

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمّار ثليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



RAPPORT DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de master LMD

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences biologiques

Option : Microbiologie appliquée

Présenté par :

BOUNADJA ASSIA

BEN ATIA NAKHLA

THEME

Etude de l'impact des micro-ondes et l'impact thermique sur la
survie d'*Escherichia coli*

Encadrer par :

Mr. KRANTAR Kamel

Année Universitaire 2017/2018.

REMERCIEMENTS

A ALLAH ma miséricorde divine, le tout puissant de m'avoir donné la volonté et la capacité de présenter ce travail.

*Un grand merci pour mon encadreur monsieur : **KRANTAR KAMEL** nous le remercions pour l'aide et les efforts déployés pour nous amener à ce stade.*

*Un grand merci aussi pour les membres de jury :monsieur **GASEM MOHAMED AMINE** comme président et le monsieur **ZERROUKI MOHAMMED HOCINE** comme examinateur.*

Nous remercions tous les professeurs et collègues, Département de microbiologie.

*Je tiens à remercier le Président du Département de biologie M : **R .CHAIBI**.*

Dédicaces

Au nom de dieu le miséricordieux par essence et par excellence.

« Je remercie mon dieu pour tout absolument tout. »

Après tout l'effort dédie ce travail à tout le monde a été de nous aider :

*- monsieur encadré ci-dessous : **KRANTAR KAMEL.***

*-A mon cher père **BOUNADJA MOUHAMED** et ma très chère et tendre mère
BEN ALIA FATIMA-SAILAA MESSAOUDA.*

Qui ont sacrifiés leur vie pour moi , et qui ont été mon repère

*-A mon cher jules **HAKKOUM ARABI**, pour leur affection et patience*

*- toute la famille :**SAILAA-BOUNADJA-BALLI-BEN ALIA-BEN ATTIA-
HAAMIA-HEDJADJE.***

- et tous les amis et les collègues.

Résumé : Etude comparative entre l'impact des Microondes et l'impact thermique sur la survie d'*Escherichia coli*.

Dans un contexte global de sécurité alimentaire ;associé à une recherche denouveauxprocédés d'amélioration de la qualité et de prolongement de la fraîcheur, le présent projet a pour but de comparer les effets antimicrobiennes entre la température et l'exposition aux microondes de la bactérie Gram négatif *Escherichia colia* été soumise à deux température 100°C et 80°C pendant (4, 5, 10, 20, 25 et 30 minutes) en milieu lait écrémé et entier pour le traitement thermique. Pour le traitement par microonde les bactéries ont été soumises à trois temps de traitement (30, 60, et 180 secondes) et trois puissances (100w, 250w et 300-700w).les résultats obtenus montrent que la souche bactérienne est thermosensible à partir de 80°C de traitement, mais aussi sensible aux microondesà partir de 30 secondes de traitement. Donc on conclut que l'action antibactérienne de la température et de microonde sont très importantes.

Mots clés : *Escherichia coli*, stérilisation, traitement thermique, pasteurisation,microondes.

Summary: Comparative study between the affect of temperature and microwave on the survival of *E.coli*.

In a global context of food security, coupled with the search of new quality improvement process and extending the freshness, this project aims to compare the antimicrobial effect between the temperature and microwave. Gram negative bacteria (*Escherichia coli*) were subjected at two temperatures 100 °C and 80°C. For (4, 5, 10, 20, 25 and 30 minutes) in skimmed and whole milk for the heat treatment.For the microwave treatment the bacteria were subjected to three treatment times (30, 60 and 180 seconds) and three powers (100w, 250w and 300_700w). The results obtained show that the bacterial strain is heat sensitive from 80 ° C treatment, but also sensitive to microwave from 30 seconds treatment.So we conclude that the antibacterial action of temperature and microwave are very important.

Key words: *Escherichia coli*, sterilization, pasteurization, thermal treatment,microwave.

ملخص: دراسة مقارنة بين تأثير درجة الحرارة و تأثير الميكروويف على بقاء البكتيريا القولونية حية . في السياق العالمي للأمن الغذائي يهدف هذا البحث إلى تحسين جودة ونوعية الغذاء، وإبقائها طازجة أطول مدة ممكنة، و هذا الهدف يتحقق عن طريق مقارنة التأثير المضاد للميكروبات بين درجة الحرارة أشعة الميكروويف . تعرضت البكتيريا سالبة الجرام (*Escherichia coli*) لدرجتين مؤبنتين من 100 درجة مئوية و 80 درجة مئوية. لمدة (5.4 10.20.25.30 دقيقة) في الحليب الخالي من الدسم والحليب الكامل الدسم (المعالجة الحرارية). و كذا تعريض البكتيريا للعلاج بإشعاع الميكروويف (100واط و250واط و300_700واط) ، تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن السلالة البكتيرية حساسة للحرارة من 80 درجة مئوية كما أنها أيضا حساسة للأشعة الميكروويف من اكثر 30 ثانية لذلك نستنتج أن العمل المضاد للبكتيريا في درجة الحرارة والأشعة فوق البنفسجية مهم جدا.

الكلمات المفتاحية: ميكروويف, *Escherichia coli*.

Sommaire

Résumé.

Liste des abréviations .

Liste des tableaux.

Liste des figures.

Introduction..... 1

Etude bibliographique.

Chapitre I :Généralités sur la bactérie *Escherichiacoli* :..... 2

I-1-Historique 2

I-2-Description2

I-3-Classification 2

I-4-Critères d'identification : 3

I-4-1-Morphologie 4

I-4-2-Caractères biochimiques 5

I-4-3-Classification sérologique 6

I-4-4-Génome d'*E. coli*..... 7

Chapitre II :Méthode de décontamination thermique :.....9

II -1-pasteurisation.....9

II-2- la stérilisation10

II-3- La tyndallisation.....10

II- 3-1-définition.....10

II-3-2- Principes et procédé.....10

Chapitre III :Généralités sur les microondes..... 11

III -1-Historique de découverte des microondes 11

III-2-Bandes de fréquences et applications12

III-3-Produire des microondes13

III-4-La microonde est une technologie de décontamination14

Partie Expérimentale.

Chapitre I :Matériel et méthodes	17
I-1-Matériel	17
I-1-1-Matériel biologique	17
I-2-Méthodes	17
I -2-1-Traitement thermique.....	17
I-2-1-1-Préparation de pré-culture d' <i>E. coli</i> ATCC 25922.....	17
I-2-1-2-Dénombrement.....	17
I-2-1-3- Protocole expérimentale de la traitement thermique.....	18
I -2-2-Traitement aux microondes.....	19
I-2-2-1- Dilution.....	19
I-2-2-2- Exposition aux micro-ondes.....	19
I-2-2-4- Protocole expérimentale de la traitement avec la microonde.....	20
Chapitre II : Résultats	21
II-1- résultat de l'impact thermique	21
II-2- résultat de l'exposition aux micro onde.....	22
II-2-1- Exposition d <i>E.coli</i> à puissance faible de micro-ondes(100 W).....	22
II-2-2- Exposition d <i>E.coli</i> à puissance moyenne de micro-ondes(250 W).....	23
II-2-3- Exposition d <i>E.coli</i> à puissance fort de micro-ondes(300W et 700W).....	23
Chapitre III- Discussion	24
III-Discussion.....	24

Liste des abréviations

- ❖ **ATCC**: American Type Culture Collection.
- ❖ **EPEC** : Entéropathogéniques *E. coli*.
- ❖ **ETEC** : Entérotoxigénique *E. coli*.
- ❖ **EAEC** : Entéro-agrégants *E. coli*.
- ❖ **EIEC** : Entéro-invasifs *E. coli*.
- ❖ **EHEC** : Entérohémorragiques *E. coli*.
- ❖ **UHT** : Ultra Haute Température.
- ❖ **UHF** : Fréquences Ultra Hautes.
- ❖ **SHF** : Fréquences Super Hautes.
- ❖ **EHF** : Fréquences Extrêmement Hautes.
- ❖ **UFC** : Unité format colonie.
- ❖ **DO** : Densité optique.
- ❖ **PCA** : Plate Count Agar

Liste des tableaux

- ❖ **Tableau N°1** : Quelques caractéristiques du genre *Escherichia*.
- ❖ **Tableau N°2** : Le profil biochimique d'*E. coli* ATCC 25922 en galerie API 20 E.
- ❖ **Tableau N°3** : Microondes, caractéristiques et principales applications.

Liste des figures

- ❖ **Figure N°1** : Photo d'*Escherichia coli* prise avec un photomicroscope et magnifié 400 fois.
- ❖ **Figure N°2** : Le chromosome d'*E. coli*.
- ❖ **Figure N°3** : Représentation schématisée d'une onde électromagnétique.
- ❖ **Figure N°4** : Les microondes dans le spectre électromagnétique.
- ❖ **Figure N°5** : Klystron à deux cavités utilisé dans les années 50.
- ❖ **Figure N°6** : Photo de four à micro-ondes.
- ❖ **Figure N°7** : schéma représentant un protocole expérimental de traitement aux microondes.
- ❖ **Figure N°8** : Représentation graphique des résultats en pourcentages d'inhibition de la souche *Escherichia coli* après l'exposition à la température 80⁰ C à 10 et 20 minutes.
- ❖ **Figure N°9** : Représentation graphique des résultats en pourcentages d'inhibition de la souche *Escherichia coli* après l'exposition à la température 100⁰ C à 5 et 10 minutes.
- ❖ **Figure N°10** : Résultats de la souche *Escherichia coli* (A) témoin (B) après l'exposition à la température 100⁰C à 5 minutes.
- ❖ **Figure N°11** : Représentation graphique de résultats d'exposition d'*E. coli* à 100 W de micro-ondes.
- ❖ **Figure N°12** : Représentation graphique de résultats d'exposition d'*E. coli* à 250 W de micro-ondes.
- ❖ **Figure N°13** : Représentation graphique de résultats d'exposition d'*E. coli* à (300w_700w) de micro-ondes.

INTRODUCTION

Introduction :

De tous les organismes cellulaires de la science, *Escherichia coli* est actuellement le plus étudié. C'est un sujet central de recherche en microbiologie depuis sa découverte, ceci s'explique par sa disponibilité et sa facilité de croissance (ARI et SEZONOV, 2008 ; GRIFFITHS et *al.*, 2006). *Escherichia coli* est un organisme commensal et un agent pathogène qui peut se trouver dans nos aliments ainsi que dans les déchets hospitaliers, sa présence dans certains locaux ou endroits est un indice d'absence d'hygiène (GYLES, 2007 ; FARMER et *al.*, 2002).

