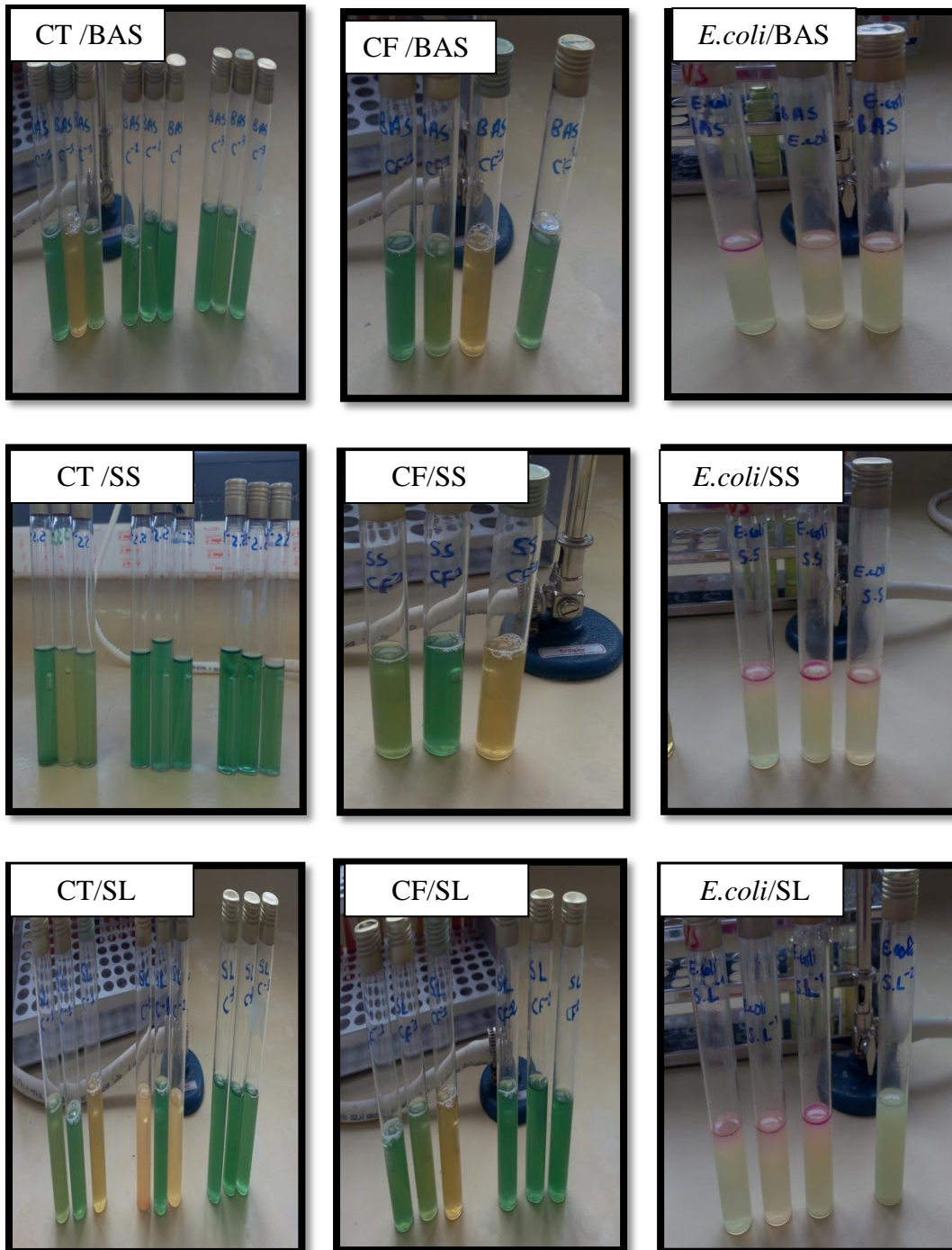


Figure 19 : Dénombrement des coliformes totaux, coliformes fécaux et *E.coli* des échantillons : BAS, SS, SL.



Figure 20 : Dénombrement des coliformes totaux, coliformes fécaux et *E.coli* des échantillons 40°C, 60°C, 80°C, 100°C, 120°C, et 150°C.

