



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN**  
**MEMOIRE**

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

**MASTER EN PHYSIQUE**

Spécialité : Physique énergétique et énergie renouvelable

Par :

**Mlle Atmani Sarra**

Sur le thème

---

**Désinfection des bactéries de légionelle par  
système à concentration solaire**

---

Soutenu publiquement le 06 juin 2024 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mr CHIALI Anisse	Docteur	ESSA-Tlemcen	Président
Mr AMARA Sofiane	Professeur	Université de Tlemcen	Encadrant
Mr BOUFATAH Réda	Docteur	Université de Tlemcen	Examineur



# Remerciement

Je remercie « ALLAH » le tout puissant de m'avoir donné le courage et la santé pour arriver à finir ce travail.

Sa patience et son expertise ont été essentielles à la réussite de ce mémoire. Je tiens également à remercier mon professeur AMARA Sofiane pour leur temps et leur soutien constant dans le domaine de « La désinfection des bactéries de légionelles par système à concentration solaire ». Leur enseignement a été précieux pour la réalisation de ce travail.

J'adresse mes remerciements à Mr CHIALI Anisse Docteur à l'université de Tlemcen, pour l'honneur d'avoir accepté de présider ce jury.

Je remercie Monsieur BOUFATAH Mohammed Réda d'avoir accepté de faire partie du Jury.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, par leurs conseils, leurs encouragements et leur soutien, à la réalisation de ce travail.





# Dédicace :



Avec tous mes Sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance,  
Je dédie ma remise de diplôme et ma joie

A mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié,  
« Maman ».

A celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à mon prince « Papa ».

A la plus importante personne dans ma vie, ma jumelle « Hadjer », merci pour être toujours là, merci pour ta confiance, merci de me soutenir dans mes moments difficiles, pour vos encouragements, merci ma puce.

A mes chères sœurs et mon frère, merci pour vos soutiens

A mon cher encadrant « Mr. Amara » pour avoir pris le temps de guider et accompagner mes recherches.

A mes chers collègues de promo physique énergétique et énergie renouvelable, je vous remercie pour vos amitiés, et je vous souhaite tout le bonheur du monde.



# Table de matières

Nomenclature	1
Introduction Générale	2
<b>Chapitre I :</b> <b>Problématique de la Légionellose</b>	
I-1. Introduction	5
I-2. Présentation clinique	6
I-2-1. La légionellose ou maladie du légionnaire	6
I-2-2. La fièvre de Pontiac	6
I-2-3. Syndrome extra pulmonaire	6
I-2-4. Caractéristiques Générale de légionelle	7
I-2-5. Cause de maladie	8
I-2-6. Les différentes espèces de légionelle	9
I-2-7. Les symptômes	11
I-2-8. Mode de transmission	12
I-3. Les Facteurs influençant la survie de Legionella dans l'eau	12
I-3-1. Température	12
I-3-2. Teneur en oxygène dissous	13
I-3-3. PH	14
I-3-4. Salinité	15
I-3-5. Rayonnement solaire	15
I-3-6. Présence de minéraux	15
I-4. Facteurs influençant la croissance de légionelle dans l'eau	15
I-4-1. Les amibes	15
I-4-2. Nature des matériaux	16
Conclusion	17

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

II-1. Introduction	19
II-2. Traitement Chimique	19
II-2-1. Chlore	19
II-2-2. Chloramines	21
II-2-3. Ionisation	22
II-2-4. Brome	23
II-2-5. Ozone	23
II-2-6. Peroxyde d'hydrogène	24
II-2-7. Les Isothiazolones	24
II-3. Traitement Physique	24
II-3-1. Ultraviolets	25
II-3-2. Ultrasons	26
II-3-3. Traitement thermique	27
II-4. Comparaison de l'efficacité de traitement de différentes méthodes de désinfection	28
II-5. Traitement Médical	29
II-5-1. Principe du traitement antibiotique	29
II-5-2. Stratégie thérapeutique	31
II-5-3. Prévention	31
Conclusion	33

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

III- Introduction	35
III-1. Système de production et de stockage d'eau chaude sanitaire	36
III-2. Conception du prototype concentrateur	39
III-3. Principe de fonctionnement	40
III-4. Etude expérimentale d'un prototype du système	41
III-5. Optimisation	43
1- Equation de transfert de chaleur	44
2- Equation d'énergie	44
Conclusion	46
Conclusion Générale	47
Bibliographie	49

## Liste des figures

**Figure I-1 :** Legionella Pneumophila

**Figure I-2 :** Légionelle Pneumophile

**Figure I-3 :** Représentation Schématique du comportement de Legionella en fonction de la température. (D'après Pecharman, 2002)

**Figure I-4 :** Effet des conditions aérobie et anaérobie sur la croissance de légionelle Pneumophile dans une eau à 35°C

**Figure II-1 :** Désinfection par chloration

**Figure II-2 :** évolution de la concentration en HClO en fonction de la température et du PH

**Figure II-3 :** Propriétés des différents types de chloramines

**Figure II-4 :** Ionisation Cuivre-Argent

**Figure II-5 :** Principe d'une ozonation

**Figure II-6 :** Le spectre électromagnétique

**Figure II-7 :** Spectre d'absorption de l'ADN

**Figure II-8 :** Influence de différente température sur Légionelle Pneumophile

**Figure II-9 :** Comparaison d'efficacité de différentes méthodes de désinfection de légionelle

**Figure II-10 :** Influence de différente température sur Légionelle Pneumophile

**Figure II-11 :** Stratégie du choix antibiotique

**Figure III-1 :** Un collecteur SOLUX sans le dôme de protection en acrylique

**Figure III-2 :** collecteur de lumière pour le traitement de l'eau

**Figure III-3 :** Réservoirs cylindriques

**Figure III-4 :** Aperçu du principe ABHE

**Figure III-5 :** Photo du système conçu

**Figure III-6 :** Variation du rayonnement horizontal diffus global et du plan incliné global dans Tlemcen

**Figure III-7 :** Températures dans l'ABHE pendant les mesures

**Figure III-8 :** Variation de température en fonction de puissance pour des différents échangeurs de chaleur.

## **Liste des tableaux**

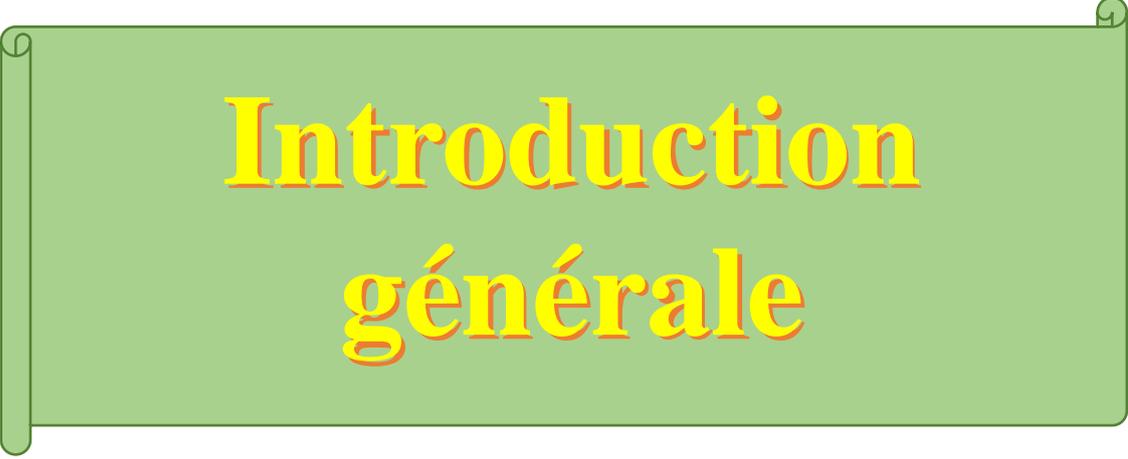
**Tableau I-1 :** Présence de légionelle dans les réservoirs et systèmes de distribution d'eau potable.