Et dans un contexte global de sécurité alimentaire, avec une recherche incessante de nouveaux moyens athermiques de lutte contre le développement de microorganismes indésirables, l'utilisation des microondes comme moyen de décontamination à été étudié dans ces dernières années (ROUGIER et CAROL, 2003).

Donc notre travail s'inscrit dans cette démarche scientifique qui consiste à étudier l'effet des microondes qui sont utilisées de plus en plus dans nos cuisines sur la survie des microorganismes contaminants possible de notre nourriture dans la perspective de les utilisées comme moyen athermique de décontamination.

L'objectif de cette étude est de comparer les l'effet thermique à des températures et des temps différents avec l'effet de l'exposition aux microondes (fréquence de 2.45 GHz) sur la survie de la souche *Escherichia coli* ATCC 25922 pour déterminer les bons paramètres de stérilisation possibles.

Ce mémoire se présente sous forme d'un manuscrit réparti en deux parties :

Une première partie bibliographique consacré aux notions de base sur la bactérie *Escherichia coli* et sur quelques méthodes de décontamination thermique ainsi que l'effet biologique des microondes, et ceci en utilisant des références bibliographiques relatives.

La deuxième partie, présente le protocole expérimental utilisé en décrivant chaque étape du protocole d'exposition au traitement thermique etaux champs des microondes, ainsi que les résultats expérimentaux et leur discussion.

Enfin ce mémoire se termine par une conclusion et des perspectives associées à notre étude.

Etude bibliographique

Chapitre I

**Généralités sur la
bactérie
*Escherichia coli***

I-Généralités sur la bactérie *Escherichia coli* :

I-1- Historique :

Bacterium coli était décrite en 1885 par le pédiatre Allemand Theodor Escherich dans les selles de nourrissons qui souffrent de diarrhées (ESCHERICH, 1885). Après le décès de Theodor Escherich en 1911 et en son honneur, *Bacterium coli commune* a été renommée *Escherichia coli* en 1919 (DI LORENZO, 2008).

I-2-Description :

Escherichia coli ou *E. coli*, encore dit communément le colibacille (PINTO, 2009 ; BRIANDET, 2012) est bien connue par les microbiologistes. Elle est un organisme commensal (MANNING, 2011) naturellement présente dans le tractus intestinal (BROWN, 2010) étant le microbe le plus important de cette région de l'organisme humain (VESILIND *et al*, 2010). Sa présence dans l'environnement constitue un indice de contamination par des matières fécales (BALVAY *et al*, 2012 ; RAMOS, 2010 ; PERRY *et al*, 2004).

I-3-Classification :

Escherichia coli appartient à la famille des *Enterobacteriaceae* (SCHAECHTER, 2009). Elle est l'un des huit ou plusieurs espèces reconnues du genre *Escherichia* (SCHAECHTER, 2010) étant la plus importante de ce genre (GUIRAUD, 2003).

Certaines souches d'*Escherichia coli* sont pathogènes, selon la région infectée on distingue :

- ***E. coli* pathogènes intestinales** : sont actuellement classés en cinq grands groupes selon leur mécanisme d'action :

- Les *E. coli* entéro-pathogéniques (EPEC) furent reconnus en 1950 comme le premier groupe de *E. coli* pathogènes et identifiés sur la base de leurs antigènes O :H comme responsables d'épidémies de gastro-entérites infantiles. Les EPEC ne produisent pas de toxine, mais adhèrent intimement aux microvillosités des entérocytes causant une diarrhée par mal absorption aigue.

- Les *E. coli* entérotoxigéniques (ETEC) colonisent la surface d'entérocytes du grêle. Cet effet est dû à des protéines antigéniques spécifiques appelés « Colonization Factor Antigen (CFA) ». En plus ils sécrètent deux toxines (une cytotoxine est une entérotoxine) qui n'affectent pas la morphologie de la muqueuse, mais produisent une sécrétion active d'eau et d'électrolytes (diarrhée 'Cholear-Like' ou 'turista') (SENTERRE et EECKELS, 1996)

- Les *E. coli* entéro-agrégants (EAEC) sont responsables d'entérites chroniques persistantes de nourrissons et, mis à part leurs capacités d'entéro-adhérence aux cellules, ils produisent une entérotoxine thermorésistante responsable de la diarrhée .

- Les *E. coli* entéro-invasifs (EIEC) sont rares dans nos régions. Ils présentent de nombreuses similitudes biologiques, morphologiques et fonctionnelles avec les *Shigella*. Ils sont purement entéro-invasifs et produisent des entérites avec syndrome dysentérique .

- Les *E. coli* entérohémorragiques (EHEC) représentent une classe d'*E. coli* identifiée par le sérotype O157 :H7 responsables d'épidémies de colite hémorragique. Les EHEC produisent une cytotoxine identique à celle des *Shigella*. Sur le plan Clinique, la perte sanguine est cependant plus massive. Comme l'infection à *Shigella*, l'infection digestive à EHEC peut compliquer d'un syndrome hémolytique-urémique dans 20 % des cas et d'un purpura thrombotique et thrombocytopénique dans 5 % des cas. L'usage de médicaments inhibiteurs de péristaltisme et d'antibiotiques favorise le développement de ces complications chez les enfants atteints de colite hémorragique (SENTERRE et EECKELS, 1996).

- ***E. coli* pathogènes extra-intestinales** : entraînent selon le <<pathovar>>, des gastroentérites, des infections urinaires, des méningites ou des septicémies (BRIANDET et al, 2012).

I-4-Critères d'identification :

Sans aucun doute, *Escherichia coli* est la bactérie la mieux étudiée et l'organisme expérimental de choix pour beaucoup de microbiologistes (PRESCOTT et al, 2003). Il ya beaucoup de littérature scientifique qui décrit la morphologie, l'évolution, la génétique, le métabolisme et la distribution dans la nature d'*Escherichia coli* (DI LORENZO, 2008).

I-4-1-Morphologie :

Aspect macroscopique :

Sur gélose au sang, les colonies d'*E. coli* sont lisses, gris terne, et de 2 à 3 mm de diamètre.

Sur milieu Mac Conkey, les colonies d'*E. coli* lactose-positives, sont de couleur rose à rouge, plates, sèches et de 2 à 3 mm de diamètre, elles sont généralement entourées d'une zone rose plus foncée des sels biliaires précipités. Les colonies *E. coli* lactose-négatives produisent des colonies incolores sur MAC qui sont de 2 à 3 mm de diamètre (ENGELKIRK et DUBENENGELKIRK, 2008).

Les colonies sur gélose Hecktoen entérique et le Xylose-Lysine-Désoxycholate (XLD) sont de couleur jaune (ENGELKIRK et DUBEN- ENGELKIRK, 2008).

Aspect microscopique :

De nombreuses colorations ont été décrites pour la recherche des microorganismes spécifiques dans des échantillons. Les 2 colorations les plus courantes sont la coloration de Gram et la coloration acido-alcool-résistante (PRESCOTT et al, 2002). *E. coli* est un bacille Gram-négatif (MANNING, 2011) ayant une longueur de 0.2 µm et 0.8 µm de diamètre (GARRETT et GRISHAM, 2010). Sa taille varie en fonction des conditions de croissance, pesant de 0,5 à 5 picogrammes.

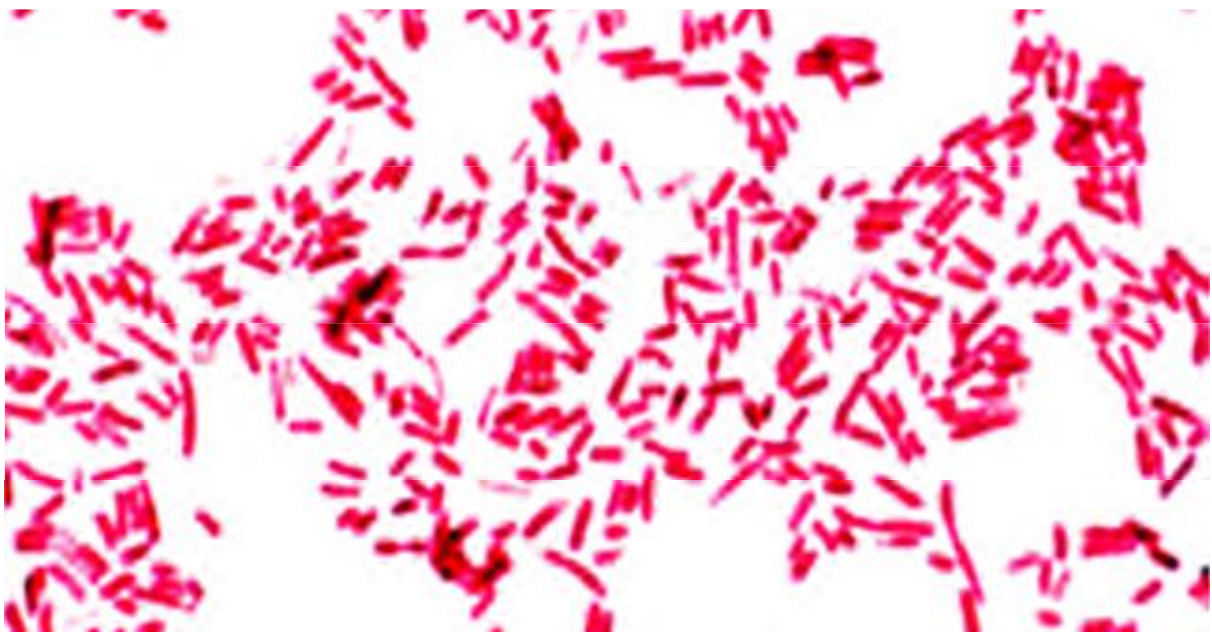


Figure 1 : Photo d'*Escherichia coli* prise avec un microscope optique X400(MANNING, 2011).

