

MS/534.6-22/02

Inscri...  
Date: 13 JAN. 2015  
Co... 600

République Algérienne Démocratique et Populaire



Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen

Faculté des Sciences

Département de physique

Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables

MEMOIRE

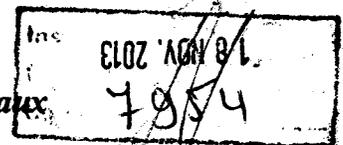
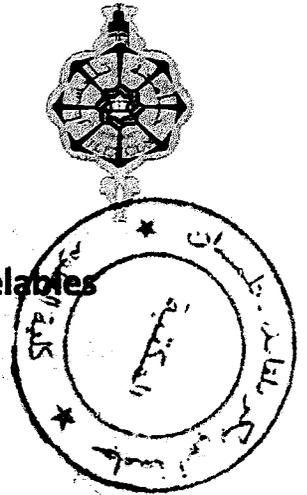
Présenté en vue de l'obtention du titre de

Master

Domaine : Sciences de la matière

Spécialité : Physique Energétique et Matériaux

Thème :



**Conception d'un Système Solaire à Concentration  
Pour la désinfection de la Bactérie de Légionelle**

Présentée par:

M<sup>lle</sup> BELABBACI Chérifa

Soutenu le 29 juin 2013 devant le Jury d'examen composé de:

- Présidente : Mme A. OULD ABBAS Professeur à l'Université de Tlemcen  
Encadreur : Mr S. AMARA Maitre de Conférences à l'Université de Tlemcen  
Examineur : Mr T. BAGHDADLI Maitre de Conférences à l'Université de Tlemcen  
Examineur : Mr L. MERAD Maitre de Conférences à l'Université de Tlemcen



## **Résumé**

La légionellose est une infection pulmonaire aiguë dont le mode de contamination résulte, de l'inhalation d'aérosols contenant de la légionelle qui est une bactérie aquatique vivante dans les réservoirs d'eau. La légionelle pneumophile représente 90% des décès causés par les maladies infectieuses. Cette bactérie présente un risque majeur pour la santé humaine. Plusieurs méthodes chimiques, physiques et thermiques sont réellement orientées vers la désinfection de cette bactérie. Dans ce travail, nous avons réalisé à l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien un nouveau système à concentration alimenté par fibre optique où les températures atteinte au foyer du concentrateur est de l'ordre de 170°C et avec un débit d'eau de 0.6l/min la température atteinte est de 70°C qui est une température idéale pour la désinfection de la légionelle en quelque secondes.

**Mots clé :** Légionelle, légionelle pneumophile, désinfection, concentrateur solaire



# Sommaire

Nomenclature	6
Introduction générale	8
<b>Chapitre I</b>	
<b>Problématique de la Légionellose</b>	
I.1 Introduction	11
I.2.Présentation clinique	11
I.2.1. La légionellose ou maladie du légionnaire	12
I-2-2 Cause de la maladie	12
I.2.3 Les différentes espèces de légionelle	14
I.2.4 Caractéristiques générales de légionelle	16
I-2.5 Mode de transmission	17
I.3 Facteurs influençant la survie de Légionelle dans l'eau	18
I.3.1 Température	18
I.3.2 Teneur en oxygène dissous	19
I.3.3 PH	19
I.3.4 Salinité	20
I.3.5 Rayonnement solaire	20
I.3.6 Présence de minéraux	20
I.4 Facteurs influençant la croissance de Légionelle dans l'eau	21
I.4.1 Les amibes	21
I.4.2 Nature des Matériaux	21
Conclusion	22



## **Chapitre II**

### **Etat de l'art sur les différentes méthodes de traitement de la bactérie de légionelle**

II.1 Introduction	24
II.2 Traitements chimiques	24
II.2.1 Chlore	24
II.2.2 Chloramines	25
II.2.3 Ionisation	26
II.2.4 Brome	27
II.2.5 Ozone	27
II.2.6 Peroxyde d'hydrogène	28
II.2.7 Les Isothiazolones	28
II.3 Traitement physiques	29
II.3.1 Ultraviolets	29
II.3.2 Ultrasons	30
II.3.3 Traitement thermique	30
II.4 Comparaison de l'efficacité de traitement de différentes méthodes de désinfection	31
II.5 Traitement médical	33
II.5.1 Symptômes de la maladie	33
II.5.2 Diagnostic de la maladie	34
II.5.3 Traitement Médical	34
II.5.4 Prévention	35
Conclusion	37

## **Chapitre III**

### **Conception d'un système solaire à concentration pour La désinfection de la bactérie de légionelle**

III-Introduction	39
III-1 Système de production et de stockage d'eau chaude sanitaire	39



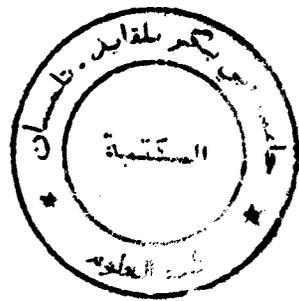
III-2 Conception du prototype concentrateur	41
<i>III-3 Conception de la cuve de stockage</i>	43
III-4 Principe de fonctionnement	44
III-5 Etude expérimentale d'un prototype du système	45
Conclusion	48
Conclusion générale	50
Bibliographie	52



## Nomenclature

<b>L. spp</b>	Toutes espèces et tous sérogroupes confondus d'un genre légionelle
<b>TARs</b>	Tour aérorefrigérante
<b>Log</b>	Logarithme décimal ou en base 10
<b>ADN</b>	Acide désoxyribonucléique
<b>PCR</b>	Polymerase chain reaction
<b>UV</b>	Ultraviolets
<b>UFC</b>	Unités formant les colonies
<b>PE</b>	Polyéthylène
<b>PEX</b>	Polyéthylène réticulé
<b>PVC</b>	Polychlorure de vinyle
<b>D</b>	Irradiation directe
<b>Te</b>	Température d'entrée du fluide
<b>Ts</b>	Température de sortie du fluide
<b>f</b>	Distance focale
<b><math>\phi</math></b>	Ouverture numérique du concentrateur ou demi-angle
<b><math>C^{\max}</math></b>	Concentration maximale
<b>C</b>	Concentration
<b><math>\theta_s</math></b>	Demi-angle effectif solaire
<b><math>d_{\max}</math></b>	Diamètre de la distance focale
<b>l</b>	Longueur de la fibre optique
<b><math>\tau</math></b>	Atténuation moyenne
<b>NA</b>	Ouverture numérique de la fibre optique

# Introduction Générale



La légionellose est une pneumonie bactérienne, due à une infection provoquée par la bactérie de légionelle qui se trouve dans l'eau [1]. Elle est connue depuis l'épidémie de 1976 qui est survenue lors du congrès des anciens combattants des Etats Unis, à Philadelphie, où plusieurs cas isolés ou groupés furent recensés dans le monde (pays bas en 1999, Morcia en 2001, Sarlat en 2002, Montpellier et Poitier en 2003 [2].

La cause cruciale n'a été identifiée que six mois plus tard environ et a reçu le nom de légionelle pneumophile. C'est par l'intermédiaire du système de climatisation concernant l'un des hôtels parmi les participants au congrès que l'infection s'était propagée.

Rétrospectivement, les légionelles furent en outre identifiées comme agents responsables d'une épidémie qui s'était déclarée en 1968 à Pontiac, (Michigan).

L'infection, qui n'avait causé aucun décès, s'était manifestée par une forte fièvre (d'où le nom de fièvre de Pontiac).L'analyse de diverses sérothèques a permis de confirmer d'autres épisodes épidémiques imputables aux légionelles, dont le plus ancien remonte à 1947 en Suisse.

Les légionelles sont des bacilles à Gram négatif, strictement aérobies, acapsulés et non sporulants. Ce sont des bactéries capables de se multiplier à l'intérieur des cellules, en particulier dans d'autres micro-organismes et dans les macrophages humains (parasites intracellulaires facultatifs).

La concentration des légionelles dans l'eau est avant tout une fonction de la température et du degré d'acidité. Ces bactéries se multiplient entre 25°C et 45°C, avec un pH neutre ou légèrement acide. Elles peuvent survivre entre 5°C et 63°C avec un pH compris entre 5,5 et 8,1 et meurt au dessus de 60 °C .Plusieurs travaux ont été faits ces dernières années sur cette bactérie dont les premières publications sur un cas de légionellose dataient de 1978 [3].

Les travaux réalisés dans ce mémoire s'inscrivent dans ce contexte particulier. C'est vers cet objectif que nous avons conçu ce mémoire, il sert d'outil analytique, permettant la désinfection de la bactérie de légionelle dans l'eau, à l'aide d'un traitement thermique.



# Chapitre I

## Problématique de la légionellose



## I.1 Introduction

La découverte des légionelles remontait au mois de juillet 1976, lorsqu'une épidémie de pneumonies aiguë a frappé un groupe d'anciens combattants des Etats-Unis (les légionnaires), réunis pour faire un congrès à Philadelphie. Sur les 4400 participants, 182 personnes étaient tombées grièvement malades et parmi eux, 29 furent décédées.

L'agent causal fut identifié six mois plus tard environ et aurait reçu le nom de Légionelle pneumophile. C'est par l'intermédiaire du système de climatisation de l'un des hôtels habités par les participants au congrès que l'infection s'était propagée.

Rétrospectivement, les légionelles furent en outre identifiées comme agents responsables d'une épidémie qui s'était déclarée en 1968 à Pontiac, (Michigan). L'infection n'a causé aucun décès, mais s'est manifestée par une forte fièvre (d'où le nom de fièvre de Pontiac), laquelle demeure accompagnée de myalgies et symptômes neurologiques. Les premiers travaux effectués sur un cas de légionellose dataient de 1978 et s'étaient déroulés en Suisse, où les premières statistiques furent publiées en 1989. D'un côté, la technologie moderne et les progrès scientifiques ont fait reculer d'une manière spectaculaire les épidémies et les grandes infections meurtrières, et de l'autre, l'homme a créé de nouvelles situations favorables au développement de nouveaux types d'infections. Tant que les légionelles sont confinées dans leur écosystème naturel, ces bactéries ne posent pas de problèmes particuliers. Mais, pour la recherche d'un meilleur confort (distribution d'eau chaude, climatisation, bains, etc.), l'homme a inconsciemment introduit de nouveaux types de niches écologiques favorables à la multiplication et à la diffusion des légionelles. Un deuxième facteur qui explique l'importance accordée aux légionelles ces dernières années réside dans le nombre croissant de sujets sensibles aux infections dites opportunistes (personnes âgées ou sous traitements) [3].

## I.2 Présentation clinique

Les bactéries du genre Légionelle sont potentiellement dangereuses pour la santé humaine avec ses différents niveaux de gravité selon les formes de la maladie : une forme bénigne appelée fièvre de Pontiac et une autre forme plus sévère correspondant à la légionellose, qui peut évoluer chez certains patients en infections extra-pulmonaires [5].



La contamination des individus se fait par inhalation d'aérosols ou de microgouttelettes d'eau contaminées, qui sont générées au niveau des points d'eau naturels, mais aussi au niveau d'installations développées par les activités humaines, telles que les tours aéroréfrigérantes, les climatiseurs, les douches, les fontaines, les spas... Il s'agit donc d'une pathologie dont l'émergence et la dissémination accrue sont liées au développement technologique humain [4].