**Tableau I-2 :** Les différentes espèces de Légionelle isolées connues.

**Tableau III-1 :** Les avantages et les inconvénients de chaque traitement.

# Nomenclature

<b>TARs</b>	Tour aéroréfrigérante
<b>Log</b>	Logarithme décimal ou en base 10
<b>ADN</b>	Acide désoxyribonucléique
<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>SSP</b>	Programme de simulation de système
<b>SWEP</b>	Software for waves Energy Prospection



# Introduction générale

La légionellose est une maladie infectieuse causée par une bactérie appelée Légionelle Pneumophile. Cette bactérie se trouve naturellement dans les environnements aquatiques tels que les rivières, les lacs et les sols humides. Elle peut également proliférer dans les systèmes de distribution d'eau artificiels, tels que les tours de refroidissement, les systèmes de climatisation, les spas, les douches et les réseaux d'eau chaudes sanitaire.

La légionellose a été découverte pour la première fois lors d'une épidémie de pneumonie survenue lors d'une convention de vétérans de l'armée américaine à Philadelphie. Plusieurs participants à cette convention sont tombés malades, et certains en sont décédés. Les chercheurs ont identifié une bactérie jusqu'alors inconnue, qu'ils ont nommée Legionella Pneumophila, comme étant la cause de l'épidémie.

La légionellose se présente sous deux formes principales : la fièvre de Pontiac, qui est une infection légère et auto-limitante, et la maladie du légionnaire, qui est plus sévère et peut être fatale si elle n'est pas traitée rapidement.

La croissance des légionelles dans l'eau dépend principalement de la température et de niveau d'acidité. Ces bactéries se développent le plus efficacement entre 25°C et 45°C lorsque le PH est neutre ou légèrement acide. Elles peuvent survivre à des températures allant de 5°C à 63°C, avec un PH compris entre 5,5 et 8,1, mais sont détruites à des températures supérieures à 60°C. Ces dernières années, plusieurs études ont été réalisées sur cette bactérie, les premières publications sur un cas légionellose remontant à 1978.

Le but principal de ce mémoire était d'éliminer les bactéries des légionelles en utilisant un traitement thermique, reconnu comme étant plus efficace que d'autres méthodes. Ce traitement repose sur l'utilisation de concentrateurs solaires pour convertir l'énergie solaire en chaleur, chauffant ainsi l'eau à la température nécessaire pour la désinfection.

Dans cette recherche, nous examinerons certains des aspects essentiels qui contribueront à éradiquer les bactéries des légionelles, notamment :

Le système de collecteur de lumière étudié pour le traitement de l'eau des bactéries Legionella, est une conception inspirée du système de concentration solaire avec alimentation par fibre optique. Son objectif est de focaliser les rayons solaires incident sur un récepteur central (appelé le focus), puis de transférer cette énergie absorbée par l'échangeur dans le foyer.

Ce travail est divisé en trois chapitres :

-Le premier chapitre consiste en revue de la littérature, dont la présentation clinique qui comprend la cause cruciale de cette maladie et ses symptômes.

-Dans le deuxième chapitre, nous avons souligné les différentes méthodes de traitement, à savoir la prévention contre la bactérie.

-Dans le dernier chapitre, nous avons développé un nouveau système à concentration solaire pour éradiquer les bactéries des légionelles par le traitement thermique.



**Chapitre I :  
Problématique de la  
légionellose**

### I.1-Introduction :

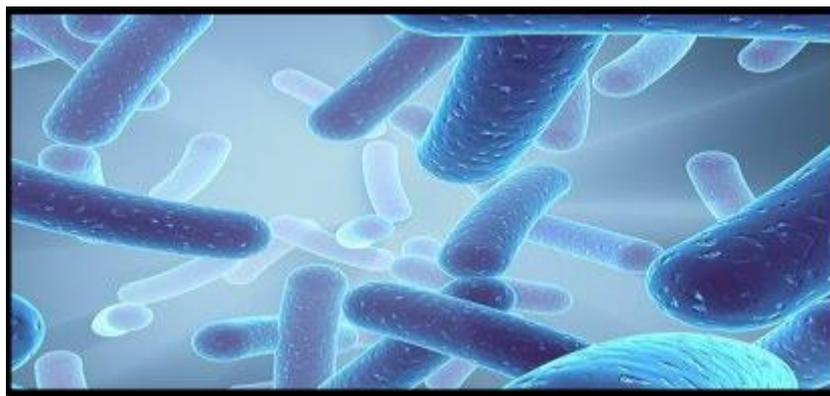
Au cours de la 56<sup>ème</sup> convention de la légion américaine à Philadelphie en 1976, 188 anciens légionnaires ont été atteints d'une pneumonie atypique, mortelle pour 29 d'entre eux (Fraser et al., 1977). Une étude épidémiologique a identifié la présence d'un agent pathogène dans l'hôtel où résidaient les participants, suggérant une contamination par voie aérienne, probablement via le système de climatisation. L'agent bactérien responsable de cette épidémie a été isolé en 1977 (McDade et al., 1977) et nommé Legionella en hommage aux membres de la Légion touchés. La maladie a été désignée sous le nom de "maladie des légionnaires" ou légionellose [4].

L'agent pathogène *L. pneumophila*, en particulier le sérotype 1, est identifié comme la cause de la légionellose, une infection respiratoire associée à un taux de mortalité d'environ 15 %. Actuellement, on dispose de 15 sérotypes pour cette bactérie. En France, environ 90 % des cas de maladie du légionnaire sont causés par elle et chaque année, plus d'un millier de cas sont officiellement déclarés [42].

Le sérotype 1 est le plus répandu (70 à 90 %) suivi du sérotype 6 (Les autres espèces sont généralement isolées chez les personnes immunodéprimées) (Jarraud et al., 2000) [14], [4].

Les légionelles présentent la particularité d'avoir un tropisme hydrique et d'être ainsi largement répandues dans la nature ; tant dans les réservoirs naturels (eaux douces, rivières, boues, ...) qu'artificiels (réseaux de distribution d'eau chaude, systèmes de climatisation, tours aérorefrigérantes, eaux thermales, ...) (Fliermans et al., 1981 ; Stout et al., 1985 ; Greubll et Raoult, 2004). Les légionelles sont particulièrement présentes dans les tours aérorefrigérantes car elles y trouvent des paramètres favorables à leur développement : température élevée, humidité, concentration importante en oxygène à l'interface air / eau, addition de nutriments.

Le facteur le plus important qui détermine le taux de croissance, de multiplication, de survie et de mort de tout organisme vivant est la température. Les enzymes catalysent une série coordonnée de réactions chimiques qui assurent la croissance et la reproduction des organismes vivants [1].