E. coli peut se développer avec (en conditions aérobies) ou sans (dans des conditions anaérobies) oxygène ou air. La capacité de se développer en les deux conditions, classe *E. coli* comme anaérobie facultative (MANNING, 2011). Dans des conditions d'anaérobie, *E. coli* produit de l'énergie, par fermentation et des acides. En présence d'O₂, la production d'énergie s'effectue à l'aide de la chaîne respiratoire (SCHMID, 2005).

I-4-2-Caractères biochimiques :

Quelques-uns des tests biochimiques les plus communément utilisés sont le type de fermentation formique, l'utilisation du lactose et du citrate, la production d'indole à partir de tryptophane, l'hydrolyse de l'urée et la production de sulfure d'hydrogène, pour identifier le genre *Escherichia*. Le tableau N°1 résume quelques propriétés biochimiques utiles pour identifier le genre *Escherichia* (HARLEY, 2010).

Tableau N°1 : Quelques caractéristiques du genre *Escherichia* (HARLEY, 2010).

Caractéristiques	<i>Escherichia</i>
ONPG	+
Oxydase (Figure N°3, test (a))	-
Rouge de méthyle (Figure N°3, test (b))	+
Voges-Proskauer (Figure N°3, test (c))	-
Production d'indole (Figure N°3, test (d))	+ (généralement présent)
Utilisation du citrate	-
Production d'H ₂ S (Figure N°3, test (e))	-
Uréase (Figure N°3, test (f))	-
β-galactosidase	+ (généralement présent)
Gaz à partir de glucose	+
Acide à partir de lactose	+
Phénylalanine désaminase	-
Lysine décarboxylase	+ (généralement présent)
Ornithine décarboxylase	+ (généralement présent)
Mobilité	Péritriches si mobiles
Liquéfaction de la gélatine (22°C)	-
% de GC	48-59

La popularité des systèmes commerciaux d'identification montre bien l'utilité des tests biochimiques pour identifier les bactéries entériques. Les systèmes Entérotube et API 20 E sont basés sur ces tests (HARLEY, 2010). Le système d'identification API 20 E (Biomérieux) est devenu la méthode de référence en le comparant par la précision des autres systèmes (WINN et KONEMAN, 2006). Il est un système standardisé pour l'identification des Enterobacteriaceae et autres bacilles à Gram négatif non fastidieux, comprenant 21 tests biochimiques miniaturisés, ainsi qu'une base de données (Biomérieux, France).

Tableau N°2 : Le profil biochimique d'*E. coli* ATCC 25922 en galerie API 20 E (Biomérieux, France).

Tests	ONPG	ADH	LDC	ODC	CIT	H2S	URE	TDA	IND	VP	NO₂
Résultats	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+
Tests	GEL	GLU	MAN	INO	SOR	RHA	SAC	MEL	AMY	ARA	N₂
résultats	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-

ONPG: β -galactosidase (Ortho NitroPhényl- β D-Galactopyranosidase), **ADH:** Arginine DiHydrolase, **LDC:** Lysine DéCarboxylase, **ODC:** OrnithineDéCarboxylase, **CIT:** utilisation du CITrate, **H2S :** production d' H2S, **URE :** UREase, **TDA :** Tryptophane DésAminase, **IND:** production d'INDole, **VP:** production d'acétoïne (VogesProskauer), **GEL:** Gélatinase (GELatine), **GLU:** fermentation/oxydation (GLUcose), **MAN:** fermentation/oxydation (MANnitol), **INO:** fermentation/oxydation (INOsitol), **SOR:** fermentation/oxydation (SORbitol), **RHA:** fermentation/oxydation (RHAmnose), **SAC:** fermentation/oxydation (SACcharose), **MEL:** fermentation/oxydation (MELibiose), **AMY:** fermentation/oxydation (AMYgdaline), **ARA:** fermentation/oxydation (ARAbinose).

Le système identifie un pourcentage élevé d'espèces bactériennes dans les 24 heures, sans la nécessité de déterminer d'autres caractéristiques physiologiques. L'indice de profil API fournit la fréquence de probabilité de plusieurs souches qui doivent être considérées pour chaque numéro de biotype (WINN et KONEMAN, 2006).

I-4-3-Classification sérologique :

Plusieurs variétés d'antigènes ont été décrites :

- L'antigène O qui est l'antigène somatique : c'est cet antigène qui permet de faire une classification sérologique des *Escherichia coli* et qui joue un rôle de marqueur épidémiologique ;
- L'antigène H : c'est l'antigène flagellaire ;
- L'antigène K : c'est l'antigène de surface auquel sont rattachées deux propriétés biologiques très importantes ;

- Un effet protecteur vis-à-vis des défenses non spécifiques de favoriser le processus d'invasion des tissus ;
- Un rôle de camouflage, qui est lié à l'existence de similitude entre certains composés de la capsule et ceux de l'hôte. *Escherichia coli* n'est alors plus reconnu comme étranger par l'hôte ; Il est maintenant établi que le pouvoir pathogène d'une souche d'*Escherichia coli* dépend en partie de sa structure antigénique (SECK, 2005).

I-4-4-Génome d'*E. coli* :

Le génome d'*E. coli* a été l'un des premiers séquencés parmi les bactéries. Le premier génome séquencé provenait de la souche K-12. Il est long environ 4,6 Mb et contient 4405 gènes (CARROLL et al, 2010).

Dans la figure ci-dessous, représente le chromosome circulaire d'*E. coli* qui est divisé à 100 unités de la carte à partir de zéro à thrABC, les unités sont numérotées dans le sens horaire de 0 à 100 (CLARK et PAZDERNIK, 2013).

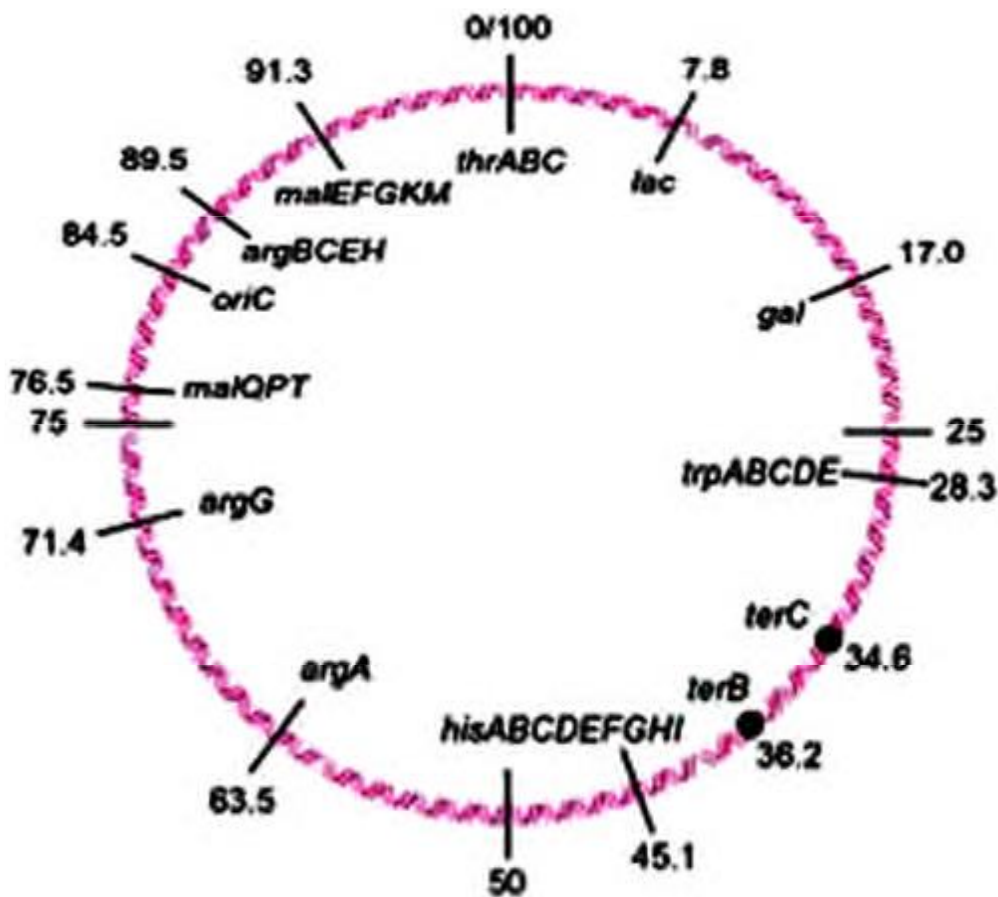



Figure N°2 : Le chromosome d'*E. coli*(CLARK et PAZDERNIK, 2013).

Différents gènes sont indiqués avec des numéros correspondant à leur position sur la carte, l'origine de réplication [ARIC] et la terminaison de réplication [ter] sont également indiquées. Il faut noter que la réplication du chromosome ne commence pas à l'unité zéro de la carte, le zéro est une désignation arbitraire (CLARK et PAZDERNIK, 2013). Le chromosome d'*E. coli* déroulé est un filament long d'environ 1,36 mm et extrêmement fin de 2 nm, ors il est contenu dans une cellule 500 fois plus petite (MICHEL-BRIAND, 2009).

La petite taille du génome d'*Escherichia coli* est propice à l'analyse génétique (COOPER, 1999), presque la moitié de tous les nombres de fonctions de gène d'*E. coli* ont été déterminées (RAO, 2010). En présence d'une alimentation adéquate, une population d'*E. coli* peut doubler en 20 minutes (JOHNSON et al, 2011).

Chapitre II



**Méthode de
décontamination
thermique**

II -Méthodes de décontamination thermique :

Le traitement thermique est aujourd'hui la technique de décontamination la plus communément utilisée en industrie agroalimentaire (FARKAS, 2007). En termes de sécurité alimentaire, il a pour objectif de détruire ou d'inhiber totalement, d'une part les enzymes, et d'autre part les microorganismes et leurs toxines, dont la présence ou la prolifération pourrait altérer la denrée considérée ou la rendre impropre à l'alimentation humaine (DECRET N°55-241, 1955). Les premiers procédés industriels de traitement thermique datent de 1809, avec Nicolas Appert (1749-1841).