### **I.2.1 La légionellose ou maladie du légionnaire**

La légionellose est une pneumopathie atypique aiguë, plus sévère que la fièvre de Pontiac. Le taux de mortalité oscille entre 10 et 15 %, pouvant atteindre 60 % chez les individus immunodéprimés [6]. Bien que cette maladie soit généralement localisée au niveau des poumons, il existe des formes extra-pulmonaires qui peuvent affecter de nombreux organes : le cœur, les yeux, les tissus adipeux, le système digestif, les reins et le système musculaire qui conduisent souvent à la mort du patient [7], [8], [9], [5].

Le Centre National de Référence CNR, localisé à Lyon, a mis en évidence plusieurs types de cas de légionellose : sporadiques, correspondant à des cas isolés, causés par un génotype unique ; épidémiques, correspondant à plusieurs cas causés par un génotype unique. Ces cas sont survenus dans la même zone géographique au cours d'une période de temps relativement courte et endémique, c'est-à-dire correspondant à plusieurs cas causés par un génotype unique et non reliés entre eux [4].

### **I.2.2 Cause de la maladie**

L'inhalation des petites particules d'aérosol qui contiennent la Légionelle est la théorie la plus populaire d'infection provoquée par le biais des sources d'eau.

Ces sources incluent : les tours de refroidissement de climatisation, jacuzzis et douches. Les personnes peuvent être exposées aux brumes projetées dans leurs maisons, lieux de travail, ou places publiques, hôpitaux avec une concentration de l'ordre de  $2.5 \cdot 10^3$  UFC/mL, hôtel a une concentration moyenne de  $1.9 \cdot 10^3$  UFC/L, Réseaux municipaux  $10^3$ UFC/mL, ces concentrations sont montrées dans le tableau I-1 se dessus [11]. Une nouvelle preuve montre qu'il y a une façon plus commune de contracter la maladie c'est l'aspiration [10].

Cadre	Concentrations retrouvées	Références
<b>Hôpital</b>	~ 2.5 10 <sup>3</sup> UFC/mL	[12]
		[13]
		[14]
		[15]
		[16]
<b>Hôtel</b>	Concentration moyenne de 1.9 10 <sup>3</sup> UFC/L et 19.4% des échantillons sont ≥ 10 <sup>4</sup> UFC/mL	[17]
	Qualitatif : présence de colonies ou pas (7 échantillons positifs sur 20)	[18]
	[19]	
<b>Réseaux municipaux</b>	~ 10 <sup>3</sup> UFC/mL	[20]
		[21]
		[22]
		[23]
		[24]
		[25]

**Tableau I-1:** Présence de légionelle dans les réservoirs et systèmes de distribution d'eau Potable [11].



### I.2.3 Les différentes espèces de légionelle

La famille des Legionellaceae forme un sous-groupe de la subdivision  $\gamma$  des protéobactéries et se montre en un seul genre, le genre *Légionelle* [26], [27], [28], [29].

Le nombre d'espèces de *Légionelle* isolées par culture est de l'ordre de 48 espèces constituées de 70 sérogroupes différents (Tableau I-2) [26]. *Légionelle pneumophila* est la plus fréquemment identifiée lors des épidémies de légionellose (80 à 85 % des cas). Elle comprend entre 15 et 16 différents sérogroupes selon les auteurs parmi lesquels on retrouve les sérogroupes 1 (Sg. 1) et 6 qui sont responsables de deux tiers des infections [26],[31]. Les autres espèces ne sont impliquées que dans environ 20 % des infections [32].

D'une part les espèces les plus souvent mises en cause sont *Légionelle micdadei* (la seconde cause des maladies après *Légionelle pneumophila*) [33], *Légionelle longbeachae* (la plus fréquente en Australie), *Légionelle dumoffii* (la quatrième ou cinquième espèce engendrant la légionellose) et *Légionelle bozemanii*. Ces bactéries ont été isolées principalement chez des malades immunodéprimés [34], [35].

D'autre part, de nouvelles espèces ont été mises en évidence par séquençage. Réunies sous le terme générique « uncultured Legionella » dans la base de données Genbank, on ne dispose pour ces espèces que de peu d'informations (séquence et environnement d'origine), mais elles témoignent de l'immense diversité du groupe [30].

N°	Espèce	Nbre de Sérogroupes	Nbre de Sérogroupes Associés à une pathologie
1	<i>L.Pneumophila</i>	15	15
2	<i>L.bozemanii</i>	2	2
3	<i>L.dumoffii</i>	1	1
4	<i>L.micdadei</i>	1	1
5	<i>L.longbeachae</i>	2	2
6	<i>L.jordanis</i>	1	1



---

7	<i>L.wadsworthii</i>	1	1
8	<i>L.hackeliae</i>	2	2
9	<i>L.feeleii</i>	2	2
10	<i>L.maceachernii</i>	1	1
11	<i>L.birminghamensis</i>	1	1
12	<i>L.cincinnatiensis</i>	1	1
13	<i>L.gormanii</i>	1	1
14	<i>L.sainthelensi</i>	2	2
15	<i>L.tucsonensis</i>	1	1
16	<i>L.anisa</i>	1	1
17	<i>L.lansingensis</i>	1	1
18	<i>L.erythra</i>	2	1
19	<i>L.parisiensis</i>	1	1
20	<i>L.oakridgensis</i>	1	1
21	<i>L.spiritensis</i>	1	
22	<i>L.jamestowniensis</i>	1	
23	<i>L.santicrucis</i>	1	
24	<i>L.cherrii</i>	1	
25	<i>L.steigerwaltii</i>	1	
26	<i>L.rubrilucens</i>	1	
27	<i>L.israelensis</i>	1	
28	<i>L.quinlivanii</i>	2	
29	<i>L.brunensis</i>	1	
30	<i>L.moravica</i>	1	
31	<i>L.gratiana</i>	1	

---



---

32	<i>L.adelaidensis</i>	1
33	<i>L.fairfieldensis</i>	1
34	<i>L.shakespearei</i>	1
35	<i>L.waltersii</i>	1
36	<i>L.genomospecies</i>	1
37	<i>L.quateirensis</i>	1
38	<i>L.worsleiensis</i>	1
39	<i>L.geestiana</i>	1
40	<i>L.natarum</i>	1
41	<i>L.londoniensis</i>	1
42	<i>L.taurinensis</i>	1
43	<i>L.lytica</i>	1
44	<i>L.drozanskii</i>	1
45	<i>L.rowbothamii</i>	1
46	<i>L.fallonii</i>	1
47	<i>L.gresilensis</i>	1
48	<i>L.beliardensis</i>	1

---

**Tableau I-2** : Les différentes espèces de Légionelle isolées connues [26]

#### **I.2.4 Caractéristiques générales de légionelle**

La Légionelle est un bacille à Gram négatif, hétérotrophe, transitoirement mobile, de 0,3-0,9  $\mu\text{m}$  de large et 2-20  $\mu\text{m}$  de long (Figure I-1) pouvant présenter en culture des formes allongées ,parfois filamenteuses [26]. Le fer et la l-cystéine sont indispensables pour sa croissance et son isolement sur les milieux de la culture [27].



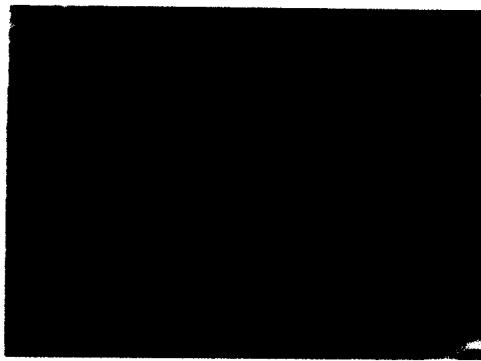


Figure I-1 : Légionelle pneumophile [10]

La légionelle pneumophile est capable de croître avec des températures comprises entre 25 et 42 °C. Cette bactérie survit à une température de 60 °C et dans des environnements de pH compris entre 2,7 et 8,3 [36],[37],[38],[39],[40].

Le mode de transmission se fait exclusivement par inhalation d'aérosols de légionelles issus d'eaux contaminées [41], [30].

### **I.2.5 Mode de transmission**

La transmission des légionelles se fait par inhalation d'eau contaminée, diffusée en aérosol. La présence d'aérosols infectés permet la transmission aux voies respiratoires de l'homme et constitue un facteur de dissémination.

Légionelle pneumophile peut survivre plus de deux heures dans un aérosol. Elle a été retrouvée, à plus d'un kilomètre et demi des tours de refroidissement envoyée par le vent. Pour être infectieuses en aérosol, les particules doivent avoir moins de 5 µm de diamètre, en sorte que l'inhalation pourra les conduire directement dans les alvéoles.

La seconde voie de contamination est l'instillation directe d'eau souillée dans la trachée ou les bronches là, on parle alors de contamination par aspiration.

Les réservoirs naturels sont rarement à l'origine de la maladie, à la différence des eaux sanitaires qui constituent des sites de prolifération et de dissémination [42].



### I.3 Facteurs influençant la survie de *Légionelle* dans l'eau

Les populations bactériennes vivant dans les environnements aquatiques sont fréquemment exposées à de fort stress dus à des variations de température, teneur en oxygène, pH, salinité et le rayonnement solaire (UV) [43],[44],[11].

#### I.3.1 Température

La température est probablement l'un des facteurs les plus importants qui gouvernent la survie d'où la multiplication de *Légionelle* reste inséparable, même s'il est communément admis que les légionelles se multiplient dans les milieux hydriques et à des températures comprises entre 20°C et 45°C, laquelle demeure capable de survivre entre 6°C et 66°C [45], [46], [47], [48] (Figure I-2) [11].

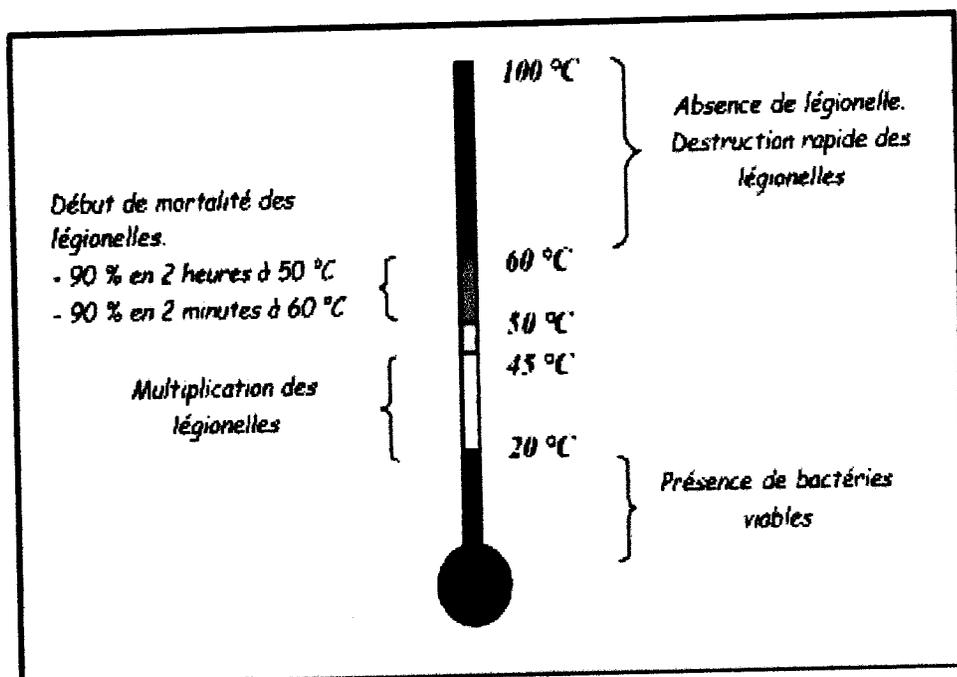


Figure I-2: Représentation schématique du comportement de *Légionelle* en fonction de la température.