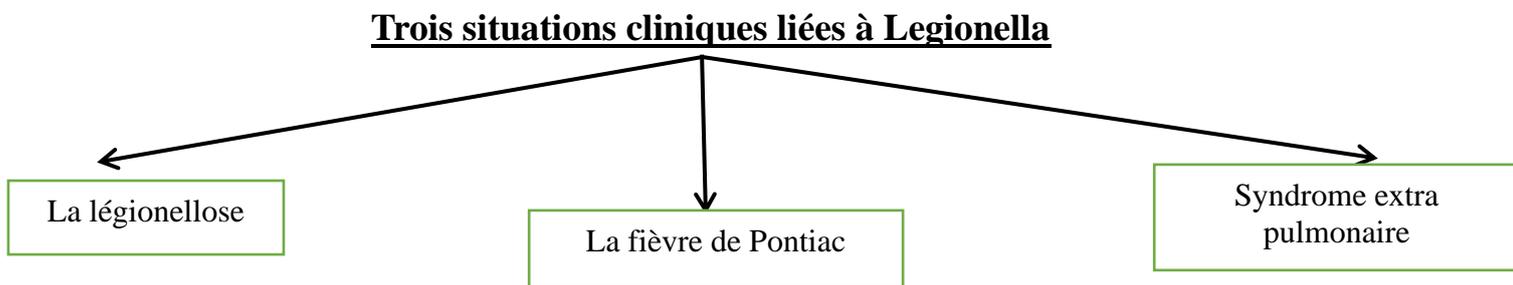


**Figure I-1** : Legionella Pneumophila [29].

### I.2-Présentation Clinique :

Les bactéries du genre Legionella présentent un risque potentiel pour la santé humaine, avec des niveaux de gravité variables selon les manifestations de la maladie : une forme légère connue sous le nom de fièvre de Pontiac et une forme plus grave, la légionellose, qui peut évoluer vers des infections extra-pulmonaires chez certains patients [3].

Les individus se contaminent en inhalant des aérosols ou des microgouttelettes d'eau contaminés, qui sont produits à la fois par des sources naturelles telles que les points d'eau, et par des installations créées par les activités humaines comme les tours aéroréfrigérantes, les climatiseurs, les douches, les fontaines, les spas, etc. Ainsi, cette pathologie est étroitement liée à l'avancée technologique humaine, favorisant son émergence et sa propagation. À ce jour, aucune transmission interhumaine de la maladie n'a été documentée [4].



**I.2.1-La légionellose ou maladie du légionnaire :** La légionellose, une infection potentiellement fatale, est provoquée par les bactéries Legionella, notamment l'espèce Legionella pneumophila qui est la plus répandue. Cette maladie se caractérise par une infection grave des poumons. Son émergence récente est attribuée à son adaptation aux systèmes modernes d'alimentation en eau. Bien qu'aucun vaccin ne soit disponible, la prévention est possible, et une administration rapide d'antibiotiques s'avère efficace dans certains cas.

La légionellose, habituellement associée aux poumons, peut aussi toucher divers organes tels que le cœur, les yeux, les tissus adipeux, le système digestif et les reins. En particulier, une implication du système musculaire peut entraîner le décès du patient dans de nombreux cas [3],[6],[7],[8].

**I.2.2-La fièvre de Pontiac :** Une forme de légionellose non pneumonique. Ses symptômes ressemblent à ceux d'une forte grippe, comme des douleurs musculaires ou de la fièvre. Elle n'a aucun effet à long terme et guérit généralement en une semaine [9].

**I.2.3Syndrome extra pulmonaires :** La légionellose peut parfois se propager à d'autres organes. Legionella pneumophila a ainsi été trouvée dans la rate, le foie, les reins, le myocarde, les os, la moelle osseuse, les articulations, les ganglions lymphatiques et l'appareil digestif, provoquant des sinusites, des cellulites ou des pancréatites [9].

### I.2.4 Caractéristiques générales de légionelle :

Les légionelles, des bactéries à Gram négatif, sont généralement présentes dans des environnements humides, tels que les eaux non salées, et certaines espèces peuvent causer une pneumopathie humaine appelée légionellose. Voici quelques caractéristiques clés des légionelles :

- Bacilles à Gram négatif : Elles ne réagissent pas à la coloration de Gram.
- Flagelles polaires : Elles possèdent des flagelles polaires, leur permettant de se déplacer.
- Intracellulaires facultatives : Elles peuvent coloniser les amibes dans les milieux aquatiques ou les cellules animales
- Présence dans les milieux humides : Elles sont généralement trouvées dans des environnements humides tels que les eaux non salées, les tours de refroidissement, les systèmes d'eau chaude, etc.
- Capacité à causer la légionellose : Certaines espèces peuvent entraîner une pneumopathie humaine, caractérisée par des symptômes grippaux tels que fièvre, frissons, toux et difficultés respiratoires.



**Figure I-2 :** Légionelle pneumophile [35].

La légionelle pneumophile peut se développer dans une plage de températures allant de 25 à 42 °C. Elle est capable de survivre à des températures aussi élevées que 60 °C et dans des environnements dont le pH varie entre 2,7 et 8,3 [36], [37], [38], [31],[32].

Le seul moyen de transmission se fait par l'inhalation d'aérosols contenant des légionelles provenant d'eaux contaminées [20], [44].

### I.2.5- Cause de maladie :

La théorie la plus répandue concernant l'infection par la Légionelle est que celle-ci se produit par inhalation de petites particules d'aérosol contenant la bactérie, émises par les sources d'eau.

Les légionelles vivent dans des sols humides et des eaux douces (lacs, rivières, étangs, marais, sources, etc.). Ils se multiplient en infectant les amibes, des micro-organismes fréquents dans les eaux douces. Ils vivent dans l'eau à 30 à 60 °C (voir le tableau I-1) [33], [11].

Les légionelles sont également présentes dans les installations humaines pour les eaux. Ce sont des **bactéries** intracellulaires mais qui peuvent survivre à l'extérieur des cellules. La présence de dépôts organiques et d'autres micro-organismes, ainsi que de fer, zinc et aluminium dans les installations favorisent leur croissance. Elles sont résistantes à la chaleur et peuvent de ce fait être retrouvées au fond de cuves d'eau chaude [10].

Cadre	Concentrations retrouvées	Références
Hôpital	$\sim 2, 5.10^3$ UFC/mL	Leoni <i>et al.</i> , 2005
		Perola <i>et al.</i> , 2005
		Alary et Joly, 1992
		Goetz <i>et al.</i> , 1998
		Pan <i>et al.</i> , 1996
Hôtel	Concentration moyenne de $1, 9.10^3$ UFC/L et 19, 4 % des échantillons sont $\geq 10^4$ UFC/ml	Borella <i>et al.</i> , 2005
	Qualitatif : présence de colonies ou pas (7 échantillons positifs sur 20)	Alexiou <i>et al.</i> , 1989
		Hossain et Hoque, 1994
Réseaux municipaux		Stout <i>et al.</i> , 1992
		Lee <i>et al.</i> , 1988
		Witherell <i>et al.</i> , 1988
	$\sim 10^3$ UFC/mL	States <i>et al.</i> , 1987
		Benson <i>et al.</i> , 1996
		Broadhead <i>et al.</i> , 1988

**Tableau I-1 :** Présence de légionelle dans les réservoirs et systèmes de distribution d'eau Potable [14].

### I.2.6-Les différentes espèces de légionelle :

La famille des Legionellaceae appartient à la subdivision  $\gamma$  des protéobactéries et se compose d'un seul genre, le genre Legionella [5], [34], [44], [45].