Ce dernier a mis au point une méthode de conservation des aliments en les traitant par la chaleur dans des bouteilles en verre hermétiquement scellées (APPERT, 1810; GAILLARD, 2003). Mais ses travaux ne se limitent pas à la conservation; il découvre le procédé de chauffage du lait à une température proche de 70°C permettant une conservation limitée dans le temps, qu'il applique également au vin et à la bière, procédé dit maintenant « pasteurisation ». Soixante ans plus tard, Pasteur (1822-1895) expliquera scientifiquement le processus et reconnaîtra en Appert un précurseur. Par la suite, il mettra au point la méthode permettant de réduire le niveau de contamination d'un milieu grâce à un chauffage de quelques minutes entre 55°C et 60°C en l'absence d'air.

Depuis cette époque de nombreuses études ont été menées sur le traitement thermique, dans le but d'optimiser les procédés pour allier le mieux possible sécurité et conservation des aliments. De nos jours, on utilise plusieurs procédés, selon le couple temps/température appliqué. La pasteurisation nécessite un chauffage généralement inférieur à 100°C et la stérilisation, un couplage temps/température plus élevé.

II-1-pasteurisation :

La pasteurisation est un traitement thermique modéré permettant la destruction des microorganismes pathogènes et d'un grand nombre de microorganismes d'altération. La température du traitement est généralement inférieure à 100°C et la durée, de quelques secondes à quelques minutes. Ce traitement thermique doit être suivi d'un brusque refroidissement afin de ralentir le développement des germes encore présents. Les aliments pasteurisés sont ainsi habituellement conservés au froid. En dehors de la réfrigération, d'autres moyens de conservation peuvent être utilisés parallèlement pour contrer le développement des microorganismes survivants: ajout d'agents chimiques de conservation, emballage sous vide, réduction de l'activité de l'eau (aw),... La pasteurisation reste néanmoins inefficace pour détruire les spores bactériennes, beaucoup plus résistantes à la chaleur que les cellules végétatives (LEYRAL& VIERLING, 2007).

II-2- la stérilisation :

La stérilisation est un traitement thermique qui a pour finalité de détruire toute forme microbienne vivante. Le traitement à ultra haute température (UHT) consiste à chauffer le produit à une température assez élevée, entre 135°C et 150°C, pendant un temps très court, de 1 à 5 secondes. Le produit stérilisé est ensuite refroidi puis conditionné aseptiquement. Ce procédé est utilisé par exemple pour la stérilisation des produits liquides (lait, jus de fruits...) ou de consistance plus épaisse (desserts lactés, crèmes, jus de tomate, soupes...).

L'appertisation (APPERT, 1810) consiste à stériliser par la chaleur des denrées périssables dans des contenants hermétiques (boîtes métalliques, bocaux). Sont considérées comme conserves les denrées alimentaires, d'origine animale ou végétale périssables, dont la conservation est assurée par un procédé associant le conditionnement dans un récipient étanche à l'eau, aux gaz et aux microorganismes, à toute température inférieure à 55°C et un traitement par la chaleur (DECRET N°55-241, 1955). L'appertisation est largement utilisée aujourd'hui pour la conservation à long terme des denrées alimentaires pouvant aller de plusieurs mois à quelques années.

II-3- La tyndallisation :**II- 3-1-définition :**

La tyndallisation est un procédé de stérilisation modérée qui permet d'éliminer du milieu les formes de résistance des bactéries que sont les spores très pratiqué au début du xxe siècle. Elle tire son nom du scientifique irlandais John Tyndall et est encore pratiquée, souvent sous le nom de « traitements thermiques à basses températures »(MANE DIOUF. F. (1995)

II-3-2- Principes et procédé :

Un chauffage classique n'élimine pas les spores les plus capables de résister à des températures élevées. Afin d'éliminer les formes végétatives (bactéries) et les formes de résistance (spores), il faut donc soumettre le milieu à un chauffage discontinu à basse température : on ne chauffe que quelques minutes (environ une trentaine) toutes les 24 heures, en ne dépassant pas les 60 °C. Le chauffage suffit à éliminer les formes végétatives, et provoque un choc thermique, qui est un facteur déclenchant pour qu'une forme de résistance entre en germination, et donne ainsi des formes végétatives. Les intervalles laissés entre les chauffages permettent donc aux spores de donner des bactéries, qui sont éliminées lors de l'augmentation de température. De cette façon, on élimine progressivement toutes les spores du milieu, ce qui contribue à le stériliser ;la tyndallisation est utilisée, éventuellement sous haute-pression(HERDEGEN, V., & VOGEL, R. F. 1998).

Chapitre III



**Généralités sur les
microondes**

III -Généralités sur les microondes et leurs effets biologiques :

III-1-Historique de découverte des microondes :

L'existence des ondes électromagnétiques telles que les microondes a été prédite par James. C. Maxwell en 1884 (les fameuses équations de Maxwell) et mises en évidence expérimentalement par Heinrich. C. Hertz qui produisit ainsi les premières ondes radio (FONTAINE, 2011).

III-2-Bandes de fréquences et applications :

Les microondes sont obtenues par conversion d'énergie électrique en ondes électromagnétiques (VIERLING, 2008). Elles sont des radiations électromagnétiques ayant une fréquence allant de 300 MHz à 300 GHz (VINCENT et *al*, 2000). Une onde électromagnétique est la combinaison d'un champ électrique E (V/m) et d'un champ magnétique H (A/m), perpendiculaire à E. Les amplitudes des deux champs ont au cours du temps une variation sinusoïdale, de même fréquence et de phase et E et H forment une onde plane (Fig.3). Les principales caractéristiques d'une onde électromagnétique sont : sa fréquence f (Hz ou s^{-1}), sa période $T = 1/f$ (s) et sa longueur d'onde dans le vide $\lambda = cT = c/f$ qui est la distance de propagation durant une période, exprimée en mètre (m) (PERRIN et SOUQUES, 2010). La longueur d'onde est inversement proportionnelle par rapport à la fréquence. La longueur d'onde diminue, la fréquence augmente (SOFFRITTI, 2010).

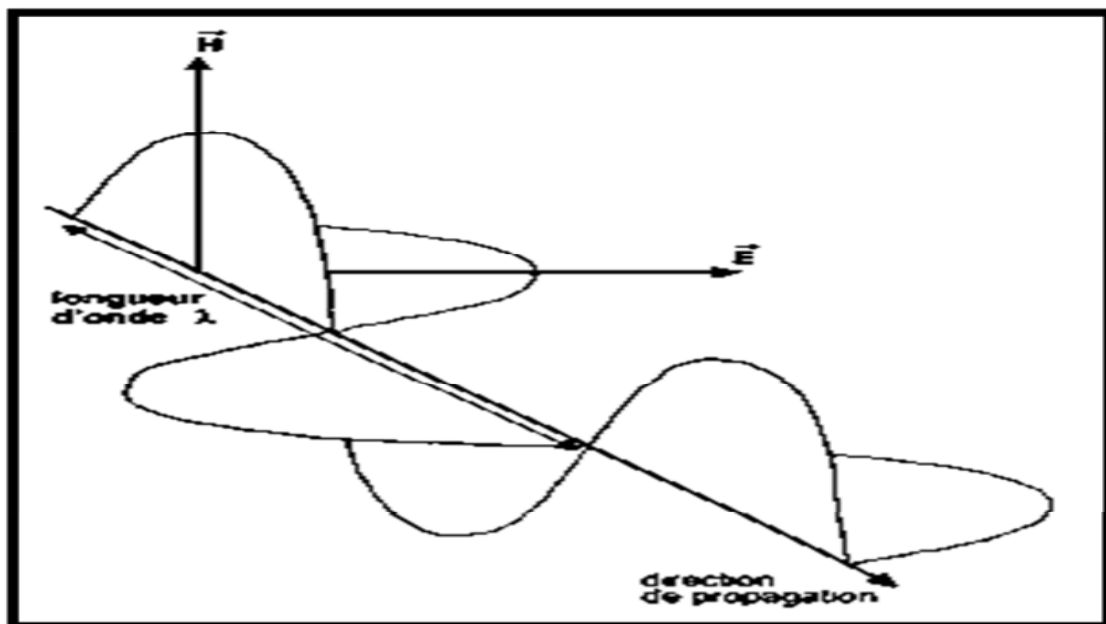


Figure N°3 : Représentation schématique d'une onde électromagnétique (PERRIN et SOUQUES, 2010).

La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques étant pratiquement égale à la vitesse de la lumière (3×10^8 m.s⁻¹), la longueur d'onde des radiations microondes se situe donc entre 0.1 et 30 cm (VINCENT *et al.*, 2000).

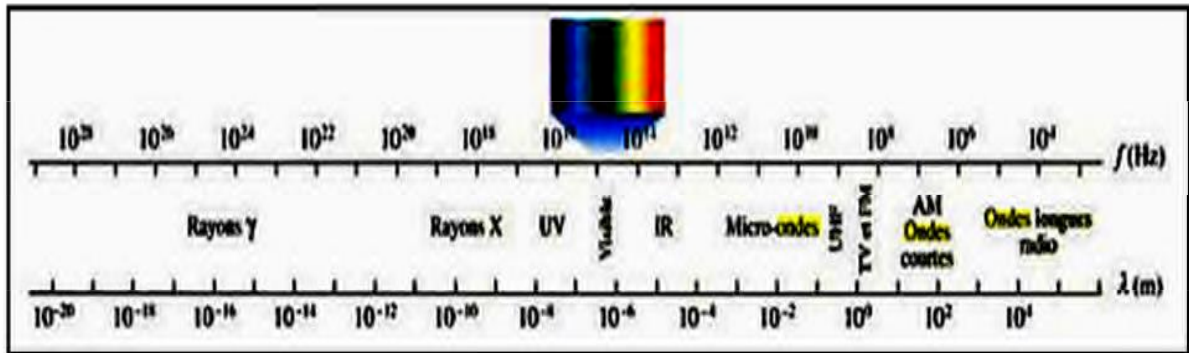


Figure N°4 : Les microondes dans le spectre électromagnétique (BENSON, 2009).

Comme l'indique la figure N°4, le spectre électromagnétique est subdivisé en différentes régions. Bien que la figure N°4 semble définir chacune de ces régions comme un intervalle de fréquence précis, les limites entre les régions sont moins étanches. Par exemple une même onde pourra être qualifiée de <<rayonnement ultraviolet>> ou de <<rayon X>> selon le contexte expérimental, soit la façon dont elle a été *produite* ou *absorbée* (détectée) (BENSON, 2009).