A travers quelques études effectuées sur des souches pures au laboratoire, il s'est avéré que la survie des légionelles à l'intérieur d'un aérosol était très influencée par le taux d'humidité environnant la bactérie. Elles sont sensibles aux effets de l'oxygène et du rayonnement solaire (UV), la bactérie Survit aussi dans les biofilms [11].

### I.3.2 Teneur en oxygène dissous

La Légionelle étant une bactérie aérobie, dans une eau potable, sa multiplication est impossible si la teneur en oxygène dissous est inférieure à 2,2 mg/L [46]. En effet, en condition anaérobie, la population bactérienne est diminuée d'1,7 log en 28 jours contre une augmentation d'1,6 log de Légionelle en condition aérobie à 35°C (Figure I-3)[11].

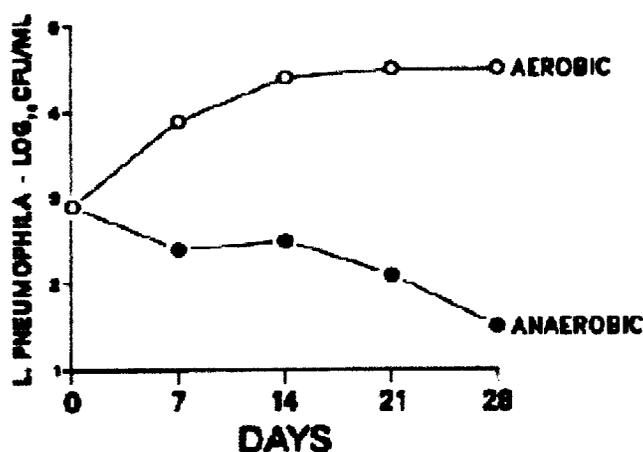


Figure I-3 : Effet des conditions aérobie et anaérobie sur la croissance de Légionelle Pneumophile dans une eau à 35 °C [46], [11].

### I.3.2 PH

Le PH constitue également un facteur important dans la survie des légionelles à l'intérieur de l'eau. Wadowsky et al. (1985) [46] ont étudié son influence sur des échantillons d'eau potable prélevée à partir des réservoirs d'eau chaude infectée par Légionelle. Ils ont ajusté le pH de l'eau par ajout d'acide (HCl) ou de base (NaOH) et ont observé que la croissance de Légionelle dans l'eau potable est possible pour des pH variant de 5,5 à 9,2 avec un optimum de 6,9 [46], [11].

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présentés la maladie de légionellose qui est due aux différentes bactéries de légionelle, notamment la bactérie de *Légionelle pneumophile* qui est responsable de 90% de la maladie.

Dans une deuxième étape, nous avons décrit les différents paramètres qui peuvent influencer la survie et la multiplication de la bactérie à savoir :

- Température
- Teneur en oxygène dissous
- PH
- Salinité
- nature des matériaux
- amibes

Afin de remédier à cette bactérie, nous avons décidé d'étudier les différentes méthodes de traitement.



# Chapitre II

## Etat de l'art sur les différentes méthodes de traitement de la bactérie de légionelle



## **II –Introduction**

Vue l'importance et l'actualité de la légionellose dans le monde entier et grâce à leurs effets remarquables, notamment sur la santé humaine, plusieurs méthodes de traitement ont été découvertes. Ces méthodes servent pour la désinfection de cette bactérie qui a causé cette maladie. Dans cette section, nous présentons les différentes méthodes de traitement de la bactérie de légionelle, à savoir les traitements chimiques, physiques et thermiques pour la désinfection de la bactérie de légionelle, en l'occurrence inhiber son développement. L'objectif de cette partie est de faire une synthèse de manière exhaustive des techniques conventionnelles. Selon les techniques, certaines seront utilisées comme des traitements préventifs, alors que d'autres, seront plutôt employées pour des traitements chocs [67].

### **I-1 Traitements chimiques**

Les biocides sont des substances chimiques qui sont injectées dans l'eau pour la désinfection d'eau potable, des eaux de refroidissement et des piscines tels que le chlore, la chloramine, le brome et le dioxyde de chlore, l'ozone,...etc [67].

#### **I-1-1 Chlore**

Le chlore est un désinfectant puissant, il est produit à partir d'une bouteille de chlore gazeux (Figure II-1). Par connexion sur la bouteille, et après détente dans un chloromètre, le chlore gazeux, il est mélangé grâce à un hydro éjecteur à une eau de service, ce qui permet la production d'une solution aqueuse concentrée de chlore. Le prélèvement maximum possible au départ d'une bouteille est de 1.3 à 1.4 kg/h à 20°C.

La solution mère aqueuse est injectée dans le bassin de contact par le biais d'un dispositif toujours immergé et à une pression supérieure à celle de l'eau à traiter [68].



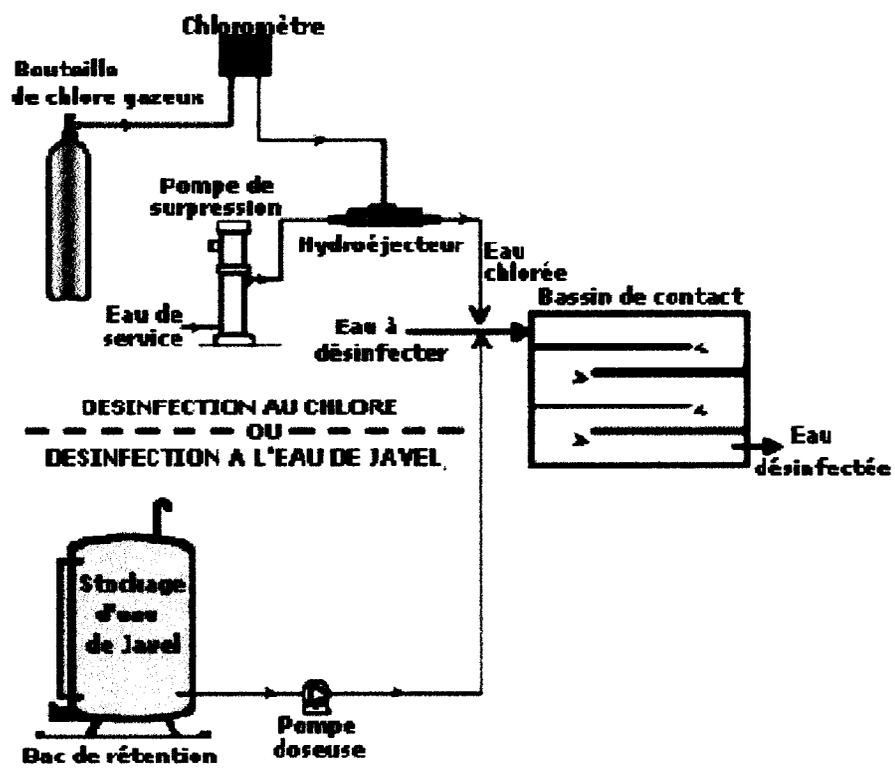


Figure II-1: Désinfection par chloration [68]

Le chlore affecte en effet la respiration cellulaire, les activités de transport, et dégrade les acides nucléiques et les enzymes aboutissant à l'inactivation des microorganismes

[71]. Le contrôle des Légionelles pneumophile nécessite un taux résiduel de chlore de 1 à 6 mg/l [69],[70]. Cette concentration doit être plus élevée lorsque les légionelles sont associées à des amibes [71].

Cet agent oxydant a l'inconvénient d'être corrosif et de ce fait, il peut sérieusement endommager la tuyauterie en favorisant, dans un deuxième temps, la prolifération de légionelles. De plus, un grand intérêt a été attiré vers les effets du chlore sur la santé publique depuis la découverte des sous produits cancérigènes, notamment le trihalométhane [72], [30].

## II-2.2 Chloramines

La monochloramine est la chloramine minérale la plus utilisée pour la désinfection de l'eau. Son utilisation a été généralisée, notamment pour remplacer le chlore produisant trop de sous-produits de désinfection.

La monochloramine présente l'avantage d'être plus stable que le chlore. Elle nécessite des concentrations plus élevées [71]. Bien que les chloramines soient des biocides moins efficaces que le chlore. Elles sont parfois utilisées pour assurer le traitement de désinfection de l'eau. La monochloramine élimine 99.9% des légionelles qui sont associées au biofilm, en laboratoire [73], [67].

### II.2.3 Ionisation

L'ionisation se base sur l'utilisation d'électrodes libérant dans l'eau des particules d'ions de cuivre ( $\text{Cu}^{+2}$ ) et d'argent ( $\text{Ag}^{+}$ ) (Figure II-2) [30]. Le Cuivre et l'Argent ont un effet bactéricide. La chambre d'ionisation contient plusieurs paires d'électrodes fabriquées à partir d'un alliage précis de cuivre et d'argent. Un bas voltage sécuritaire en courant continu est appliqué sur les électrodes. L'eau circule entre les électrodes et emporte les ions de cuivre et d'argent qui sont relâchés partout dans le système [74]. Ils interfèrent avec les enzymes impliquées dans la respiration cellulaire en se liant à des sites spécifiques de l'ADN [75], [30]. Enfin les bactéries sont naturellement désactivées par les ions en solution [74].

La concentration fixée pour limiter la prolifération des légionelles est de 0,02-0,08mg/l pour l'argent et de 0,2-0,8 mg/l pour le cuivre [30].

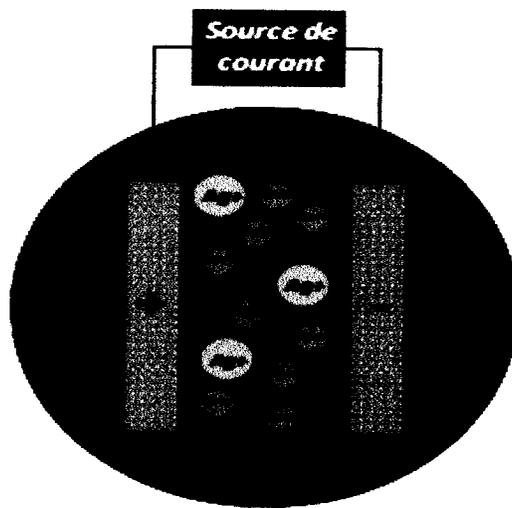


Figure II-2 : Ionisation Cuivre – Argent [74]



#### II-2-4 Brome

Le traitement des eaux de refroidissement se réalise à partir du brome, soit par introduction d'une solution stabilisée de ce produit, soit par du brome liquéfié par électrolyse [76]. Le brome est utilisé dans les piscines et les eaux de refroidissement, mais il n'est pas, recommandé pour l'eau potable [77]. C'est un oxydant qui présente les mêmes propriétés oxydantes et désinfectantes que le chlore. Il agira sur les bactéries selon le même mécanisme. Cependant, son efficacité contre la Légionelle pneumophile est moindre que le chlore. Par contre, la présence d'un résiduel de brome libre à une concentration de 0,1 à 1,5 mg/l réduit et contrôle de telles populations aussi longtemps que le résiduel soit maintenu [70],[67].

#### II.2.5 Ozone

L'ozone est produit à partir d'oxygène provenant, soit de l'air pur (Figure II-3), soit de l'oxygène comprimé, par application d'une décharge électrique. C'est un gaz peu soluble et peu stable dans l'eau [67].