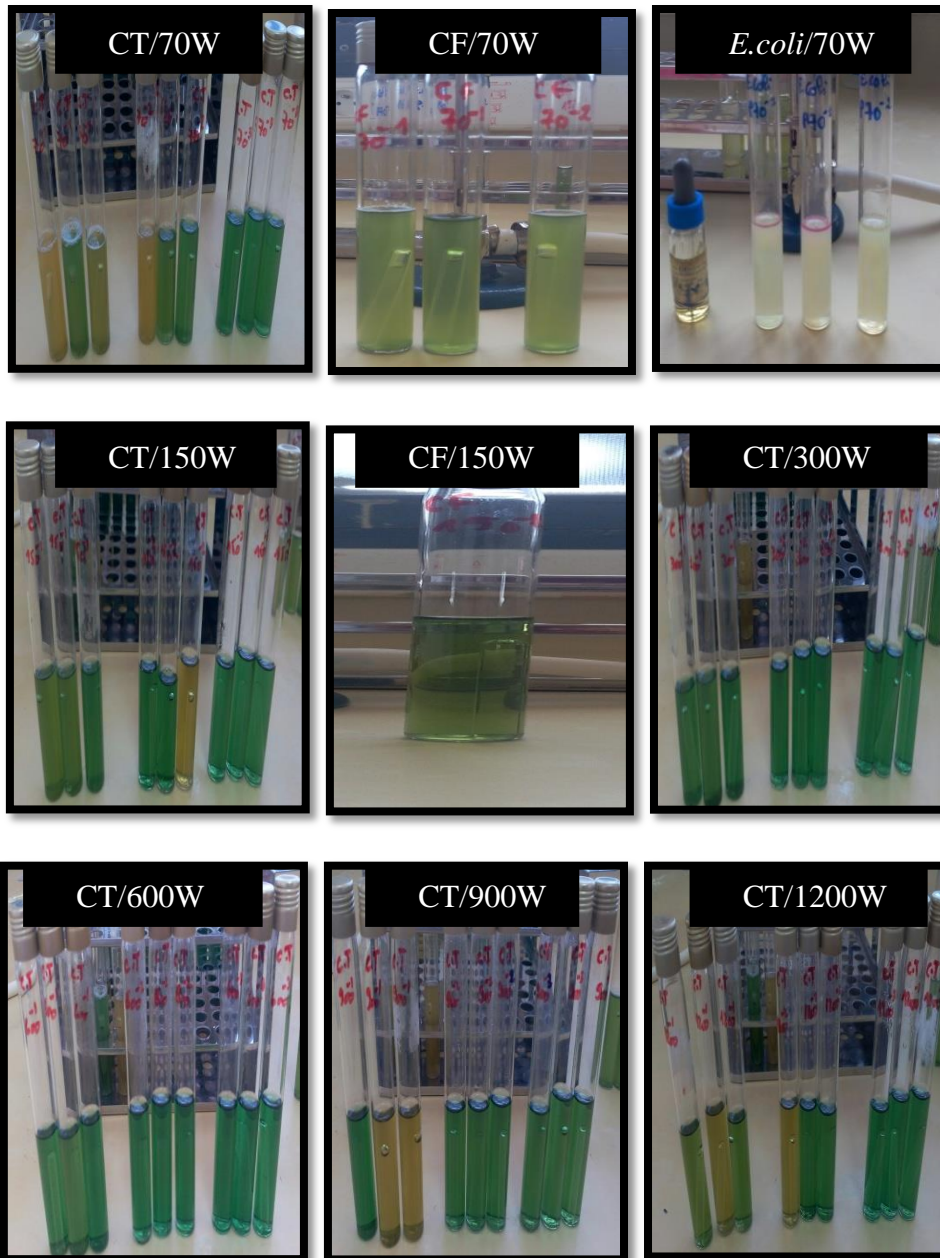


Figure 21 : Dénombrement des coliformes totaux, coliformes fécaux et *E.coli* des échantillons : 70, 150, 300, 600, 900, et 1200Watt.