En culture, environ 48 espèces de Legionella ont été identifiées, formant un total de 70 sérogroupes différents (voir Tableau I-2) [5]. L'espèce Legionella pneumophila est la plus fréquemment observée lors des épidémies de légionellose, représentant entre 80 et 85 % des cas. Elle est divisée en 15 à 16 sérogroupes différents selon les sources, parmi lesquels les sérogroupes 1 (Sg. 1) et 6 sont responsables de deux tiers des infections [5],[46]. Les autres espèces ne sont impliquées que dans environ 20 % des infections [47].

D'autre part, les espèces les plus fréquemment impliquées incluent Legionella micdadei (la seconde cause de maladie après Legionella pneumophila) [48], Legionella longbeachae (la plus fréquente en Australie), Legionella Dumoffii (classée quatrième ou cinquième en termes de fréquence causant la légionellose) et Legionella bozemanii. Ces bactéries ont principalement été isolées chez des individus immunodéprimés [49], [39].

Par ailleurs, de nouvelles espèces ont été découvertes grâce au séquençage. Regroupées sous le terme générique "uncultured Legionella" dans la base de données GenBank, ces espèces sont encore peu documentées, seules des informations limitées telles que leur séquence et leur environnement d'origine étant disponibles. Cependant, leur découverte témoigne de l'immense diversité au sein du groupe [20].

N°	Espèce	Nombre de Sérogroupes	de	Nombre de Sérogroupes Associés à une pathologie
1	L.Pneumophila	15		15
2	L.bozemanii	2		2
3	L.dumoffii	1		1
4	L.micdadei	1		1
5	L.longbeachae	2		2
6	L.jordanis	1		1
7	L.wadsworthii	1		1
8	L.hackeliae	2		2
9	L.feeleii	2		2
10	L.maceachernii	1		1
11	L.birminghamensis	1		1
12	L.cincinnatiensis	1		1
13	L.gormanii	1		1

14	L.sainthelensi	2	2
15	L.tucsonensis	1	1
16	L.anisa	1	1
17	L.lansingensis	1	1
18	L.erythra	2	1
19	L.parisiensis	1	1
20	L.oakridgensis	1	1
21	L.spiritensis	1	
22	L.jamestowniensis	1	
23	L.santicrucis	1	
24	L.cherrii	1	
25	L.steigerwaltii	1	
26	L.rubrilucens	1	
27	L.israelensis	1	
28	L.quinlivanii	2	
29	L.brunensis	1	
30	L.moravica	1	
31	L.gratiana	1	
32	L.adelaidensis	1	
33	L.fairfieldensis	1	
34	L.shakespearei	1	
35	L.waltersii	1	
36	L.genomospecies	1	
37	L.quateirensis	1	
38	L.worsleiensis	1	
39	L.geestiana	1	

40	L.natarum	1	
41	L.londoniensis	1	
42	L.taurinensis	1	
43	L.lytica	1	
44	L.drozanskii	1	
45	L.rowbothamii	1	
46	L.fallonii	1	
47	L.gresilensis	1	
48	L.beliardensis	1	

**Tableau I-2 :** Les différentes espèces de Légionelle isolées connues [5].

### **I.2.7-Les Symptômes :**

La maladie légionnaire est un type de pneumonie grave qui se manifeste généralement 2 à 10 jours après l'exposition à la bactérie Legionella [12].

Les symptômes et signes initiaux les plus courants comprennent les suivants :

- Des maux de tête,
- Des douleurs musculaires
- Un malaise général.

Après quelques jours, d'autres symptômes apparaîtront, tels que :

- La fièvre (jusqu'à environ 40 à 40,5 °C ou 104 à 105 °F).
- Des symptômes gastro-intestinaux tels que des nausées, des vomissements et une diarrhée.
- Une toux sèche causée par des douleurs thoraciques.
- Un essoufflement ou des difficultés respiratoires de confusion ou d'autres changements de l'état mental [12]. Donc, C'est une maladie à déclaration obligatoire d'autant plus que la mortalité est très élevée, elle est de 15% et 30% pour les gens qui sont immunodéprimés, donc c'est une maladie qu'à une période d'incubation de 2 à 10 jours, ça commence par une espèce de syndrome grippal un peu bizarre avec des maux de tête, de la fièvre des courbatures et des signes digestifs qui peuvent entraîner un retard de diagnostic car on a avoir des douleurs abdominales de la diarrhée. Et des personnes fragiles en revanche 50% des gens sont fumeurs car en fait des microlésions créées par le tabac entraîne une contamination plus facile de cette légionellose.

### **I.2.8-Mode de Transmission :**

- ❖ La présence de Legionella typique dans l'eau et le sol n'est pas automatiquement liée à la propagation de la maladie.

L'inhalation d'aérosols (gouttelettes d'eau en suspension dans l'air) contaminés provenant d'environnements aquatiques est une des voies de transmission chez l'être humain. Les bactéries présentes dans l'organisme peuvent pénétrer dans les alvéoles pulmonaires après l'inhalation. Elles envahissent les cellules immunitaires appelées macrophages, qu'elles finissent par détruire. L'aspiration d'eau contaminée peut également transmettre la bactérie.

- ❖ La présence de légionelles dans l'eau n'est pas suffisante pour causer la maladie [13].

Les trois conditions suivantes doivent au moins être combinées :

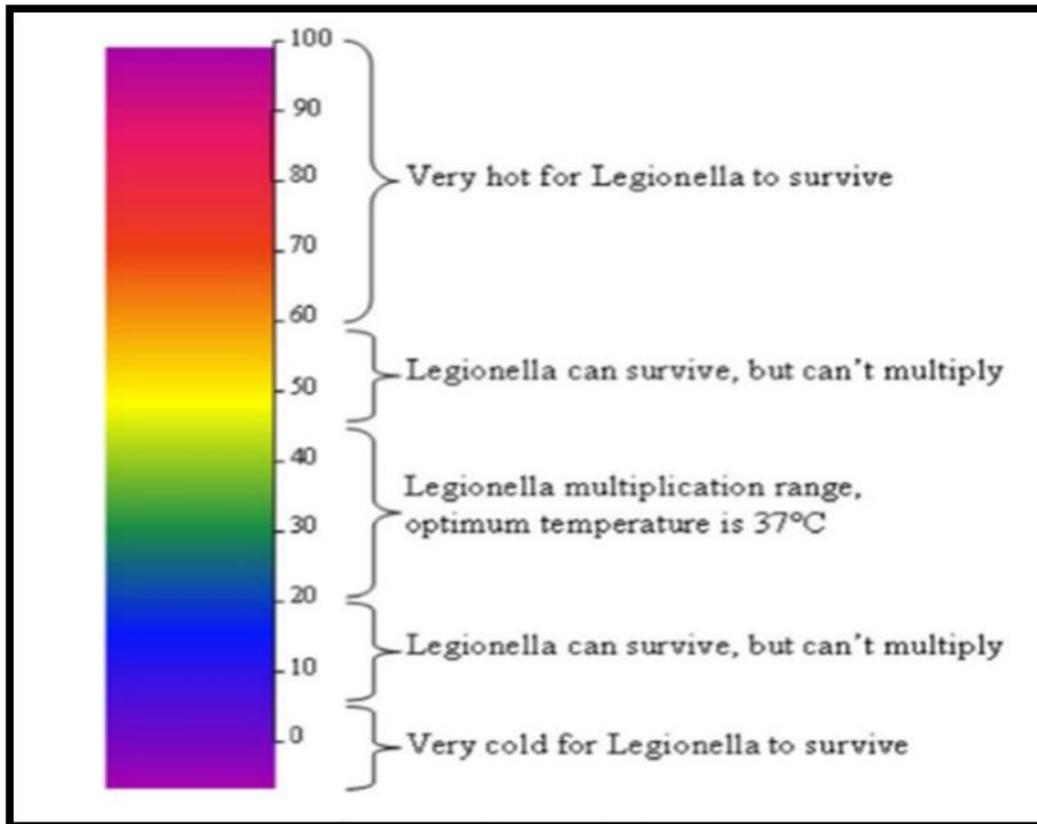
- Contamination de l'eau par des agents pathogènes de Legionella (aucune relation dose-effet) l'effet n'a pas été quantifiée) [13].
- aérosolisation en gouttelettes de moins de 5 µm [13].
- Exposition de personnes, en particulier de personnes réceptives aux infections (inhalation de microgouttelettes d'eau contaminée dans les poumons) dans l'environnement d'une installation contaminée (exemples : TAR, prise d'une douche, exposition à un spa, brumisateurs, ...) [13].