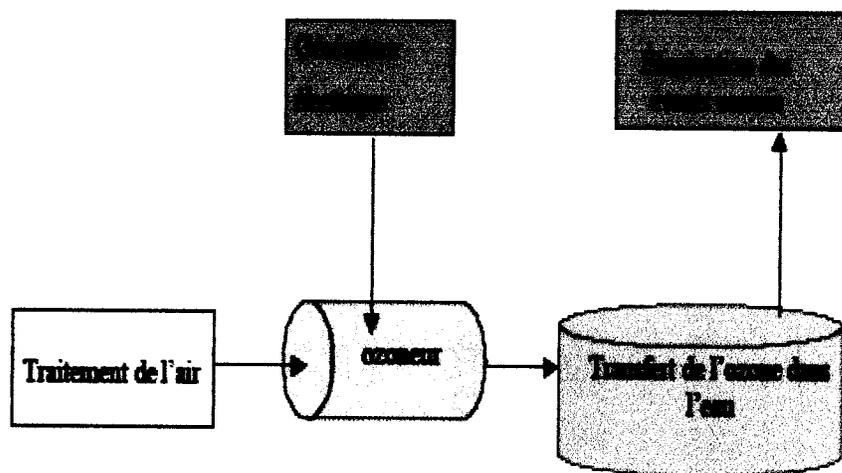


Figure II-3 : Principe d'une ozonation [68]



L'air enrichi en ozone ainsi produit est alors ajouté à l'eau à traiter. Les événements chargés d'ozone sont récupérés. Ils sont éventuellement réutilisés pour une étape de préozonation de l'eau qui en tête de traitement, tandis que l'excès d'ozone est éliminé par destruction thermique ou catalytique [68].

Une étude en laboratoire a montré qu'il faudrait appliquer un résiduel d'ozone de 0.1 à 0.3mg/l pendant 5 minutes pour atteindre un taux d'élimination de 99 %, alors qu'il faudrait environ 30 minutes pour avoir ce même taux de désinfection qui se concrétise en présence de 0.3mg/l de résiduel de chlore ou 30 minutes pour 1 mg/l de peroxyde d'hydrogène ) [78].

L'ozone a également un haut pouvoir d'oxydation, facilitant ainsi la corrosion des métaux de structure, ce qui limite son utilisation en tant que substitut dans le traitement de l'eau [79], [80], [67].

### **II.2.6 Peroxyde d'hydrogène**

Le peroxyde d'hydrogène est très peu utilisé pour la désinfection des réseaux d'eau chaude. C'est un désinfectant moins efficace que le chlore et l'ozone [81]. Il cible les protéines, les acides nucléiques et la membrane cellulaire chez la bactérie [82]. Le peroxyde d'hydrogène est souvent utilisé comme un désinfectant anti-légionelle des tours aérorefrigérantes et il est utilisé soit seul soit combiné avec un autre produit chimique ; tels que l'acide peracétique, l'hypochlorite de sodium, l'argent, le cuivre, le fer, les rayons UV, et l'ozone [83],[30].

**II.2.7 Les Isothiazolones :** Ces composés ce sont des biocides non oxydants. Les isothiazolones ont des propriétés bactériostatiques et bactéricides seulement mises à de hautes concentrations [84],[67]. Leur action nécessite un temps de contact assez long (plusieurs heures), sont utiliser pour le traitement des eaux de refroidissement [84],[71]. Ils possèdent un large spectre d'activité et leurs effets vis-à-vis des légionelles font l'objet de plusieurs études.



McCoy et al. (1986)[85] ont observé une désinfection de 4 à 9 Log avec quelques mg/l de biocide en une journée lorsqu'on utilise des échantillons d'eau de refroidissement filtrée à 0,45 mm inoculés avec les bactéries [71].

### **II.3 Traitement physiques**

Les traitements physiques consistent en un apport d'énergie effectué par voie thermique, mécanique ou électrique afin d'agir sur les contaminants de l'eau (polluants chimiques ou microorganisme). Les principaux procédés utilisés pour la désinfection de l'eau sont : les traitements par irradiation UV ou par les ultrasons et les traitements thermiques. Leur action ne nécessite aucun réactif chimique, présentant en fait l'avantage de ne subir aucune incidence sur le milieu environnemental [67].

#### **II.3.1 Ultraviolets**

Les études des effets UV sur les bactéries ont toutes été réalisées à la longueur d'onde de 254 nm. Les lampes UV, dites aussi lampes germicides, émettent 86% de leur énergie à 254 nm. Cette longueur d'onde est proche du pic d'absorption de l'ADN, ce qui rend les bactéries sensibles aux UV, mais à des durées de radiation différentes par rapport aux bactéries [86], [71].

L'utilisation des UV pour le traitement de désinfection de l'eau de consommation, les doses classiques d'UV utilisées sont de l'ordre de 40 mJ.cm<sup>-2</sup>. Elles permettent d'atteindre une inactivation de 2-log pour la plupart des bactéries [87], [88], [67].

Plusieurs études enfin rapportent que l'utilisation des radiations UV pour la désinfection des installations en grandeur réelle est inefficace quant au contrôle de légionelle dans les TARs. Muraca et al. (1987)[89], Ils montrent néanmoins que l'irradiation continue aux UV à 30 000 µW-s/cm<sup>2</sup> et permet la désinfection de 5 Log en 20 minutes d'application, au delà desquelles aucune inactivation supplémentaire n'a été observée [86]. Il existe un contraste majeur entre les résultats obtenus à l'échelle de laboratoire et l'application des UV (seuls) à une grande échelle.



## Chapitre II : Etat de l'art sur les différentes méthodes de traitement de la bactérie de légionelle

- Ionisation (5.3%)
- Ozonation (8%)



Figure II-5 : Comparaison d'efficacité de différentes méthodes de désinfection de légionelle [98]

La désinfection thermique est une méthode fréquemment utilisée pour contrôler la légionelle dans un système d'eau froide et chaude. Cette méthode est la seule à permettre l'élimination complète et la protection permanente de la recolonisation de légionelle, ce qui est montré dans la (figure II-6), alors que le temps nécessaire pour l'élimination complète de légionelle pneumophile [99], reste relativement lié avec l'élévation de température de l'eau (70° -80° C) [98].

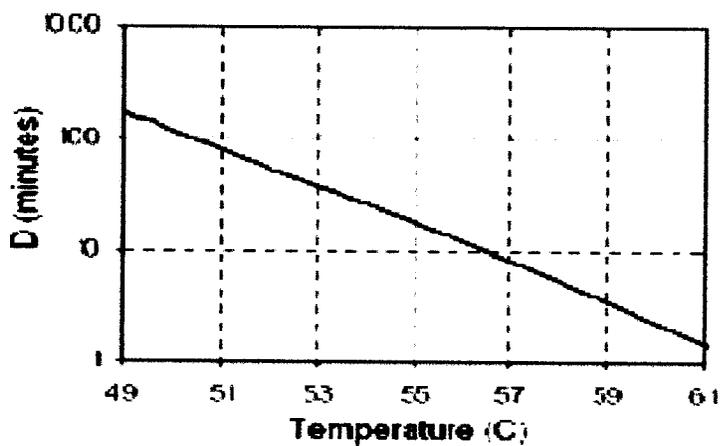


Figure II-6 : Température nécessaire pour la désinfection de Légionelle pneumophile [98]



Les fluoroquinolones (ofloxacin, pefloxacin, ciprofloxacin) présentent les mêmes avantages que les nouveaux macrolides, si l'on veut établir le rapport avec l'érythromycine. De nombreux succès avec chacune de ces fluoroquinolones ont été remportés.

Par contre, des échecs avec la ciprofloxacin et l'ofloxacin ont été constatés, ces échecs peuvent être rattachés, soit à une posologie inadéquate, soit à un état d'immunodépression avancé.

Les posologies recommandées d'après l'étude sont les suivantes : ofloxacin 800 mg par jour et par voie intraveineuse ou par voie orale, ciprofloxacin 400 mg toutes les 8 heures par voie intraveineuse ou 750 mg deux fois par jour par voie orale.

L'efficacité d'autres antibiotiques (imipénème, triméthoprimesulfaméthoxazole, clindamycine) a parfois été décrite dans des cas isolés.

Dans tous les cas, un traitement antibiotique adapté doit être précocement prescrit, car les échecs sont principalement imputés au retard de la prise en charge adéquate de la maladie.

Les antibiotiques efficaces sont ceux qui se diffusent facilement dans les phagocytes. On suppose que leur rôle est d'interrompre la multiplication intracellulaire, jusqu'à ce qu'une immunité cellulaire efficace soit développée.

Les endocardites à légionelles sur prothèse valvulaire nécessitent généralement un remplacement valvulaire et un antibiotique prolongé, allant de 3 à 12 mois.

En complément du traitement antibiotique, un autre traitement symptomatique s'impose en fonction des complications observées [42].

### **III-1-3 Prévention**

Pour limiter le développement des légionelles, il est nécessaire d'agir sur trois niveaux :

- ✓ Éviter la stagnation et assurer une bonne circulation de l'eau.



## **Conclusion**

Un état d'art sur les différentes méthodes de traitement de la bactérie de légionelle a été entretenu dans ce chapitre. Une étude sur la comparaison de l'efficacité de traitement de désinfection a été aussi faite. Elle a montré en parallèle que l'efficacité du traitement thermique représente 59% par rapport aux autres méthodes de traitement. De ce fait, elle permet l'élimination complète de la bactérie et la protection permanente de la recolonisation de légionelle pneumophile, à une température de 70°C pendant quelques secondes.

Plusieurs études ont donc porté sur l'efficacité du traitement thermique pour la désinfection de la bactérie de légionelle, c'est la raison pour laquelle nous avons conçu au préalable un nouveau " système solaire à concentration " pour la désinfection de la bactérie à 70°C.



**Chapitre III**  
**Conception d'un système saigné à concentration pour**  
**la désinfection de la bactérie de légionelle**



### **III-Introduction**

Plusieurs études montrent l'efficacité de traitement thermique comme un traitement unique pour l'élimination et la protection permanente de la bactérie de légionelle.

L'analyse faite dans les chapitres précédents nous a permis de prendre l'initiative pour trouver une solution pour cette bactérie par l'exploitation de l'énergie solaire.

Pour ces raisons nous avons développé un nouveau système à concentration, alimenté par fibre optique pour la désinfection de la bactérie dans l'eau sanitaire.

#### **III-1 Système de production et de stockage d'eau chaude sanitaire**

L'idée de transporter l'énergie solaire concentrée par fibre optique a germé dans les années 80. De nombreuses études ont été menées dans la transmission de l'énergie solaire concentrée par fibre optique et cela, à des fins diverses [103], [104]

- ✓ Caractérisation du système ;
- ✓ Eclairage solaire ;
- ✓ Chirurgie solaire ;
- ✓ Génération d'hydrogène et réactions photochimiques ;
- ✓ Production d'électricité solaire ;
- ✓ Lasers solaires.
- ✓ Désinfection de la bactérie de légionelle.

L'élément essentiel de la réalisation pratique de ces applications est la séparation totale de la collecte et la délivrance de lumière très concentrée, y compris les gains d'efficacité pour la collecte et le transport optique. Vers la résolution de ce problème de façon pragmatique et modulaire, l'utilisation de l'énergie solaire à fibre optique a été proposée (Cariou et al., 1982; Feuermann et Gordon. 1999[105]. 2001[106]: Gordon. 2001[107]). Nous allons présenter ici les résultats expérimentaux d'un prototype réalisé à l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien à Adrar (Figure III-1)[103].