Les microondes ont de nombreuses applications, par exemple le téléphone portable, le radar, le four à micro-ondes et le satellite (HEISTERCAMP, 2002)

Tableau N°3 : Microondes, caractéristiques et principales applications (PERRIN et SOUQUES, 2010).

Désignation	Fréquence	Longueur d'onde	Applications
UHF	0,3-3 GHz	1-0,1 m	Télévisions, radars, téléphones mobiles, fours à microondes, fours à microondes, hyperthermie médicale
SHF	3-30 GHz	0,1-0,01 m	Radars, alarmes anti-intrusion.....
EHF	30-300 GHz	0,01-0,001 m	Radars, communications par satellites, scanner corporel....

UHF :Fréquences UltraHautes, **SHF :**Fréquences SuperHautes, **EHF :**Fréquences ExtrêmementHautes.

III-3-Produire des microondes :

Dans les fours à microondes, le rayonnement a une fréquence voisine de 2450 MHz (MEYER *et al*, 2004). On peut produire des microondes allant jusqu'à une fréquence de 30 GHz ($\lambda=1\text{cm}$), en faisant osciller des électrons dans un dispositif appelé, le klystron (BENSON, 2009).

Le klystron est en réalité un énorme tube à vide linéaire entouré de cavités résonantes. Les électrons sont produits par un filament chauffé, et sont accélérés dans une section contenant deux grilles. Ces deux grilles sont liées à une source de tension alternative, qui rend possible une alternance de la charge : lorsqu'une grille est positive, l'autre devient négative. L'électron sera dès lors soit accéléré par une grille positive, soit décéléré si la grille est négative. On obtient donc un nuage électronique plus « dense » localement. En Allemand, on parle de mouvement « *klystern* » (HEISTERCAMP, 2002).

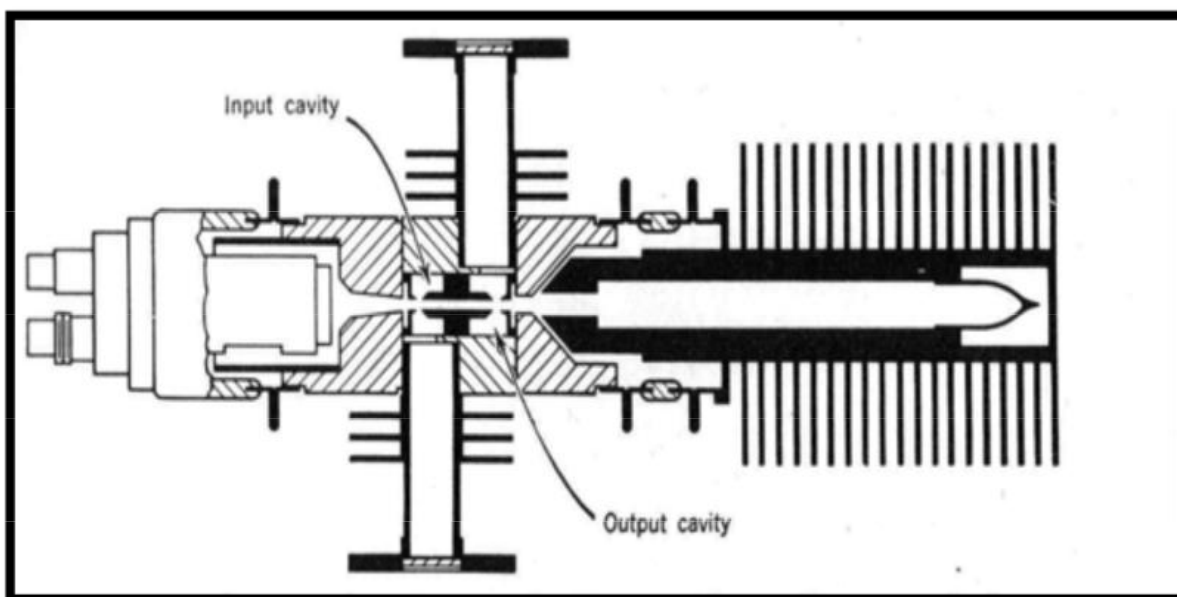


Figure N°5 : Klystron à deux cavités utilisé dans les années (HEISTERCAMP, 2002).

Après avoir été modulé, le flot d'électrons passe dans la section centrale, qui contient des cavités résonantes, puis est collecté sur une électrode séparée. Une *cavité résonante (resonant cavity)* est un dispositif à l'intérieur duquel de l'énergie électromagnétique peut être stockée sous forme d'ondes stationnaires. On crée un champ radiofréquence dans la première cavité, ce qui va influencer le flux d'électrons. Chaque cavité peut en effet se voir comme le système à deux grilles dont nous avons parlé. Dès lors, le champ va moduler le flux électronique par son alternance, et un champ amplifié sera créé dans la cavité suivante, calibrée afin d'obtenir cet effet. La modulation du courant électronique se traduit par le découpage du faisceau en paquets d'électrons qui, en traversant une seconde cavité, y induisent un courant (HEISTERCAMP, 2002).

III-4-La microonde est une technologie de décontamination :

La technologie micro-onde a vu le jour avec la conception du radar vers 1930, puis s'est largement développée dans de nombreux domaines, dont celui de la décontamination. Les principaux avantages de cette technologie sont sa rapidité et l'apport d'énergie calorifique directement dans la masse du produit à traiter (ROUGIER, 2003). Par exemple, KOZEMPEL et ses collaborateurs (1998) ont décrit un procédé de traitement de différents liquides alimentaires tels que l'eau, des oeufs liquides, de la bière, du jus de pomme et du jus de tomate. Les résultats de cette étude montrent une bonne efficacité des micro-ondes appliquées dans ces conditions faiblement thermiques (environ 40°C) avec un abattement de la charge microbienne compris entre 0,1 et 4,6 unités log selon le produit traité. ALMAJHDI et al (2009), ont montré également l'efficacité de cette technologie pour la décontamination des bactéries pathogènes dans l'eau.

La technologie microonde est efficace également pour réduire le nombre de bactéries pathogènes telles que *Escherichia coli* O157 : H7 contenues dans des aliments solides tels que la viande de boeuf (JAMSHIDI et al, 2010), et les filets de poisson (SHEEN et al, 2012).

Partie Expérimentale

Chapitre I



Matériel et
méthodes

Objectif :

L'étude a portée sur une comparaison entre l'impact thermique et l'impact des microondes sur la survie d'*Escherichia coli* ATCC 25922, en mettant en évidence l'effet thermique et l'effet des microondes sur la survie d'*Escherichia coli* ATCC 25922 avec les variantes : (°C/temps) et (puissance/temps) respectivement

Lieux du travail :

La partie expérimentale a été réalisée au laboratoire de microbiologie du département de biologie dépendant de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université « Amar Telidji » de Laghouat

I-1-Matériel biologique:

La souche bactérienne utilisée est *Escherichia coli* ATCC 25922 (ATCC : American Type Culture Collection, 10801 University Boulevard, Manassas, VA 20110 2209, USA), disponible dans le laboratoire.

I-2-Méthodes :**I -2-1-Traitement thermique :****I-2-1-1-Préparation de préculture d'*E. coli* ATCC 25922 :**

On a inoculé la souche *Escherichia coli* ATCC 25922 dans 6 tubes à vis contenant 10 mL de bouillon nutritif, l'incubation a été faite à 37 °C pendant 24 h.

Après l'incubation on doit avoir une DO de 0.6 pour 625 nm ou 5 mcFarland, pour ajuster l'inoculum à 10⁹ufc/ml. Cette préculture va servir à ensemercer deux échantillons de lait stérile (lait entier et lait écrémé)

Ensuite on met les tubes dans le bain marie à 80 C° et à 100 C° pendant différents temps ensuite on refroidit les tubes ;on prélève un volume de 1ml de chaque tubes et on fait la dilution décimale pour le dénombrement.

I-2-1-2-Dénombrement :

On prélève un volume précis de 1ml de première dilution à l'aide d'une micropipette, on le dépose au centre de la boîte de pétri, on étale à l'aide d'une pipette pasteur (ensemencement par étalement) et on coule gélosé PCA (plate count agar). Après incubation à 37°C pendant 24h on fait le dénombrement.

I-2-2-Traitement aux microondes :**I-2-2-1- Dilution :**

On prépare les tubes à vice stériles, on coule 9 ml d'eau physiologique dans chacun des tubes. On prend notre boîte incubée, on prélève une colonie, on la dépose dans le premier tube qui va être la solution mère, on l'agite par le vortex pour homogénéiser la solution.

On doit avoir une DO de 0,08 à 0,10 pour 625 nm en utilisant le spectrophotométrie, pour cette raison on doit ajuster l'inoculum soit en ajoutant des colonies s'il est trop faible ou de l'eau physiologique stérile, s'il est trop fort. Dans notre cas nous avons incubés les tubes pendant 30 min et 60 min pour avoir une DO de 0,1.

I-2-2-2- Exposition aux micro-ondes :

On met les boîtes dans le four à micro-ondes dans des puissances et des intervalles de temps différents (les puissances et les intervalles de temps utilisées sont mentionnées dans la partie résultats et discussion).



Figure N°6: Photo de four à micro-ondes.