### **I.3 Les Facteurs influençant la survie de Legionella dans l'eau :**

Les bactéries qui vivent dans des environnements aquatiques sont souvent soumises à des niveaux élevés de stress en raison de variations de température, de teneur en oxygène, de pH, de salinité et même des rayonnements solaires et ultraviolets [14],[41], [40].

#### **I.3.1 Température :**

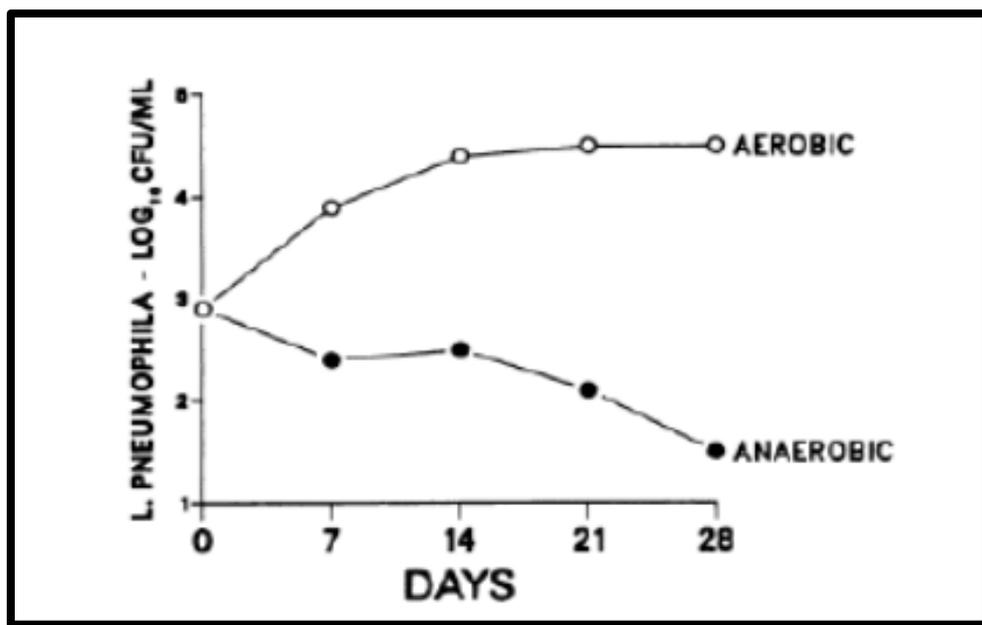
L'un des facteurs les plus influents sur la survie et la prolifération de Legionella est probablement la température. Bien que Legionella se multiplie généralement dans les milieux hydriques à des températures allant de 20°C à 45°C et qu'elle est capable de survivre entre 6°C et 66°C, elle serait capable, au regard de certaines études, de survivre dans une gamme de températures plus large encore [14], [30], [31], [32], [33].



**Figure I-3 :** Représentation schématique du comportement de Legionella en fonction de la température [131].

### **I.3.2 Teneur en oxygène dissous :**

Étant une bactérie aérobie, la Légionelle nécessite une concentration minimale d'oxygène dissous de 2,2 mg/L pour se développer dans l'eau potable. Cela est corroboré par une diminution de 1,7 logarithme dans la population de bactéries en état anaérobie sur une période de 28 jours. Parallèlement, dans des conditions aérobies à 35°C, on observe une croissance de 1,6 logarithme de la Légionelle (voir Figure 2) [14].



**Figure I-4 :** Effet des conditions aérobie et anaérobie sur la croissance de Légionelle Pneumophile dans une eau à 35 °C [14], [31].

En revanche, un excès d'oxygène dissous dans l'eau semble inhiber la capacité des légionelles à se cultiver (Borella et al., 2005 ; Fliermans et al., 1981). En effet, Fliermans et ses collègues (1981) ont observé une diminution de cette capacité lorsque les niveaux d'oxygène dépassent 5 mg/L. Cette constatation a été récemment corroborée par Borella et ses collaborateurs (2005) : une concentration en oxygène dissous supérieure à 3 mg/L offre une protection contre la présence de légionelles cultivables dans les systèmes d'eau [14].

Toutefois, il convient de prendre ces résultats avec précaution, car Fliermans et al. (1981) ont réussi à isoler des *L. pneumophila* cultivables à partir d'échantillons d'eau prélevés dans des lacs, des puits et des rivières présentant des niveaux d'oxygène dissous variant de 0,3 à 9,2 mg/L. Cette constatation souligne une fois de plus la remarquable capacité d'adaptation de cette bactérie.

### **I.3.3-PH :**

Le pH de l'eau influence considérablement la croissance et la propagation des légionelles. Les eaux ayant un pH bas fournissent un environnement propice à leur développement, tandis que les eaux ayant un pH élevé limitent leur croissance et leur multiplication. Ainsi, il est crucial de surveiller et de maintenir un pH adéquat dans les sources d'eau afin de réduire le risque d'infection par les légionelles. Wadowsky et al. (1985) [31] ont examiné son impact sur des échantillons d'eau potable prélevés à partir de réservoirs d'eau chaude infectés par Légion. Ils ont modifié le pH de l'eau en ajoutant de l'acide (HCl) ou de la base (NaOH) et ont découvert que la croissance de Légionelle est possible dans l'eau potable pour des pH variant de 5,5 à 9,2 avec un pH optimal de 6,9 [14], [31], [16].

- **pH faible** : les légionelles peuvent se développer et se multiplier rapidement dans des eaux à pH faible, ce qui peut augmenter le risque d'infection.
- **pH élevé** : les légionelles sont moins capables de se développer et de se multiplier dans des eaux à pH élevé, ce qui peut réduire le risque d'infection.

### **I.3.4-Salinité :**

Peu d'études ont été menées sur la présence de Legionella dans les eaux salées, et les quelques études qui ont été menées ne sont pas en mesure de faire la distinction entre les bactéries métaboliquement actives et non métaboliquement actives [17], [14]. D'autres recherches ont examiné l'impact combiné de la salinité et de la température nécessaire pour la croissance de L. pneumophila. Ils ont démontré que les variations de la concentration des sels ont peu d'impact sur la culture de Legionella à des températures allant de 4 ° C à 20 ° C [18]. Legionella peut être cultivée dans des solutions contenant jusqu'à 3 % de salinité dans cette plage de températures. En revanche, des concentrations élevées en sels, entre 30°C et 37°C, les fortes concentrations en sels (supérieures à 1,5 %) provoquent une forte diminution du nombre de bactéries cultivables [14].