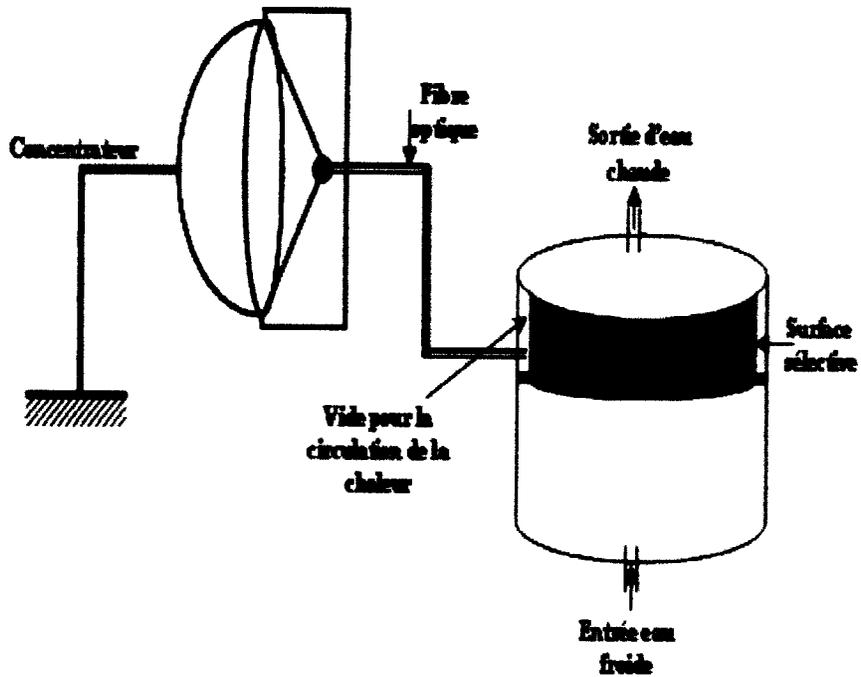


Figure III-1 : Système de production et de stockage d'eau chaude sanitaire

Il est constitué d'un concentrateur couplé à une fibre optique au foyer comme le montre la (Figure III-2)

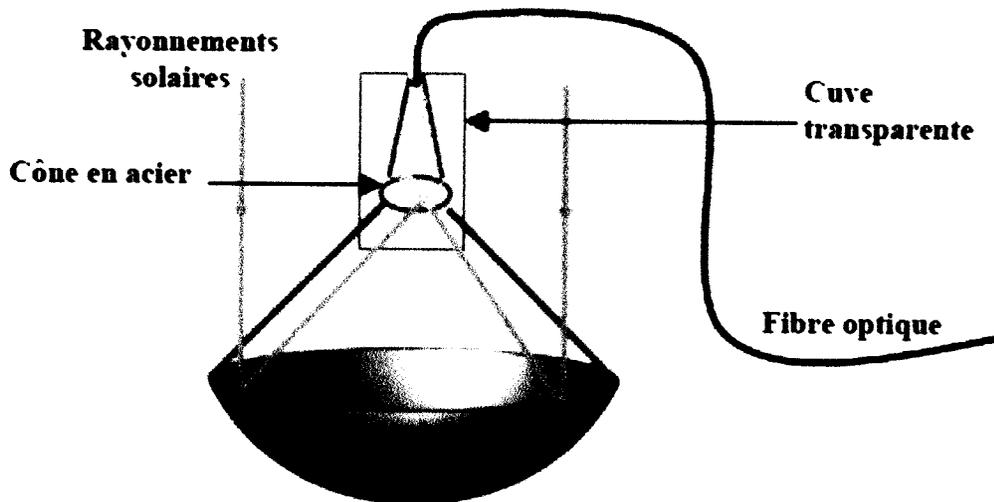
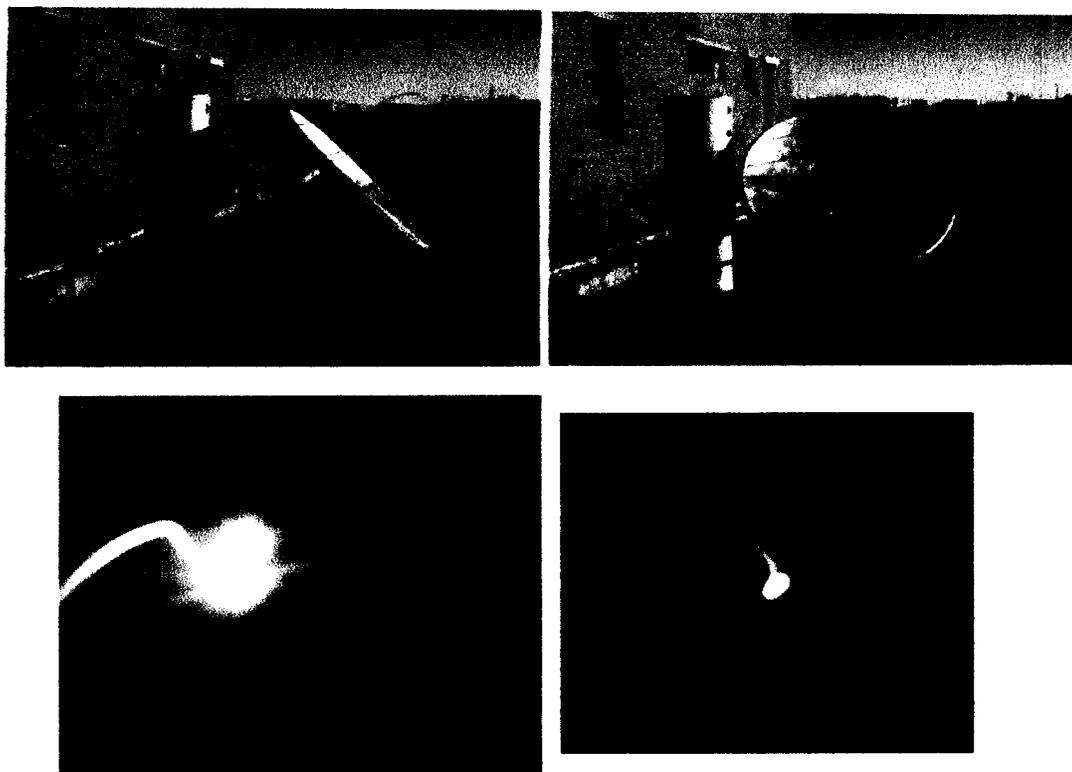


Figure III-2 : Schéma du concentrateur couplé avec une fibre optique

Une série de photos illustre bien le prototype en cours d'exploitation (Fig.III-3)





**Figure III-3 : Photos du système réalisé opérationnel**

La conception, l'assemblage et les essais de mesures sur terrain sont détaillés ci-après :

### **III-2 Conception du prototype concentrateur**

La conception d'un convertisseur thermique de l'énergie solaire fonctionnant dans la gamme de température (150°C-500°C) nécessite l'étude et l'optimisation du bilan thermique de la surface d'absorption du rayonnement. Intervient alors, outre les propriétés optiques de l'absorbeur, le taux de concentration géométrique ( $C$ ) défini par le rapport de la surface apparente de captation (miroir) à la surface apparente d'absorption (foyer).

Imbert et al. [108], ont montré que pour une température d'utilisation donnée, le rendement thermique n'augmente pratiquement plus au-delà d'une valeur déterminée du taux de concentration; ceci est de nature à faciliter la récupération de la chaleur produite et à limiter les difficultés technologiques lors de la réalisation du miroir concentrateur. C'est la raison pour laquelle nous avons utilisé un miroir de forme sphérique [103].



### Chapitre III : Conception d'un système solaire à concentration pour la désinfection de la bactérie de légionelle

Le miroir est caractérisé par son diamètre (D), son demi-angle ( $\varphi$ ), la distance focale (f) donnée par l'expression  $1/f = 4 \tan\left(\varphi/2\right)$ , et la concentration C.

La concentration la plus élevée générée par un tel concentrateur (Rabl, 1976) [109] est par un tel concentrateur (Rabl, 1976) est représentée par l'expression :

$$C^{max} = \frac{\sin^2(\varphi)}{\theta_s^2}$$

et comprend la fraction  $\cos^4\left(\varphi/2\right)$  du total des flux qui atteint le plan focal (Baum et Strong, 1958).  $\theta_s$  est le demi-angle effectif solaire, suffisamment petit que  $\sin(\theta_s) \approx \theta_s$

La distance focale du diamètre  $d_{max}$  qui accepte pratiquement tous les rayons réfléchis (Rabl, 1976):

$$d_{max} = \frac{D\theta_s(1 + 16f^2)^2}{8f(16f^2 - 1)}$$

et la concentration moyenne correspondante :

$$C^{moy} = \frac{\sin^2(\varphi)\cos^2(\varphi)}{\theta_s^2}$$

Pour cela, nous avons sélectionné un concentrateur avec un diamètre  $D=148$  cm, une distance focale  $f=82$  cm (d'où  $\varphi = 20^\circ$ ), et une fibre optique SPCH 1000/1035/1400Z avec une longueur  $l=2$ m composée d'un coeur de diamètre de 1 mm de silice et un revêtement dur en tefzel, d'atténuation moyenne  $\tau = 6.2 \cdot 10^{-3}$  dB/m sur l'ensemble du spectre solaire, une ouverture numérique  $\theta_f = 23^\circ$ , et une température de fonctionnement de  $-60$  à  $125^\circ\text{C}$  [103].

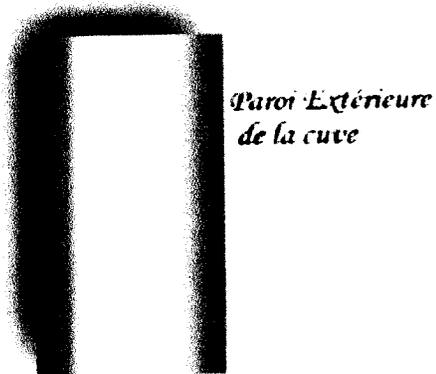
Comme la température au foyer dépasse les  $150^\circ\text{C}$ , et afin de protéger la fibre optique, nous avons placé un système d'aquarium au foyer du concentrateur pour refroidir la fibre et chauffer l'eau circulant à l'intérieur.



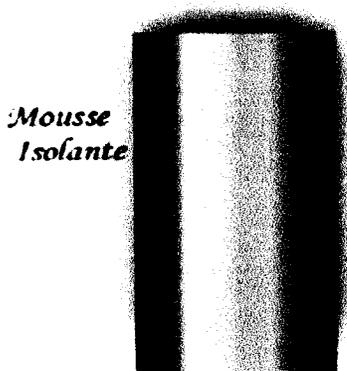
### **III-3 Conception de la cuve de stockage**

La cuve de stockage utilisée est de forme cylindrique avec une hauteur de 1.5 m et un volume de 150 litres (Figure III-4). Elle a été conçue de la manière suivante :

**Pièce1** : Représente la paroi extérieure du ballon faite en acier galvanisé avec une hauteur de 1.5m et de 0.6m de diamètre.



**Pièce2** : Représente la mousse isolante thermique avec une hauteur de 1.55m et un diamètre de 0.55m.



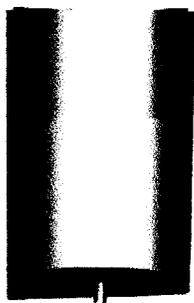
### Chapitre III : Conception d'un système solaire à concentration pour la désinfection de la bactérie de légionelle

---

**Pièce3** : Représente la paroi intérieure du ballon faite en acier avec une hauteur de 1.5m et de 0.5m de diamètre



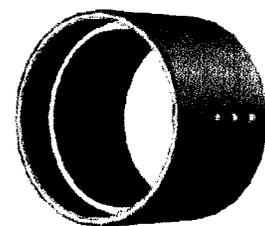
**Pièce4** : Représente l'absorbeur fait en acier recouvert avec une peinture noir de dimension de 0.5m de hauteur et de 0.46m de diamètre.