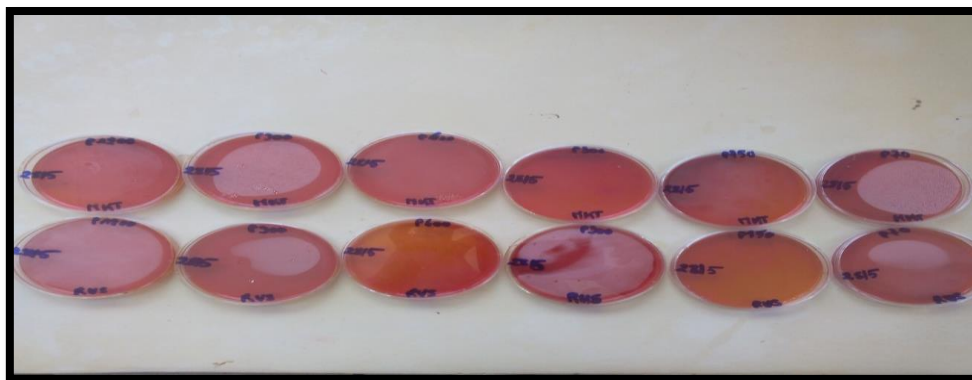


Figure 22: Dénombrement des salmonelles des échantillons : 70, 150, 300, 600, 900, et 1200Watt.

Résumé

Notre étude consiste à comparer entre le séchage innovant micro-onde et le séchage conventionnel étuve de la boue résiduaire de la station d'épuration de la Willaya de Bouira, afin de minimiser la durée de l'opération tout en réduisant de façon considérable le volume de la boue et on améliorant sa qualité microbiologique.

Des cinétiques de séchage de la boue innovante par micro-onde et conventionnel par étuve ont été respectivement effectuées avec des puissances (70, 150, 300, 600, 900 et 1200 W) et des températures (40°, 60°, 80°, 100°, 120° et 150°C), de plus une analyse de la qualité microbiologique a été faite pour une hygiénisation de cette boue.

A la lumière de cette investigation, il en ressort que le séchage par micro-onde est plus avantageux, d'une part le temps de séchage est plus court 6 h et 12 min à 70W par rapport au séchage à l'étuve 1 journée et 65 min à 40°C. Et d'autre part en termes de l'efficacité de la réduction ou l'élimination de la charge bactérienne.

Mots clés : Boue, Cinétique de séchage, Micro-onde, Etuve, Analyses microbiologiques.

Summary

Our study consists in comparing between the drying innovating microwave and the conventional drying oven some sedimentary mud of the station of purification of the Willaya de Bouira, to reduce the length of operation while reducing in a considerable way the volume of themud and ameliorate his microbiological quality.

Kinetics of drying of the innovative mud by microwave and conventional by oven was respectively performed with powers (70, 150, 300, 600, 900 and 1200 W) and temperatures (40 °, 60 °, 80 °, 100 °, 120 °and 150°C), of more an analysis of microbiological quality was made for a hygiénisation of this mud.

In the light of this investigation, it emerges from it that the drying by microwave is more favourable, on one hand the time of drying is shorter 6 hand 12 min in 70 W in comparison with the drying in the oven1 day and 65 min in 40°C. And on the other hand in terms of the effectiveness of the reduction or the elimination of the bacterial load.

Key words : Mud, Kinetics of drying, Microwave, Oven, Microbiological Analyses.

ملخص

وتتمثل دراستنا في المقارنة بين التجفيف المبتكر (الميكروويف) والتجفيف التقليدي (الفرن) للطين المستخرج من تصفية المياه لولاية البويرة بهدف تقليص مدة العملية مع تقليص حجم الطين

حركية تجفيف الطين المبتكر (ميكروويف) والتقليدي (الفرن)، (70-150-300-600-900 و 1200 واط) ودرجة الحرارة (40-60-80-100-120-150 °) بالترتيب، بالإضافة إلى دراسة نوعية الميكروبيولوجية

على ضوء هذا تلحقيق، نستنتج أن التجفيف بالميكروويف هو الأفضل من ناحية الوقت 6 سا و 12 د على 70 واط بالمقابل للتجفيف بالفرن يوم و65 دقيقة على 40 درجة ومن ناحية النوعية البيولوجية هو الفعال .

كلمات المفتاح: طين، حركية التجفيف، ميكروويف، فرن التسخين، تحاليل الميكروبيولوجية.