### **I.3.5- Rayonnement solaire :**

l'exposition au rayonnement solaire. En effet, une diminution de 5 logarithmes des Legionella cultivables est observée après 6 heures d'exposition solaire naturelle (Dutka, 1984). Cette étude révèle également que Legionella est plus résistante dans l'eau que d'autres bactéries telles que Pseudomonas aeruginosa ou E. coli, pour lesquelles la perte de cultivabilité est totale après respectivement 4 et 3 heures d'exposition solaire naturelle (Dutka, 1984). Cette résistance a été confirmée par l'étude d'Oguma et al. (2004), qui a démontré une sensibilité moindre des légionelles aux rayonnements UV par rapport à E. coli. Deux hypothèses sont avancées pour expliquer ce phénomène. D'une part, Legionella possède une activité photolyase plus élevée que E. coli, lui permettant de réparer plus rapidement son contenu pyrimidique (Oguma et al., 2004). D'autre part, Tully (1991) a identifié un plasmide conjugué de 69 kb conférant aux souches de L. pneumophila une sensibilité moindre aux rayonnements UV, bien que les mécanismes précis restent encore inconnus [14].

### **I.3.6- Présence de minéraux :**

Effectivement, il est bien établi que les minéraux jouent un rôle crucial dans le métabolisme bactérien (Dawes, 1985). Cependant, en ce qui concerne Legionella, aucune corrélation n'a été établie entre la présence de certains sels minéraux tels que le chlorure, les nitrites, les nitrates, les phosphates, et les sulfates, et la présence de Legionella dans l'eau (Devos et al., 2005). Une première étude, menée par States et ses collaborateurs (1985), a toutefois indiqué qu'un faible niveau de certains minéraux comme le fer, le zinc et le potassium était un facteur déterminant dans la survie et la multiplication de L. pneumophila dans l'eau du robinet. En revanche, des concentrations trop élevées (entre 10 et 100 mg/L) de ces minéraux peuvent être toxiques [14].

## **I.4 Facteurs influençant la croissance de Légionelle dans l'eau :**

Les protozoaires, dont la multiplication est favorisée par le biofilm, contaminent les réseaux d'eau potable par des légionelles [14].

### **I.4.1-Les amibes :**

Les amibes sont des protozoaires (unicellulaires eucaryotes) de taille variable, pouvant aller de 20 µm à 1 mm de longueur mais fréquemment allant de 200 à 500 µm. Les amibes libres ont été isolées à partir de nombreuses sources et peuvent coloniser les réseaux d'eau :

Les eaux de pluie [25],[26] réseaux d'eau potable [26],[27],[28] et systèmes de refroidissement.

### **I.4.2- Nature des Matériaux :**

Les réseaux de distribution sont construits avec une variété de matériaux, tels que le cuivre, l'acier inoxydable, l'acier galvanisé et le PVC, et chaque matériau a un comportement différent en ce qui concerne la prolifération bactérienne [20].

Ces éléments utilisés ont un impact sur la distribution. À l'inverse des matériaux plastiques (PVC, PE, PEX) qui semblent favoriser la colonisation durable, le cuivre semble la limiter plus ou moins [23],[22],[24], [14].

### **Conclusion :**

Dans la première partie, nous avons présentés la maladie de Légionellose, et la bactérie responsable de 90% de la maladie est Legionella Pneumophila.

Dans la deuxième partie, nous avons détailler sue les divers facteurs qui peut exécuter la survie et la prolifération de la bactérie, tels que :

- ❖ La Température
- ❖ Teneur en oxygène dissous
- ❖ PH
- ❖ Salinité
- ❖ Rayonnement solaire
- ❖ Présence de minéraux
- ❖ Les amibes
- ❖ Nature de matériaux

Donc, Nous avons décidé d'étudier les différentes méthodes de traitement pour lutter contre cette Bactérie.

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

## **II -1-Introduction :**

En raison de l'importance et de l'actualité mondiale de la légionellose et de ses effets remarquables sur la santé humaine, plusieurs méthodes de traitement ont été découvertes pour la désinfection des bactéries de légionelle qui implique à éliminer ou réduire la présence de ces agents pathogènes dans les systèmes d'eau. Les méthodes actuelles incluent : traitement chimique, physique et thermique...

L'intégration judicieuse de ces méthodes, adaptée à la complexité des systèmes de distribution d'eau, est essentielle pour garantir une protection efficace contre la légionellose et maintenir la qualité de l'eau. La recherche continue explore des technologies émergentes pour renforcer l'arsenal de lutte contre cette bactérie pathogène. Cette Section vise à faire une synthèse exhaustive des techniques conventionnelles. Il y aura des traitements préventifs et des traitements chocs.

## **II-2-Traitement chimique :**

Le traitement chimique visant à désinfecter les bactéries de Legionella qui implique l'utilisation de produits chimique spécifiques dans les systèmes d'eau. Des agents oxydants comme le chlore ou le dioxyde de chlore, les peroxydes, ou d'autres Biocides sont couramment employés. Ces désinfectants sont introduits selon des protocoles rigoureux pour éliminer efficacement les colonies de Legionella. Cependant, Il est important de suivre les recommandations professionnelles pour la quantité et la fréquence d'application, tout en surveillant régulièrement les concentrations de désinfectants pour garantir l'efficacité du traitement sans compromettre la sécurité. En parallèle, la maintenance régulière des installations et la gestion des facteurs favorisent la croissance de Legionella comme les systèmes de refroidissement, des tours d'eau et d'autres installations où Legionella peut proliférer.

### **II-2-1 Chlore :**

Le chlore est largement utilisé pour désinfecter les bactéries de Legionella dans l'eau. Cette méthode de désinfection est bien établie et largement documentée dans la littérature scientifique. Par exemple, une étude de Fields et al. (2002) a démontré l'efficacité du chlore dans le contrôle de la croissance des bactéries de Legionella dans les systèmes d'eau. De plus, une revue de la littérature menée par Lin et al. (2011) a examiné diverses stratégies de désinfection pour prévenir la prolifération de Legionella dans les réseaux d'eau, et a conclu que le chlore était l'un des désinfectants les plus efficaces [34].

Le chlore, par l'intermédiaire de l'ion hypochloreux  $\text{HClO}^-$ , est un désinfectant puissant qui peut pénétrer la membrane cellulaire et inhiber les fonctions enzymatiques de la bactérie.