*Coupe verticale,  
Vue d'en face*



*Coupe verticale,  
Vue de profil*



*Coupe horizontale,  
Vue d'en haut*

**Figure III-4** : Vue d'assemblage de la cuve de stockage

#### III-4 Principe de fonctionnement

Les rayonnements solaires incidents sont concentrés au foyer du concentrateur puis transportés par fibre optique jusqu'à la surface sélective de la cuve de stockage.



### Chapitre III : Conception d'un système solaire à concentration pour la désinfection de la bactérie de légionelle

Cette dernière absorbe et réémet cette énergie sous forme de radiations de grande longueur d'onde (chaleur) qui reste piégée à l'intérieur avec échange de chaleur avec le fluide de la cuve.

Nous avons utilisé un système d'aquarium dont le rôle consiste à chauffer l'eau et refroidir en même temps la fibre optique [103].

#### III-5 Etude expérimentale d'un prototype du système

Après avoir conçu et assemblé nos deux modules (concentrateur + cuve de stockage), nous avons entrepris une étude expérimentale sur le système élaboré.

Dans les systèmes à concentration, seul le rayonnement direct est concentré.

La Figure III-5 montre la variation du rayonnement direct concentré à la sortie de la fibre optique.

La moyenne annuelle de ce dernier sur le site est de l'ordre de  $1.7 \text{ W/mm}^2$ .

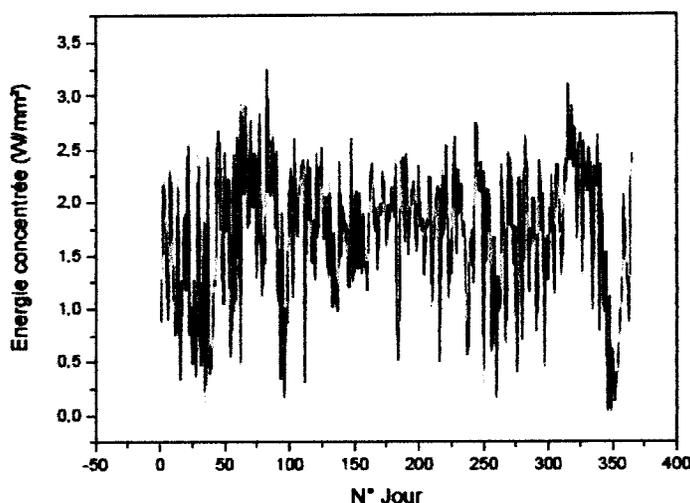


Figure III-5 : Variation journalière du rayonnement direct concentré à la sortie de la fibre optique

La quantité d'énergie transportée par fibre optique jusqu'au ballon de stockage sera absorbée puis retransmise par la surface sélective utilisée sous forme de radiations de grandes longueurs d'onde et dont la température peut atteindre les  $160^\circ\text{C}$  aux équinoxes et  $140^\circ\text{C}$  au solstice été (Figure III-6)[103].

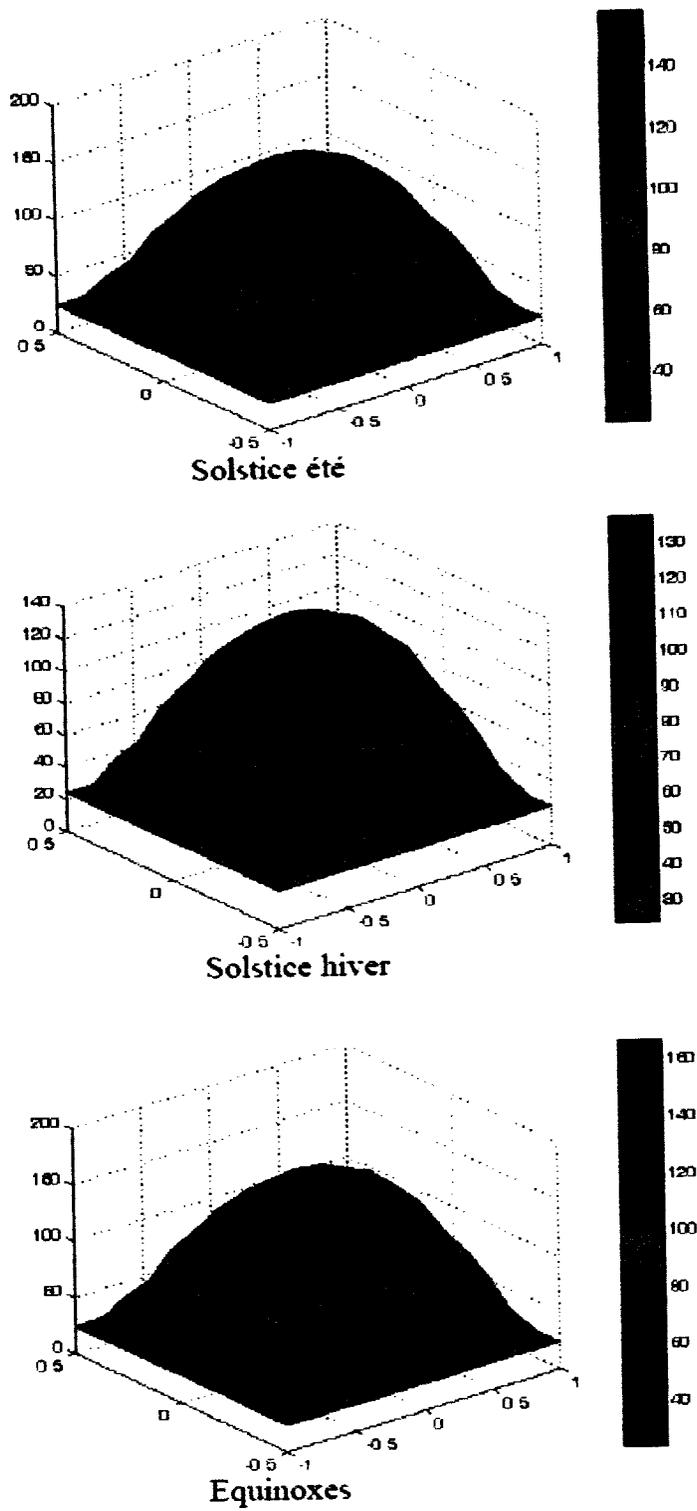


Figure III-6 : Températures atteints sur la surface sélective aux solstices



### Chapitre III : Conception d'un système solaire à concentration pour la désinfection de la bactérie de légionelle

Pour cela, nous avons utilisé un circuit ouvert du réseau avec un débit de 0.6 l/min. La Fig.7 montre la variation des températures d'entrée et de sortie atteintes le 22 janvier 2009 pour le système considéré. A la lumière des résultats obtenus, nous constatons l'existence d'un écart au début de la manipulation de plus de 10°C jusqu'à 50°C à midi. Le maximum est atteint à midi trente, la température atteinte est de l'ordre de 70°C. Nous avons également relevé qu'il fallait quatre heures pour remplir la cuve de stockage avec un débit de 0.6 l/min à une température moyenne par jour de 36.5°C. Les chutes observées dans la Figure .III-7 pour la température de sortie  $T_s$  sont dues au système de suivi qui se fait manuellement [110].

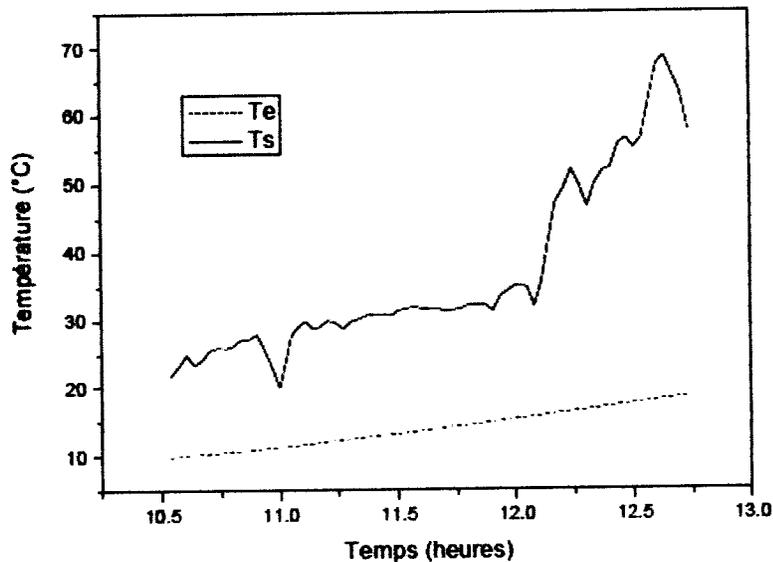


Figure III-7: Variation des températures d'entrée et sortie du système

D'après les résultats expérimentaux nous constatons que la température au niveau de foyer du système solaire à concentration alimenté par fibre optique est de l'ordre de 170°C.

Cette gamme de température ouvre la possibilité de son exploitation dans plusieurs domaines en particulier dans la désinfection de la bactérie de légionelle.

Le transfert de la chaleur de la fibre optique vers l'eau s'effectue avec une certaine vitesse et par conséquent plus le débit d'eau est important plus la température est faible. Pour cela nous avons utilisé un débit d'eau de 0.6l/min et les résultats consignés dans la Fig.III.7 nous montrent que la température de sortie atteinte est de

### **Chapitre III : Conception d'un système solaire à concentration pour la désinfection de la bactérie de légionelle**

---

l'ordre de 70°C qui sera utilisé pour la désinfection de la bactérie de légionelle. Pour avoir des températures plus élevée il suffit juste de réduire le débit de circulation d'eau.

#### **Conclusion**

Le système concentrateur alimenté par fibre optique a été réalisé à l'Unité de Recherche En Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER/MS) – Adrar. Pour ce chapitre présenté un prototype de système solaire à concentration destiné en grande partie aux traitements thermiques pour la désinfection, et la protection permanente, de la bactérie de légionelle.

Les résultats expérimentaux obtenus montrent bien que ce système solaire est performant où la température peut atteindre facilement les 170°C au foyer et les 70°C avec un débit d'eau de 0.6l/min qui peut être utilisé pour la désinfection de la bactérie de légionelle.

# Conclusion Générale



La légionellose est une infection pulmonaire aiguë dont le mode de contamination résulte de l'inhalation d'aérosols contenant des légionelles. La bactérie de la légionelle pneumophile responsable de 90% de la maladie de légionellose. Ces bactéries trouvées dans les milieux aquatiques naturels et colonisent les réservoirs et les systèmes de distribution d'eau potable comme les hôpitaux et les réseaux municipaux avec une concentration qui varie entre  $2.3.10^3$ UFC/ml à  $10^3$ UFC/l. Cette bactérie se multiplie et survie dans des conditions favorables tels que la température, la nature des matériaux, présente dans les canalisations d'eau potable, le pH, les rayonnements solaires, l'association avec les amibes....etc.