I-2-2-4-Protocole expérimentale du traitement aux microondes :

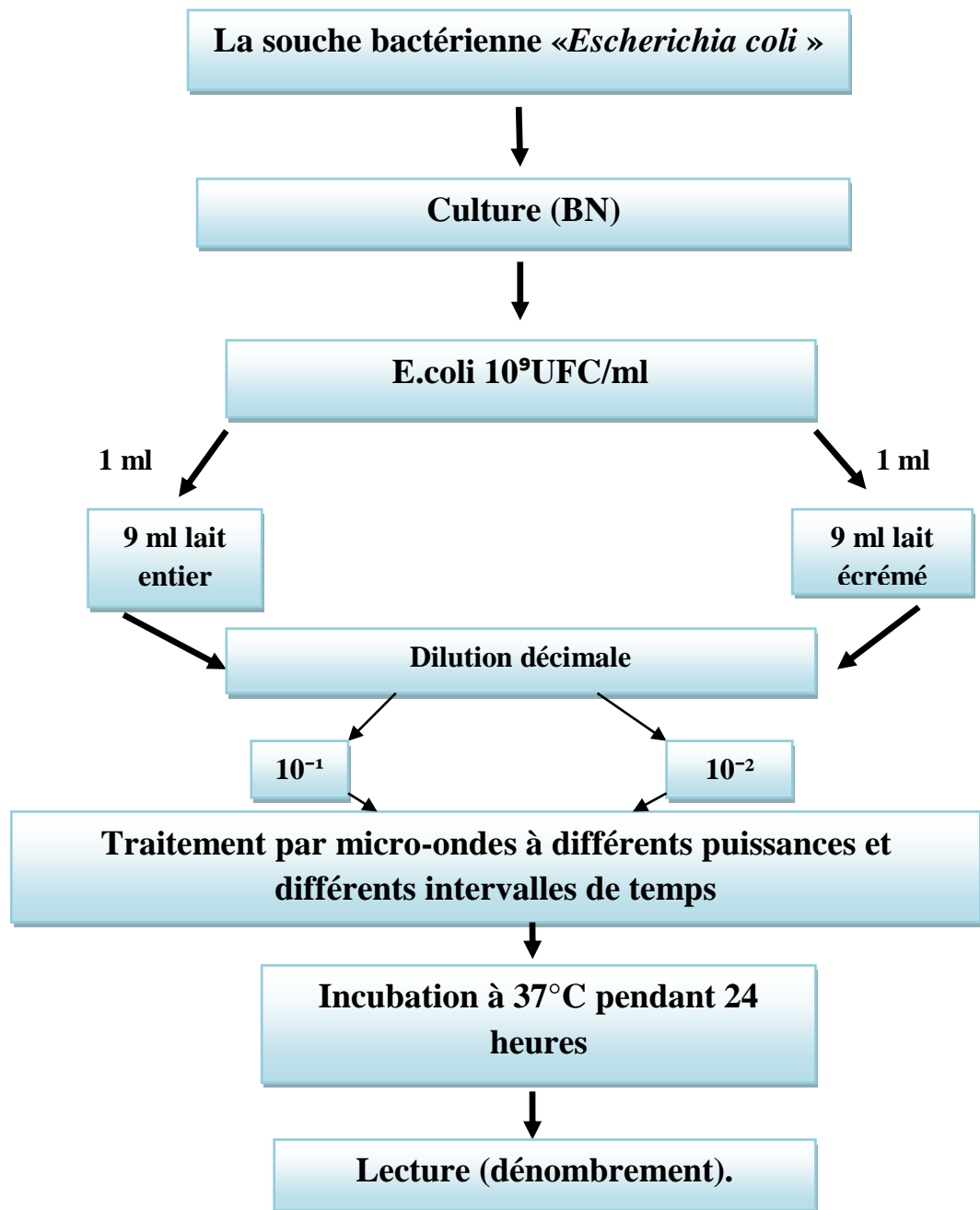


Figure N°7 :schéma représent un protocole expérimentale de traitement par microondes.

Chapitre II

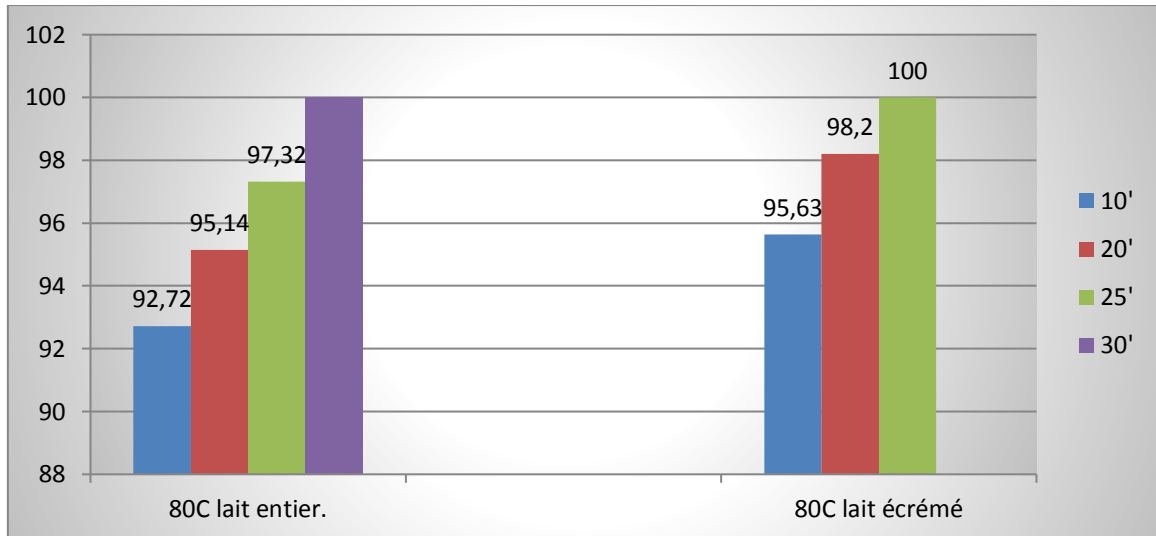


Résultats

II- Résultats :

II-1-Résultat de l'impact thermique :

Escherichia coli est un germe souvent associé à la qualité hygiénique du lait et est retrouvé comme un indicateur de contamination fécale.



- **Figure N°8** :Représentation graphique des résultats en pourcentages d'inhibitionde la souche *Escherichia coli* après l'exposition à la température 80° C à 10 et 20 minutes.

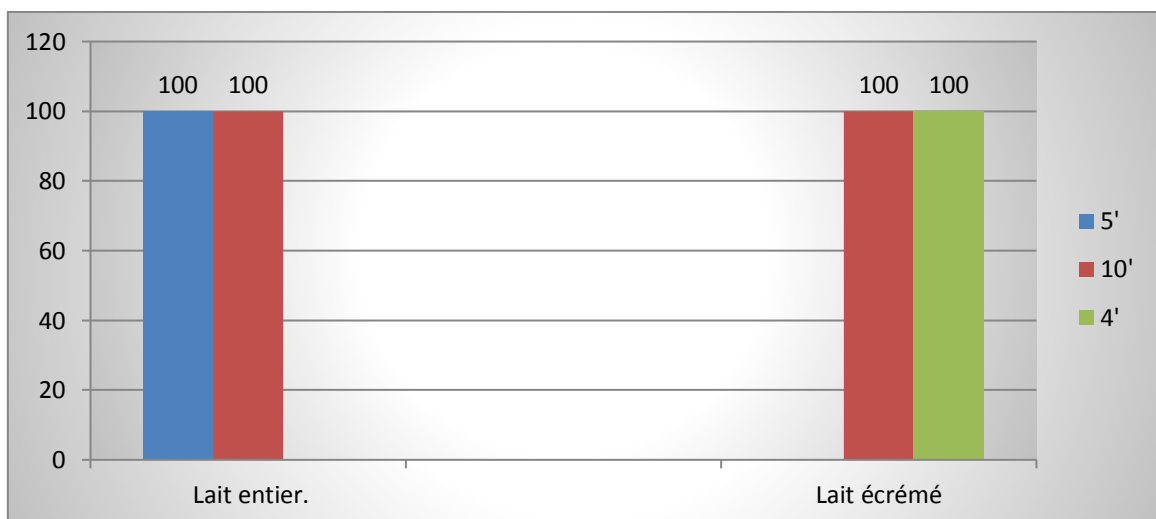


Figure N°9 -Représentation graphique des résultats en pourcentages d'inhibitionde la souche *Escherichia coli* après l'exposition à la température 100° C à 5et10 minutes.

On remarque pour la souche bactérienne *Escherichia coli* est sensible à la température au delà de 80°C ou le taux d'inhibition dépasse 95% à 10 et 20 minutes et le taux d'inhibition est maximale 100% à 100°C à 4 et 10 minutes.

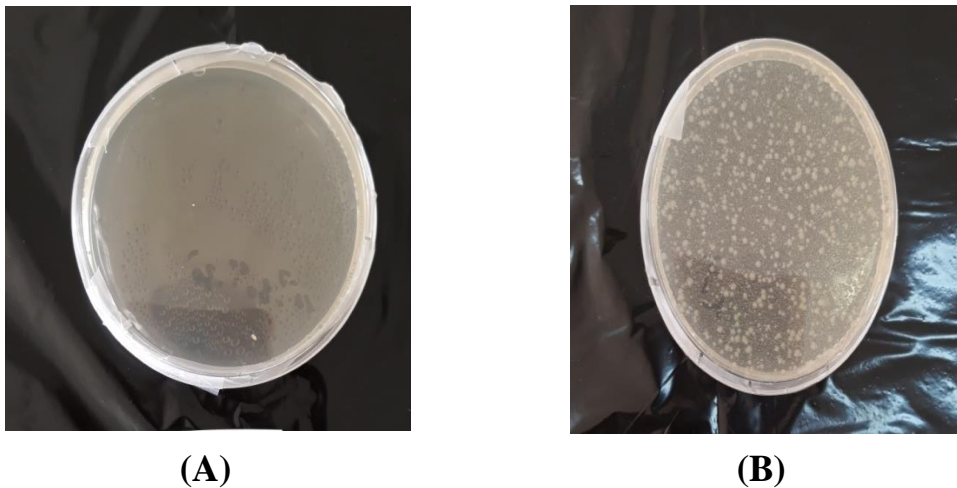


Figure N°10 : Résultats de la souche *Escherichia coli* (A) témoin (B) après l'exposition à la température 100°C à 4 minutes.