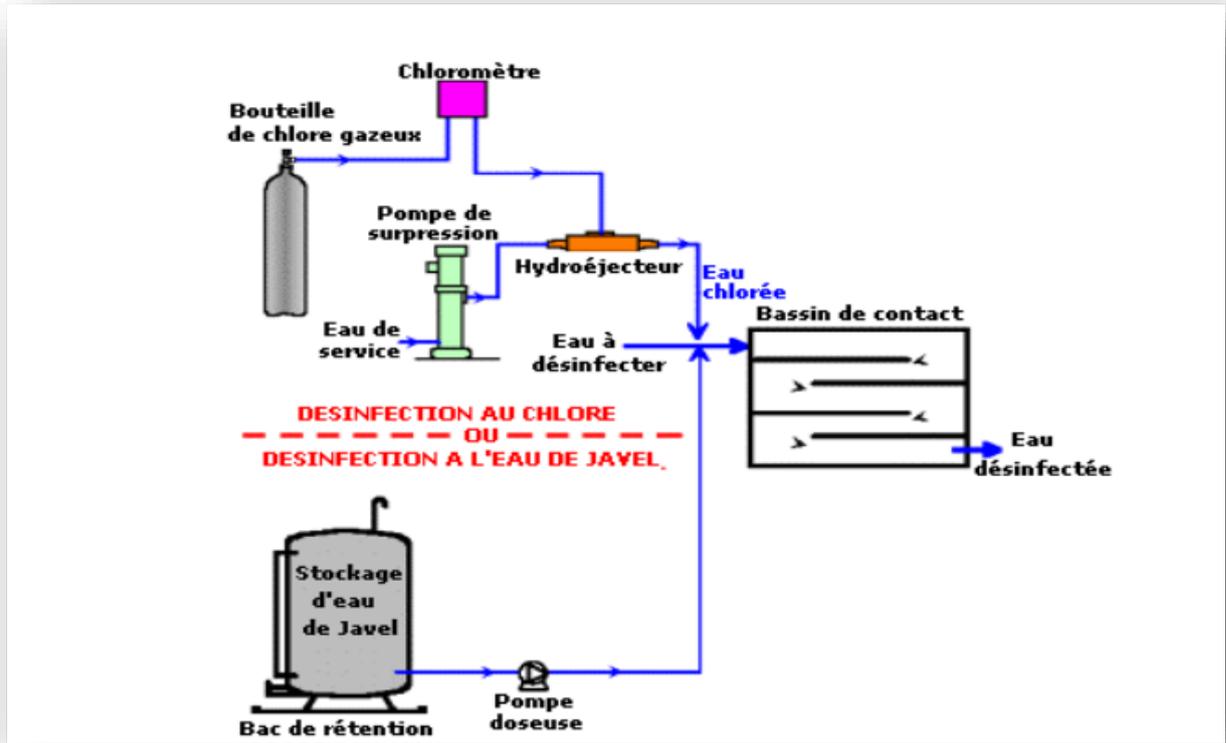


Figure II-1 : Désinfection par chloration

Ce désinfectant est produit à travers d'une bouteille de chlore gazeux (Figure 1-1). Et son efficacité dépend du PH du milieu et il nécessite un endroit particulier pour le Stockage.

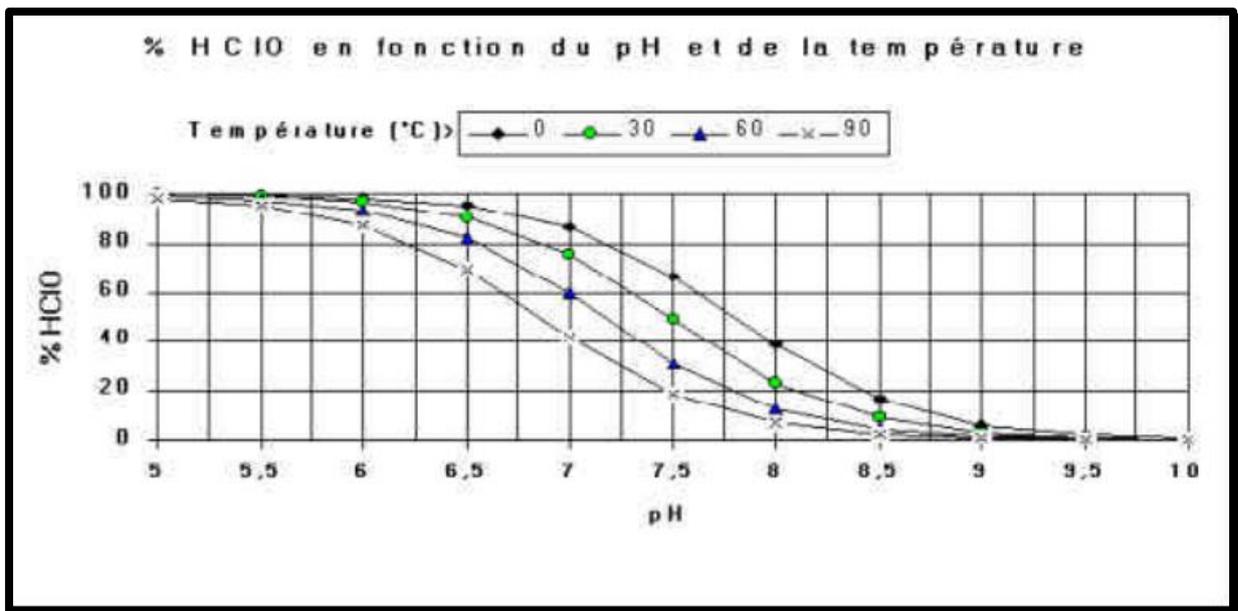


Figure II-2 : évolution de la concentration en HClO en fonction de la température et du pH

En se reliant à la bouteille, un hydroéjecteur combine le chlore gazeux avec l'eau de service après son passage dans un chloromètre, créant ainsi une solution aqueuse concentrée de chlore. Le débit maximal de prélèvement à partir d'une bouteille est d'environ 1,3 à 1,4 kg/h à une température de 20°C.

Il nécessite d'avoir un taux résiduel de chlore de 1 à 6 mg/l pour contrôler les légionelles pneumophile. Lorsque les légionelles sont associées à des amibes, cette concentration doit être augmenté.

De plus, comme les autres composés chlorés, il présente une grande facilité d'utilisation.

Un inconvénient majeur de l'utilisation du chlore pour la désinfection des bactéries de Legionella est sa tendance à former des sous-produits chlorés, tels que les trihalométhane, qui peuvent être potentiellement nocifs pour la santé humaine.

### **II -2-2 Chloramines :**

La Chloramines est un composé chimique formé par la combinaison d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) avec du chlore ( $\text{Cl}_2$ ) dans le traitement de l'eau. Elle est utilisée comme agent désinfectant dans les installations de traitement de l'eau potable pour éliminer le micro-organisme pathogène. Cependant, l'utilisation de Chloramines peut présenter des préoccupations en raison de la formation de Sous-produits potentiellement nocifs.

Les chloramines sont aussi efficaces que le chlore pour la partie qui concerne la désactivation de bactéries ou autres micro-organiques, cependant le mécanisme de réaction est plus lent. Les chloramines comme le chlore sont des agents oxydants. Les chloramines peuvent tuer les bactéries par pénétration de la cellule et blocage du métabolisme.

formule	nom	masse moléculaire	Domaine pH	efficacité désinfection
$\text{NH}_2\text{Cl}$	monochloramine	52	> 7	bonne
$\text{NHCl}_2$	dichloramine	85	4 - 7	tolérable
$\text{NCl}_3$	trichloramine	119	1 - 3	moyenne
$\text{RNHCl}$	chloramines organiques	varie	inconnu	mauvaise