Cette bactérie présente un risque majeur pour la santé publique, et en particulier chez les personnes âgées ou sous traitements, ainsi plusieurs méthodes physiques, thermiques et chimiques sont orientées vers le traitement efficace de la légionelle. Certaines de ces méthodes ne sont pas toujours efficaces pour donner une protection permanente contre la recolonisation de la bactérie. Mais lorsque ces méthodes sont regroupées dans un seul traitement elles sont très efficaces. Parmi ces méthodes il y a la désinfection thermique qui est utilisée pour contrôler la légionelle dans un système d'eau froide et chaude. Cette méthode est la seule méthode qui permet l'élimination complète et la protection permanente de la recolonisation de la légionelle.

Dans ce travail nous avons étudié un nouveau système solaire à concentration pour la désinfection thermique de la bactérie de légionelle.

L'étude expérimentale a montré que l'énergie solaire concentrée peut être transférée par fibres optiques à une surface sélective (absorbeur) à l'intérieur d'un réservoir de stockage, où celles-ci sont converties en chaleur. Toutefois, la seule méthode de traitement thermique fournit, à la fois, l'élimination complète et la protection permanente de recolonisation par la bactérie.



## Conclusion Générale

---

Les résultats expérimentaux montrent que le traitement de choc thermique à 70°C avec un débit de 0.6 l/min permet la désinfection de la bactérie en quelques secondes, ainsi cette méthode est la plus sûre, pour la désinfection, aussi cette dernière est valable pour d'autres gammes de température, et grâce à cette flexibilité, ces systèmes devraient avoir un grand potentiel, d'utilisation dans le traitement thermique des bio-contaminants.

Enfin, la prévention, de la colonisation d'un réseau d'eau par la Légionelle pneumophile reste l'approche la plus sûre de la prévention des légionelloses.

En perspective de ce travail qui tourne autour de la validation des résultats par une étude microbiologique de la bactérie de légionelle ainsi que le traitement thermique pour la désinfection d'eau des autres bactéries tel que : E-coli, Salmonelle, ...etc.



# Bibliographie

- [1] <https://www.orpha.net/data/patho/Pro/fr/Legionellose-FRfrPro815.pdf>
- [2] [www.aria.developpement-durable.gouv.fr/ressources/legionelle.pdf](http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/ressources/legionelle.pdf)
- [3] [www.arath.ch/dossiers/legionelle/legiofl.pdf](http://www.arath.ch/dossiers/legionelle/legiofl.pdf)
- [4] Vergnes.M « Plasticité fonctionnelle et structurale chez Legionella pneumophila Impact des protéines de type histone sur la virulence et génotypage par les séquences d'insertion » Thèse de Doctorat, Université de Joseph Fourier Grenoble I 2010.
- [5] Palusińska-Szys M & Cendrowska-Pinkosz M (2009) Pathogenicity of the family Legionellaceae. Arch. Immunol. Ther. Exp. (Warsz.) 57: 279-290.
- [6] Stout JE & Yu VL (1997) Legionellosis. N. Engl. J. Med 337: 682-687.
- [7] Mégarbane B, Montambault S, Chary I, Guibert M, Axler O & Brivet FG (2000) Acute pancreatitis caused by severe Legionella pneumophila infection. Infection 28: 329-331.
- [8] McConkey J, Obeius M, Valentini J & Beeson MS (2006) Legionella pneumonia presenting with rhabdomyolysis and acute renal failure: a case report. J Emerg Med 30: 389-392.
- [9] Han JH, Nguyen JC, Harada S, Baddour LM & Edelstein PH (2010) Relapsing Legionella pneumophila cellulitis: a case report and review of the literature. J Infect Chemother.
- [10] [www.safewater.org/PDFS/knowthefacts/.../LegionellaDetaille.pdf](http://www.safewater.org/PDFS/knowthefacts/.../LegionellaDetaille.pdf)
- [11] C. Fanjeaux « Legionella et Legionellose : Evolution des données épidémiologiques en France de 1987 à 2008 » Thèse de Doctorat, université de Henri Poincaré-Nancy 1 2010.
- [12] Leoni, E., De Luca, G., Legnani, P.P., Sacchetti, R., Stampi, S., Zanetti, F., 2005. Legionella waterline colonization :detection of Legionella species in domestic, hotel and hospital hot water systems. J. Appl. Microbiol. 98 (2), 373-9.
- [13] Perola, O., Kauppinen, J., Kusnetsov, J., Kärkkäinen, U.M., Lück, P.C., Katila, M.L., 2005. Persistent Legionella pneumophila colonization of a hospital water supply : efficacy of control methods and a molecular epidemiological analysis. Acta.Pathol.Microbiol.Immunol. Scand. A. 113, 45-53.
- [14] Alary, M., Joly, J.R., 1992. Factors contributing to the contamination of hospital water distribution systems by Legionellae. J. Infect. Dis. 165(3), 565-569.



- [15] Goetz, A.M., Stout, J.E., Jacobs, S.L., Fisher, M.A., Ponzer, R.E., Drenning, S., Yu, V.L., 1998. Nosocomial legionnaires' disease discovered in community hospitals following cultures of the water system: seek and ye shall find. *Am. J. Infect. Control.* 26(1), 8-11.
- [16] Pan, T.M., Yea, H.L., Huang, H.C., Lee, C.L., Horng, C.B., 1996. Legionella pneumophila infection in Taiwan: A preliminary report. *J. Formos. Med. Assoc.* 95(7), 536-539.
- [17] Borella, P., Montagna, T.M., Stampi, S., Stancanelli, G., Romano-Spica, V., Triassi, M., Marchesi, I., Bargellini, A., Tato, D., Napoli, C., Zanetti, F., Leoni, E., Moro, M., Scaltriti, S., Ribera D'alcala, G., Santarpia, R., Boccia, S., 2005. Legionella contamination in hot water of Italian hotels. *Appl. Environ. Microbiol.* 71(10), 5805-5813.
- [18] Alexiou, S.D., Antoniadis, A., Papapaganagiotou, J., Stefanou, T.H., 1989. Isolation of Legionella pneumophila from hotels in Greece. *Eur. J. Epidemiol.* 5(1), 47-50.
- [19] Hossain, M.S., Hoque, M.M., 1994. Isolation of Legionella pneumophila from chlorinated water and water from industrial cooling tower. *Banglad. J. Microbiol.* 11(2), 111-114.
- [20] Stout, J.E., Yu, V.L., Yee, Y.C., Vaccarello, S., Diven, W., Lee, T.C., 1992. Legionella pneumophila in residential water supplies : environmental surveillance with clinical assessment for Legionnaires' disease. *Epidemiol. Infect.* 109(1), 49-57.
- [21] Lee, T.C., Stout, J.E., Yu, V.L., 1988. Factors predisposing to Legionella pneumophila colonization in residential water systems. *Arch. Environ. Health.* 43(1), 59-62.
- [22] Witherell, L.E., Duncan, R.W., Stone, K.M., Stratton, L.J., Orciari, L., Kappel, S., Jillson, D.A., 1988. Investigation of Legionella pneumophila in Drinking water. *J. Am. Water Works Assoc.* 80(2), 87-93.
- [23] States, S.J., Conley, L.F., Kuchta, J.M., Oleck, B.M., Wolford, R.S., Wadowsky, R.M., McNamara, A.M., Sykora, J.L., Keleti, G., Yee, R.B., 1987. Survival and multiplication of Legionella pneumophila in municipal Drinking Water Systems. *Appl. Environ. Microbiol.* 53(5), 976-986.
- [24] Benson, R.J., Thacker, W.L., Daneshvar, M.I., Brenner, D.J., 1996. Legionella waltersii sp.nov. and an unnamed Legionella genomospecies isolated from water in Australia. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 46(3), 631-634.
- [25] Broahead, A.N., Negron-Alvira, A., Baez, L.A., Hazen, T.C., Canoy, M.J., 1988. Occurrence of Legionella species in tropical rain water cisterns. *Caribb. J. Sci.* 24(1-2), 71-73.
- [26] Diederer, B. M. (2008). Legionella spp. and Legionnaires' disease. *The Journal of infection* 56, 1-12.
- [27] Fields, B. S., Benson, R. F. & Besser, R. E. (2002). Legionella and Legionnaires' disease: 25 years of investigation. *Clinical microbiology reviews* 15, 506-526.
- [28] Fry, N. K., Warwick, S., Saunders, N. A. & Embley, T. M. (1991). The use of 16S ribosomal RNA analyses to investigate the phylogeny of the family Legionellaceae. *Journal of general microbiology* 137, 1215-1222.



- [29]Verdon.J « caractérisation et mode d'action de la warnéricine RK, un peptide anti-legionella » Thèse de Doctorat, de université de Poitiers, faculté des sciences fondamentales et appliquées Ecole Doctorale : Sciences pour l'Environnement Gay Lussac 2009.
- [30]Farhat. M « Etude de la survie des légionelles et de la dynamique des populations microbiennes des réseaux d'eau chaude : Rôle des procédés de décontamination » Thèse de Doctorat, de université de Poitiers, Ecole doctorale : Ingénierie Chimique, Biologique et Géologique, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées 2009.
- [31] Yu, V.L., Plouffe, J.F., Pastoris, M.C., 2002. Distribution of Legionella species and serogroups isolated by culture in patients with sporadic community acquired legionellosis: an international collaborative survey. *Journal of Infectious Disease*.186, 127-128.
- [32]Benhamou, D., Bru, J.-P., Chidiac, C., Etienne, J., Léophonte, P., Marty, N., Poirier, R., Rouquet, R. M., 2005. Légionellose: définition, diagnostic et traitement. *Médecine et maladies infectieuses*. 35, 1-5.
- [33]O'Connell, W.A., Bangsberg, J.M., Cianciotto, N.P., 1995. Characterization of a Legionella micdadei mip mutant. *Infection and Immunity*.63, 2840-2845.
- [34]Ohnishi, H., Mizunoe, Y., Takade, A., Tanaka, Y., Miyamoto, H., Harada M., Yoshida, S. I., 2004. Legionella Dumoffii DjlA, a member of the DnaJ family, is required for intracellular growth. *Infection and Immunity*. 72, 3592-3603.
- [35]Jarraud, S., Reyrolle, M., Etienne, J., 1999. Diagnostic des Légionelloses. *Revue française des laboratoires*. 119-124.
- [36]Leclerc, H., Schwartzbord L., Dei Cas, E., 2002. Microbials agents associates with waterborne siseases. *Critical Reviews in Microbiology*.28, 371-409.
- [37] Leoni, E., Legnani, P. P., B. Sabbatini, M. A., Righi, F., 2001. Prevalence of Legionella spp. in swimming pool environment. *Water Research*.35, 3749-3753.
- [38] Alary, M., Joly, J. R., 1991. Risk factors for contamination of domestic hot water systems by Legionellae. *Applied and Environmental Microbiology*.57, 2360-2367.
- [39]Wadowsky, R. M., Yee, R. B., Mezmar, L., Wing, E. J., Dowling, J. N., 1982. Hot water systems as sources of *L. pneumophila* in hospital and nonhospital plumbing fixtures. *Applied Environmental Microbiology*.43, 1104-1110.
- [40]Fliermans, C. B., Cherry, W. B., Orrison, R. H., Smith, S. J., Tison, D. L., Pope, D. H., 1981. Ecological distribution of *L. pneumophila*. *Applied and Environmental Microbiology*, 41, 9-16.
- [41]Bollin, G.E., Plouffe, J.F., Para M.F., Hackman, B., 1985. Aerosol containing *L. pneumophila* generated by shower heads and hot water faucets. *Applied Environmental Microbiology*. 50, 1128- 1131.
- [42]Florea. C « la legionellose : mesures de lutte et de prévention contre la transmission de la maladie a l'hôpital » Thèse de Doctorat, Universite paris val de marne 2001.