II-2-résultat de l'exposition aux microondes :

L'exposition aux micro-ondes de souches d'*E.coli* à différentes puissances pendant différents intervalles de temps nous permet d'avoir les résultats suivants :

II-2-1- Exposition d'*E.coli* à puissance faible de micro-ondes (100 W):

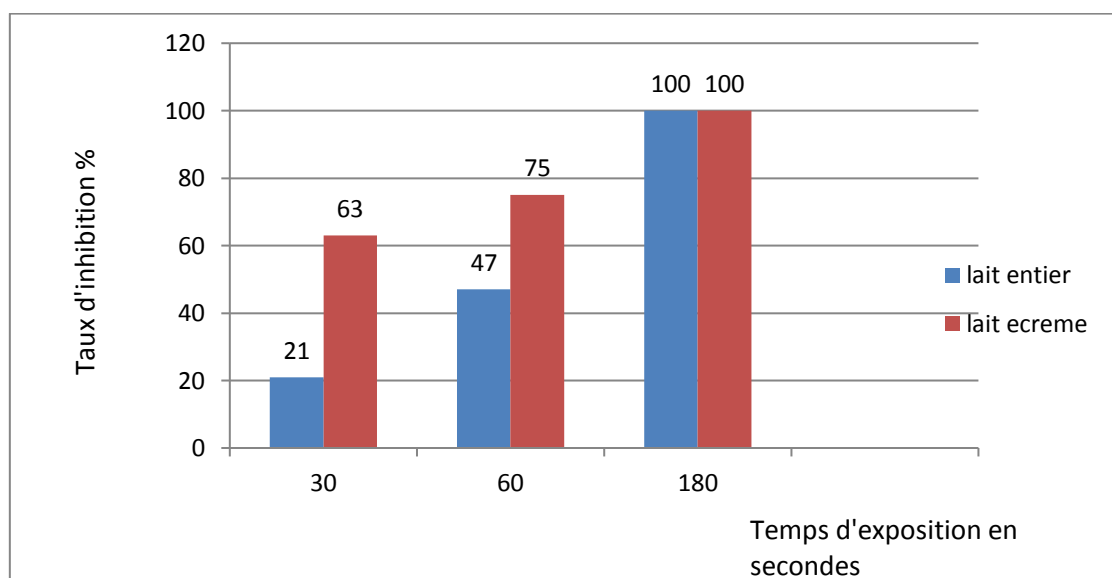


Figure N°11 : Représentation graphique de résultats d'exposition d'*E.coli* à 100 W de micro-ondes.

II-2-2- Exposition d'E.coli à puissance moyenne de micro-ondes (250 W):

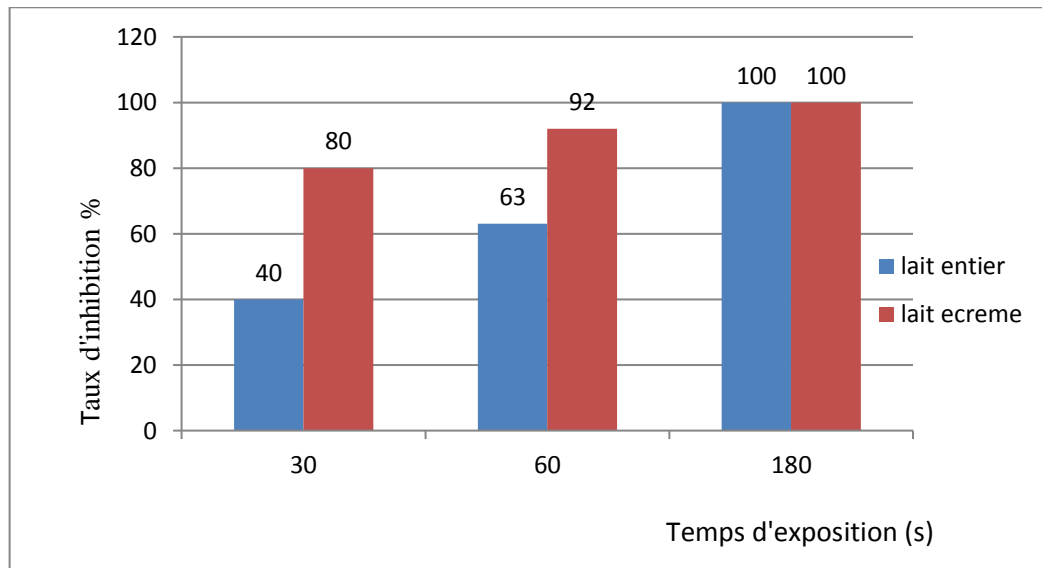


Figure N°12 :Représentation graphique de résultats d'exposition d'E.coli à 250 W de micro-ondes.

II-2-3- Exposition d'E.coli à puissance fort de micro-ondes (300W et 700W):

L'exposition de boites d'E.coli aux micro-ondes de 300W et 700W de puissance pendant 30s, 60s et 180s permet d'observer un taux d'ihnibition de 100%.

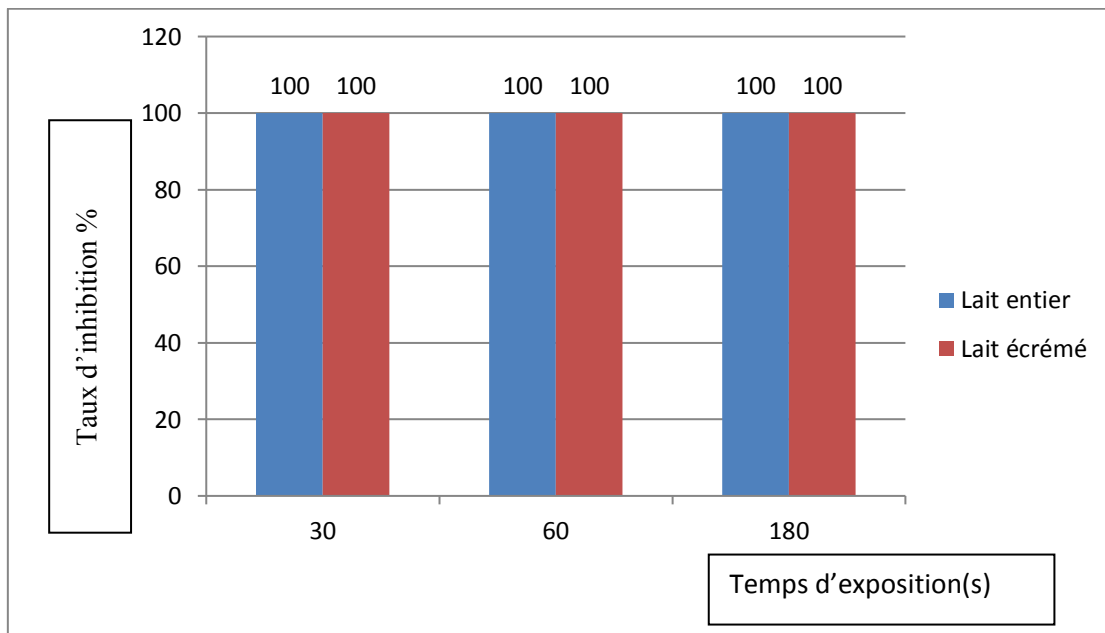


Figure N°13 :Représentation graphique de résultats d'exposition d'E.coli à (300w_700w) de micro-ondes.

Chapitre III



Discussion

III- Discussion :

Les résultats du traitement thermique à la température de 80 C⁰ indiquent que la souche bactérienne testée *Escherichia coli* est sensible à des taux d'inhibitions de 92,72% à 100% dans le lait entier par contre les valeurs d'inhibition vont de 95.63% à 100% pour le lait écrémé, avec des temps d'expositions allant de 25 à 30 minutes pour le lait écrémé et entier respectivement. Pour la température de 100C⁰ les résultats obtenus indiquent que *Escherichia coli* est sensible à la température à des taux d'inhibitions de 100% pour les deux types de lait entier et écrémé mais c'est le temps d'exposition qui varie il est de 5 minutes pour le lait entier et de 4 minutes pour le lait écrémé.

La différence des temps d'inhibitions totales de la croissance d'*Escherichia coli* entre le lait écrémé et le lait entier s'explique par la présence de la matière grasse dans le lait entier ce qui diminue le temps du transfert de chaleur dans le lait entier

D'une façon générale, la stabilité thermique des ribosomes correspond à la température maximale de croissance d'un microorganisme. Les membranes cytoplasmiques semblent être les sites majeurs de dommages causés par la chaleur humide. Les microorganismes y sont plus sensibles qu'à la chaleur sèche, du fait la forte influence de l'activité de l'eau (Lund et al., 2000).

Dans les premiers cas d'exposition aux micro-ondes de 100 W de puissance on remarque que qu'à 3 min d'exposition on a 100% d'inhibition dans les deux milieux, lait entier et lait écrémé, dans le cas d'exposition aux micro-ondes de 250 W de puissance on remarque le même résultat, et finalement pour le cas d'exposition aux microondes de 300 W et 800 W on remarque une inhibition totale à 30 secondes.

Le facteur de temps d'exposition aux micro-ondes ne joue pas un rôle important dans la mort d'*Escherichia coli*, c'est la puissance des microondes qui est importante.

Finalement, on dit que l'effet de microonde sur la souche d' *E.coli* est très important par rapport à l'effet de la chaleur.

Conclusion

CONCLUSION

Dans un contexte global desécuritéalimentaire, associé à une recherche de nouveaux procédés d'amélioration de la qualité et du prolongement de la fraîcheur des aliments.

La désinfection par l'exposition aux microondes est unedes méthodes athermiques récentes pour la décontamination des aliments.

Le présenttravail a pour but de comparer l'impact thermique et l'impactdes microondes sur la survied'*Escherichia coli*.

A travers cette étude comparativeon a remarqué que le traitement aux microondes présente un délai d'exposition a la chaleur plus court que le traitement thermique par chaleur humide avec un résultat équivalent c'est-à-dire 100% de taux d'inhibition.