- [43] Ohno, A., Kato, N., Yamada, K., Yamaguchi, K., 2003. Factors influencing survival of *Legionella pneumophila* serotype 1 in hot spring water and tap water. *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 2540-2547.
- [44] Dutka, B.J., 1984. Sensitivity of *Legionella pneumophila* to sunlight in fresh and marine waters. *Appl. Environ. Microbiol.* 48(5), 970-974.
- [45] Habicht, W., Muller, H.E., 1988. Occurrence and parameters of frequency of *Legionella* in warm water systems of hospitals and hotels in Lower Saxony. *Zentralbl. Bakteriologie Mikrobiologie Hygiene* 186(1), 79-88.
- [46] Wadowsky, R.M., Yee, R.B., 1985. Effect of non Legionellaceae bacteria on the multiplication of *Legionella pneumophila* in potable water. *Appl. Environ. Microbiol.* 49(5), 1206-1210.
- [47] Fliermans, C.B., Cherry, W.B., Orrison, L.H., Smith, S.J., Tison, D.L., Pope, D.H., 1981. Ecological distribution of *Legionella pneumophila*. *Appl. Environ. Microbiol.* 41 (1), 9-16.
- [48] Tison, D.L., Pope, D.H., Cherry, W.B., Fliermans, C.B., 1980. Growth of *Legionella Pneumophila* in association with blue-green algae (Cyanobacteria). *Appl. Environ. Microbiol.* 39(2), 456-459.
- [49] Palmer, C.J., Tsai, Y.L., Paszko-Kolva, C., Mayer, C., Sangermano, L.R., 1993. Detection of *Legionella* species in sewage and ocean water by polymerase chain reaction, direct fluorescent antibody, and plate culture methods. *Appl. Environ. Microbiol.* 59(11), 3618-3624.
- [50] Ortiz-Roque, C.M., Hazen, T.C., 1987. Abundance and distribution of Legionellaceae in Puerto Rican waters. *Appl. Environ. Microbiol.* 53(9), 2231-2236.
- [51] Heller, R., Holler, C., Sussmuth, R., Gundermann, K.O., 1998. Effect of salt concentration and temperature on survival of *Legionella pneumophila*. *Lett. Appl. Microbiol.* 26(1), 64-68.
- [52] Dawes, E.A., 1985. Growth and survival of bacteria. In J. S. Poindexter and E.R. Leadbetter (eds). *Bacteria in nature*, vol 3. Plenum Press, Inc., New York, N.Y. p67-187.
- [53] Devos, L., Clymans, K., Boon, N., Verstraete, W., 2005. Evaluation of nested PCR assays for the detection of *Legionella pneumophila* in a wide range of aquatic samples. *J. Appl. Microbiol.* 99, 916-925.
- [54] States, S.J., Conley, L.F., Ceraso, M., Stephenson, T.E., Wolford, R.S., Wadowsky, R.M., McNamara, A.M., Yee, R.B., 1985. Effects of metals on *Legionella pneumophila* growth in drinking water plumbing systems. *Appl. Environ. Microbiol.* 50(5), 1149-54.
- [55] Hoffmann R & Michel R (2001) Distribution of free-living amoebae (FLA) during preparation and supply of drinking water. *Int J Hyg Environ Health* 203: 215-219.
- [56] Thomas V, Loret JF, Jousset M & Greub G (2008) Biodiversity of amoebae and amoebae-resisting bacteria in a drinking water treatment plant. *Environ Microbiol* 10: 2728-2745.

- [57]Rohr U, Weber S, Michel R, Selenka F & Wilhelm M (1998) Comparison of free-living amoebae in hot water systems of hospitals with isolates from moist sanitary areas by identifying genera and determining temperature tolerance. *Appl Environ Microbiol*64: 1822-1824.
- [58] Kilvington S, Gray T, Dart J, Morlet N, Beeching JR, Frazer DG & Matheson M (2004) *Acanthamoeba keratitis*: the role of domestic tap water contamination in the United Kingdom. *Invest Ophthalmol Vis Sci*45: 165-169.
- [59] Barbaree JM, Fields BS, Feeley JC, Gorman GW & Martin WT (1986) Isolation of protozoa from water associated with a legionellosis outbreak and demonstration of intracellular multiplication of *Legionella pneumophila*. *Appl Environ Microbiol*51: 422-424.
- [60] Greub G & Raoult D (2002) Micro-organisms resistant to free-living amoebae. *Clin Microbiol Rev*; 17(2):413-33.
- [61] Leclerc H (2005) [*Legionella*: from environmental habitats to human disease]. *Bull Acad Natl Med* 189: 1221-1233; discussion 1233-1224.
- [62] Kramer MH & Ford TE (1994) Legionellosis: ecological factors of an environmentally 'new' disease. *Zentralbl HygUmweltmed*195: 470-482.
- [63] Koubar.M 2011 « Impact des facteurs environnementaux sur l'état physiologique et l'infectiosite de *legionella pneumophila lens* » Thèse de Doctorat Université de Poitiers.
- [64]Van der Kooij, D., Veenendaal, H.R., Scheffer, W.J., 2005. Biofilm formation and multiplication of *Legionella* in a model warm water system with pipes of copper, stainless steel and cross-linked polyethylene. *Water Res.* 39(13), 2789-2798.
- [65]Rogers, J., Dowsett, A.B., Dennis, P.J., Lee, J.V., Keevil, C.W., 1994. Influence of temperature and plumbing material selection on biofilm and growth of *Legionella pneumophila* in a model potable water system containing complex microbial flora. *Appl. Environ. Microbiol.*60(5), 1585- 1592.
- [66]Bezanson, G., Burbrige, S., Haldane, D., Yoell, C., Marrie, T., 1992. Diverse populations of *Legionella pneumophila* present in the water of geographically institutions served by the same water reservoir. *J. Clin. Microbiol.* 30(3), 570-576.
- [67] Putois.T « Etude du traitement de désinfection des eaux de refroidissement par le couplage H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV Application à une tour aéroréfrigérante » Thèse de Doctorat, Université de Grenoble 10/10/2012.
- [68][www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae02\\_v2.pdf](http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae02_v2.pdf)
- [69]Lin Y E, Vidic R D, Stout J E & Yu V L (1998) *Legionella* in Water Distribution Systems. *Journal American Water Works Association*90:112-121.
- [70]Thomas W M, Eccles J & Fricker C (1999) " Laboratory observations of biocide efficiency against *Legionella* in model cooling tower systems". ASHRAE Annual Meeting. Seattle. WA (US).06/18/ 1999-06/ 23/ 1999.American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc..Atlanta. GA (US).



- [86] Zimmer JL, Slawson RM & Huck PM (2007) A comparison of DNA repair and survival of *Escherichia coli* O157:H7 following exposure to both low- and medium-pressure UV irradiation. *Journal of Water and Health*5: 407-415.
- [87] Masschelein W.J (2002). "Ultraviolet light in water and waste water sanitation". Boca Raton, Lewis Publishers.
- [88] Xie. Y.F. (2004). "Disinfection Byproducts in Drinking Water". Boca raton. Lewis Publishers.
- [89]. Muraca. P.; Stout. J.E. et Yu. V.L. (1987). "Comparative assessment of chlorine, heat, ozone, and UV light for killing *Legionella pneumophila* within a model plumbing system." *Applied and Environmental Microbiology*53 : 447-453.
- [90] Triassi M, Di Popolo A, Ribera D'Alcala G, Albanese Z, Cuccurullo S, Montegrosso S, Crispino M, Borella P, Zarrilli R (2006) Clinical and environmental distribution of *Legionella pneumophila* in a university hospital in Italy: efficacy of ultraviolet disinfection. *Journal of Hospital Infection*62: 494-501.
- [91] Piyasena P, E Mohareb E, C McKellar R (2003) Inactivation of microbes using ultrasound: a review *International Journal of Food Microbiology*87: 207-216.
- [92] Ahn C, Park M, Joung S, Kim H, Jang K & Oh H (2003) Growth inhibition of cyanobacteria by ultrasonic radiation: laboratory and enclosure studies. *Environmental Science and Technology* 37:3031-3037.
- [93] Joyce E, Phull SS, Lorimer JP, Mason TJ (2003) The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions A study of frequency, power and sonication time on cultured *Bacillus* species *Ultrasonics. Sonochemistry*10: 315-318.
- [94] Declerck. P.; Vanysacker.L.; Hulsmans.A.; Lambert.N.; Liers. S. et Ollevier. F. (2010). "Evaluation of power ultrasound for disinfection of both *Legionella pneumophila* and its environmental host *Acanthamoeba castellanii*." *Water Research*44 (3): 703-710.
- [95] Allegra S, Grattard F, Girardot F, Riffard S, Pozzetto B & Berthelot P (2010) Longitudinal Evaluation of the Efficacy of Heat Treatment Procedures against *Legionella* spp in Hospital Water Systems by Using a Flow Cytometric Assay. *Applied and Environmental Microbiology*77: 1268-1275.
- [96] Rogers J, Dowsett AB, Dennis PJ, Lee JV & Keevil CW (1994 b) Influence of Plumbing Materials on Biofilm Formation and Growth of *Legionella pneumophila* in Potable Water Systems. *Applied and Environmental Microbiology*60:1842-1851.
- [97] Lin, Y.-s.E.; Vidie. R.D.; Stout. J.E. et Yu. V.L. (1998). "Legionella in Water Distribution Systems." *Journal American Water Works Association* 90 (9): 112121.
- [98] Altorkmany1 .L, Nordell2.Bo « Overview of Legionella bacteria infection; control and treatment methods ».
- [99] Bartram, J., Chartier, Y., Lee, J., Pond, K., Surman-Lee, S. (2007). *Legionella and the prevention of Legionellosis*. World Health Organization.



- [100] [www.inrs.fr/default/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED.../ed5012.pdf](http://www.inrs.fr/default/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED.../ed5012.pdf)
- [101] [www.7fr.wikipedia.org/wiki/Légionellose\\_prévention](http://www.7fr.wikipedia.org/wiki/Légionellose_prévention)
- [102] [www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/doc2011.pdf](http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/doc2011.pdf)
- [103] AMARA. S « Optimisation des approches d'énergies hybrides dans l'habitat Econome » Thèse de doctorat, université de Tlemcen 2009.
- [104] Kandilli C. and Ulgen K. (2007) Review and modelling the systems of transmission Concentrated solar energy via optical fibres. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 67–84.
- [105] Feuermann D, Gordon JM. (1999), Solar fibre-optic mini-dishes: a new approach to the efficient collection of sunlight. *Solar Energy* 1999; 65:159–70.
- [106] Feuermann D. and Gordon J. M. (2001), Experimental realization of solar fiber-optic mini-dishes. Israel Ministry of National Infrastructures. Final technical report RD-24-2001,
- [107] Gordon J. M. (2001), Solar energy engineering: a mini-revolution in Israel. *Refocus March*, 34–37.
- [108] Imbert B. and Pasquetti R. (1978), Détermination de la concentration géométrique d'un capteur solaire a miroir sphérique. *J. Optics (Paris)*. 1978, vol. 9, no 1, pp. 25-30.
- [109] Rabl A. (1976) Comparison of solar concentrators. *Solar Energy* 18, 93–111.
- [110] Amara. S, Nordell. B, Benyoucef. B, Benmoussat A 2011. Concentration heating system with optical fibre supply, *Procedia* 6, Elsevier, 805-814.