Enfin, on peut dire que : l'action bactéricide des microondes sur *Escherichia coli* est très important par apport à la chaleur, donc les microondes est l'une des les plus efficaces dans la décontamination.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ARI R. et SEZONOV G., 2008** : Les organismes modèles : Biologie et génétique d'*Escherichia coli*. Editions Belin, France. 368 Pages.
- ALMAJHDI F N., ALBRITHEN H., ALHADLAQ H., FARRAG M A., et ABDELMEGEEDA., 2009** : Microorganisms Inactivation by Microwaves Irradiation in Riyadh Sewage Treatment Water Plant. World Applied Sciences Journal 6 (5) : 600-607.
- APPERT, N. (1810)**. L'Art de conserver pendant plusieurs années, toutes les substances animales et végétales. Paris.
- ARCHAMBAUD M., CLAVE D., GROSJEAN J., et PASQUIER C., 2009** : Bactériologie et virologie pratique. Edition : De Boeck, Bruxelles. 288 pages.
- BALVAY G G., DRUART J C. et JACQUET S., 2012** : Le lac du Bourget : Ses eaux et sa biologie. Edition : Quæ.
- BELYAEV Ya. et GRIGORIEV Yu., 2007** : Problèmes dans l'évaluation des risques par rapport aux expositions aux micro-ondes des communications mobiles. Tome 47, N° 6. Noyabr'-Dekabr ' 2007, S. 727-732.
- BENSON H., 2009** : Physique: 3. Ondes, optique et physique moderne. Edition 4 : De Boeck. 525 pages.
- BENSON H., 2009** : Physique III - Ondes optiques. Edition 4 : De Boeck, Bruxelles. 544p.
- BREMAUD C., THIBAUT J. et ULRICH E., 2012** : Environnement, alimentation, santé. Edition : Educagri, Dijon. 208 pages.
- BRIANDET R., FECHNER L. et NAITALI M., 2012** : Biofilms, quand les microbes s'organisent. Edition : QUÆ. Page : 96.
- BRINON C., 2007** : Influence des micro-ondes sur la charge en germes des mets dans les ménages et dans la restauration. Diplôme. Université des sciences appliquées, Suisse occidentale. 49 pages.
- BROWN A., 2010** : Understanding Food: Principles and Preparation. Edition : Cengage Learning, Amérique. P 70.
- CARROLL S B., GRIFFITHS A J f. et LEWONTIN R C., 2010** : Introduction à l'analyse génétique. Edition 5: De Boeck s.a., Bruxelles. 837 pages.
- CLARK D P. et PAZDERNIK N J., 2013** : Molecular Biology: Understanding the Genetic Revolution. Edition 2 : Elsevier Inc. 907 pages.
- CLICHE A., 2012** : La grande unification en Science. Première édition.
- COLLIN A, 2007** : Dosimétrie de systèmes d'exposition pour l'étude in vivo ou in vitro des interactions des ondes électromagnétiques décimétriques et centimétriques avec le vivant.

Références bibliographiques

Thèse de doctorat en électronique. Univ. De Limoges.

COOPER G M., 1999 : La cellule: Une approche moléculaire. Edition : De Boeck, Bruxelles. 679 pages.

Décret n°55-241 (1955).Décret pris pour l'application en ce qui concerne le commerce des conserves et semi-conserves alimentaires de la loi du 1er août 1905 modifiée et complétée sur la répression des fraudes: Version consolidée au 03 avril 1997

DI LORENZO N., 2008 :Modifications of the Rumen Microbial Environment to Improve Cattle Production Efficiency.Edition : UMI or Pro Quest LLC. Page 1.

ENGELKIRK P G. et DUBEN-ENGELKIRK J L., 2008 :Laboratory Diagnosis of Infectious Diseases: Essentials of Diagnostic Microbiology. Edition : Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia. 759 pages.

ESCHERICH T., 1885 : Die Darmbakterien des NeugeborenenundSauglings. Fortschr Med. 3 : 5-15-522, 47-54.

FONTAINE B., 2011 : Les armes à énergie dirigée mythe ou réalité?. Edition : L'harmattan, Paris. 408 pages.

GARRETT R. et GRISHAM C M., 2010 : Biochemistry. Edition 4 : BROOKS/COLE : CENGAGE Learning.

GOODSELL D., 2010 : La Machinerie de la vie. Edition : EDP Sciences, Italie.

GORGUN S S., 1998 :Studies on the Interaction Between Electromagnetic Fields and Living Matter Neoplastic Cellular Culture. Volume: 7. N° 2.

GRIFFITHS J F.,LEWONTIN., WESSLER., GELBART.,SUZUKI. et MILLER., 2006 : Introduction à l'analyse génétique. Edition 4 : DE BOECK. 782 pages.

GUIRAUD J P., 2003 : Microbiologie alimentaire. Edition : Dunod, Paris, France.

HARLEY J P., KLEIN D A. et PRESCOTT L M., 2010 : Microbiologie. Edition 3 : De Boeck, Bruxelles. 1086 pages.

HEISTERCAMP M., MAES R., MEHAUDENS L. et SEVERINE R., 2002 : L'Energie Sous Toutes Ses Formes : Les Micro-ondes. Edition : Printemps des Sciences de Bruxelles.

HERDEGEN, V., & VOGEL, R. F. (1998):Strategies for High Pressure Inactivation of Endospore-forming. High Pressure Food Science, Bioscience and Chemistry, (222), 394.

JAMSHIDI A., SEIFI H A., et KOOSHAN M., 2010 :The effect of short-time microwave exposures on *Escherichia coli* O157:H7 inoculated onto beef slices. African Journal of Microbiology Research Vol. 4 (22), pp. 2371-2374.

JENG D.K., KACZMAREK K.A., WOODWORTH A G. et BALASKY G., 1987. In

Références bibliographiques

ROUGIER C., 2003 : Etude des interactions entre la bactérie *Escherichia coli* et les microondes appliquées en mode discontinu dans des conditions faiblement thermiques. Thèse de Doctorat. Univ. Limoges. 174 pages.

JOHNSON G B., LOSOS J B. et RAVEN P H., 2011 : Biologie. La 9^{ème} Edition américaine du Raven.

KOZEMPEL M F., ANNOUS B A., COOK RD., SCULLEN O J., WHITING R C., 1998 : Inactivation of microorganisms with microwaves at reduced temperatures.

In ROUGIER C., 2003 : Etude des interactions entre la bactérie *Escherichia coli* et les microondes appliquées en mode discontinu dans des conditions faiblement thermiques. Thèse de Doctorat. Univ. Limoges. 174 pages.

LEYRAL G., VIERLING É., 2007 : Microbiologie et toxicologie des aliments: Hygiène et sécurité alimentaires. Edition 4 : Doin, Wolters, Kluwer, France. 289 pages.

Lund et al., 2000 : the microbiological safety and quality of food. *J. Food Prot.* 54 :762-766

MANE DIOUF F. (1995): Étude du comportement des spores de *Clostridium perfringens* lors de traitements thermiques à basses températures (Doctoral dissertation).

MANNING S D., 2011 : *Escherichia Coli* (Infections). Edition : House Publishers.

MEYER A., DEIANA J. et BERNARD A., 2004 : Cours de microbiologie générale: avec problèmes et exercices corrigés. Edition 2: Doin, France. 437 pages.

MICHEL-BRIAND Y., 2009 : Une histoire de la résistance aux antibiotiques. Edition : l'Harmattan, Paris, France.

PERRIN A. et SOUQUES M., 2010 : Champs électromagnétiques, environnement et santé. Edition : Springer-Verlag, Paris, France. 186 pages.

PERRY J J., STALEY J T., LORY S., 2004 : MICROBIOLOGIE (Cours et questions de révision). Edition : Dunod, Paris, France.

PILETTE J (2007) : Antennes de téléphonie mobile, Technologies sans fil et santé. 92 pages.

PINTO R., 2009 : Conseils en Homéopathie. Edition 2 : Wolterskluwer, France. P : 96.

PRESCOTT L M., HARLEY J P. et KLEIN D A., 2003 : Microbiologie. Edition 2 : De Boeck. 1139 pages.

QUAN R., YANG C., RUBENSTEIN S., et al., 1992 : Effects of microwave radiation on anti-infective factors in human milk, *Pediatrics* 89:667.

RAHAL K., 2005 : Standardisation de l'antibiogramme en médecine humaine à l'échelle nationale. 4^{ème} édition : selon les recommandations de l'OMS. 94 pages.

Références bibliographiques

- RAMOS G C., 2010** : Effets génotoxiques des souches des *Escherichia coli* produisant la Colibactine. Thèse de Doctorat. Univ. Toulouse. 123 pages.
- RAODG, 2010** : Introduction to Biochemical Engineering. Edition 2 : Tata Mc Graw Hill, New Delhi.
- ROUGIER C., 2003** : Etude des interactions entre la bactérie *Escherichia coli* et les microondes appliquées en mode discontinu dans des conditions faiblement thermiques. Thèse de Doctorat. Univ. Limoges. 174 pages.
- SCHAECHTER M., 2009** : Encyclopedia of Microbiology. Edition 3 (volume 1) : Elsevier. Page 125.
- SCHAECHTER M., 2010** : Desk Encyclopedia of Microbiology. Edition 2 : Elsevier. Page 420.
- SCHMID R D., 2005** : Atlas de poche de biotechnologie et de génie-génétique. Edition : Médecine-Sciences (FLAMMARION), Paris, France. 335 Pages.
- SECK R., 2005** : Résistance des souches d'*Escherichia coli* et de *Klebsiellapneumoniae* isolées d'infections urinaires. Thèse de Doctorat en Pharmacie (Diplôme d'état). Univ. Cheikh Anta Diop de Dakar. 67 pages.
- SENTERRE J. et EECKELS R., 1996** : Pédiatrie. Edition : Garant. 521 pages.
- SHEEN S., HUANG L., et SOMMERS C., 2012** : Survival of *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Salmonella* spp. on catfish fillets exposed to microwave heating in a continuous mode. J Food Sci. 2012 Aug;77 (8) : E209-14. Doi : 10.1111/j.1750-3841.
- SIGMAN M, et al., 1989** : Effects of microwaving human milk: changes in IgA content and bacterial count, J Am Diet Assoc 89:690-92.
- SOFFRITTI M., 2010** : Non-thermal effects and mechanisms of interaction between electromagnetic fields and living matter. Edité par : GIULIANI L et SOFFRITTI M. Maltoni, Italy. Vol. 5. Part I : 178 Pages.
- STAPLETON G E (1955)** : Variations in the sensitivity of *Escherichia coli* to ionizing radiations during the cycle. (357-362).
- VESILIND P A., MORGAN M S., HEINE L G., 2010** : Introduction to Environmental Engineering. Edition 3 : Cengage Learning. Page 266.
- VIERLING E., 2008** : Aliments et boissons: Technologies et aspects réglementaires. Edition 3 : Doin, France. 203 pages.

Références bibliographiques

VINCENT C., PANNETON B et FLEURAT-LESSARD V., 2000 : La lutte physique en phytoprotection. Edition : INRA, Paris.

WAYLAND J R., BRANNEN J P. et MORRIS M E., 1977. In ROUGIER C., 2003 : Etude des interactions entre la bactérie *Escherichia coli* et les micro-ondes appliquées en mode discontinu dans des conditions faiblement thermiques. Univ. Limoges.174 pages.

WINN W C, KONEMAN W E, 2006 :Koneman's Color Atlas and Textbook of Diagnostic Microbiology.Edition : Lippincott Williams & Wilkins. Page 289.