**Figure II-3 :** propriétés des différents types de chloramines [51].

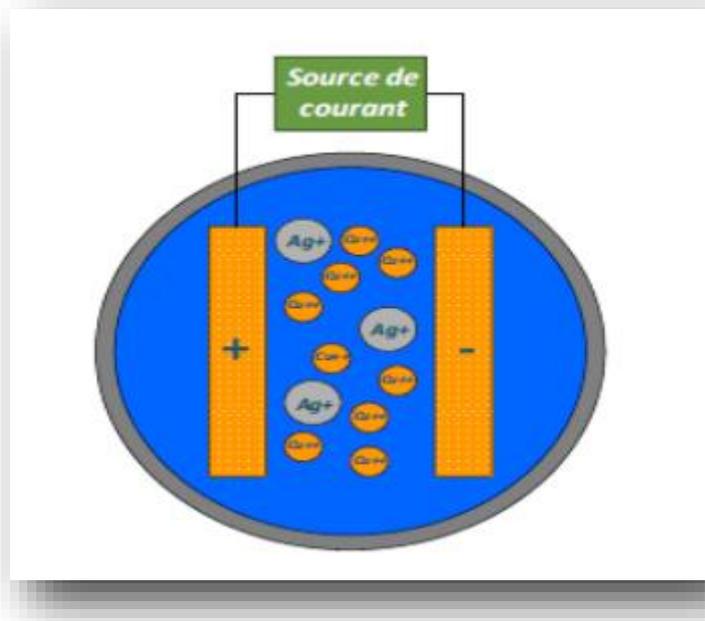
La monochloramine est la Chloramines minérale la plus utilisée pour la désinfection de l'eau [52]. Ils ne sont tellement conseillés pour la désinfection des tours de refroidissement car ces composés réagissent lentement avec les micro-organismes pathogènes [51]. Elles présentent quelques inconvénients. Tout d'abord, les chloramines peuvent être moins efficaces que le chlore libre pour éliminer les biofilms où Legionella peut se développer, car elles ont une pénétration moins importante dans ces structures microbiennes. De plus, les chloramines peuvent également former des sous-produits indésirables lorsqu'elles interagissent avec la

matière organique présente dans l'eau, ce qui peut poser des problèmes de qualité de l'eau potable.

### **II -2-3 Ionisation :**

Bien que l'ionisation cuivre-argent puisse servir à désinfecter l'eau, elle n'est généralement pas privilégiée comme méthode principale pour éliminer les bactéries de Legionella. Les méthodes plus couramment employées englobent le chauffage de l'eau à des températures élevées ou l'usage de produits chimiques désinfectants. Toutefois, pour éviter la prolifération de Legionella dans les systèmes d'eau, il est impératif de respecter rigoureusement les directives spécifiques de traitement de l'eau, notamment en ce qui concerne l'introduction d'ions de cuivre et d'argent dans le réseau. Certaines institutions hospitalières ont adopté cette approche dès les années 2000 pour contrer les bactéries de Legionella.

L'ionisation utilise des électrodes qui libèrent des particules d'ions de cuivre ( $\text{Cu}^{+2}$ ) et d'argent ( $\text{Ag}^{+}$ ) dans l'eau (Figure1-4) [55].



**Figure II-4 :** Ionisation Cuivre-Arger [54].

L'ajout continu d'ions cuivre et argent à l'eau maintient une faible concentration de bactéries de Legionella. Ces ions ont un taux de désactivation par ionisation moins élevé que l'ozone ou les rayons ultraviolets [53]. Pour limiter la prolifération des légionelles, des concentrations de 0,02 à 0,08 mg/l pour l'argent et de 0,2 à 0,8 mg/l pour le cuivre sont recommandées [55]

L'avantage de l'ionisation cuivre-argent réside dans la persistance des ions dans l'eau sur une durée prolongée. Ainsi, cette méthode de désinfection assure une protection à long terme et offre une défense contre d'éventuelles contaminations supplémentaires. Les ions cuivre-argent demeurent dans l'eau jusqu'à ce qu'ils précipitent ou absorbent des bactéries ou des lagues, puis ils sont éliminés par filtration [53].

#### II -2-4 Brome :

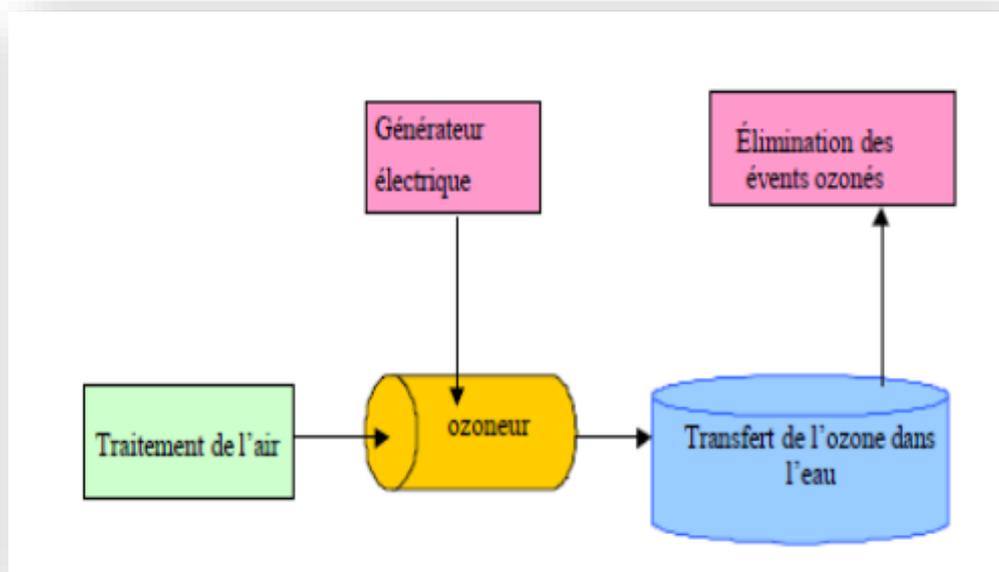
Le brome, un élément chimique de la famille des halogènes, peut être employé comme désinfectant pour combattre la bactérie Legionella dans l'eau. Il agit en éliminant les micro-organismes nocifs. Cependant, il est essentiel de suivre scrupuleusement les instructions d'utilisation afin d'assurer une désinfection efficace et sécurisée [60].

Dans le traitement des eaux de refroidissement, le brome est utilisé soit sous forme d'une solution stabilisée, soit en étant liquéfié par électrolyse [56]. Bien que le brome soit largement utilisé dans les piscines et les systèmes de refroidissement, il n'est pas recommandé pour le traitement de l'eau potable [57]. Agissant comme un oxydant avec des propriétés similaires à celles du chlore, le brome fonctionne selon un mécanisme similaire pour éliminer les bactéries, bien que son efficacité contre la légionelle pneumophile soit moindre que celle du chlore. Cependant, le maintien d'un résidu de brome libre entre 0,1 et 1,5 mg/l permet de réduire la prolifération de ces populations bactériennes [58], [59].

#### II -2-5 Ozone :

L'ozone peut être utilisé comme agent désinfectant pour éliminer les bactéries, y compris la légionelle, dans l'eau ou l'air, et dans certaines conditions. L'ozone agit en détruisant les membranes cellulaires des micro-organismes. Cependant, son efficacité dépend de divers facteurs tels que la concentration d'ozone, le temps d'exposition et les conditions environnementales. Il est important de suivre les directives appropriées et de s'assurer que son utilisation est sûre, car l'ozone peut être toxique à des concentrations élevées.

L'ozone se forme en utilisant de l'oxygène, qui peut être extrait de l'air pur ou de l'oxygène comprimé, grâce à l'application d'une décharge électrique. Cet élément gazeux présente une faible solubilité et une instabilité dans l'eau.



**Figure II-5** : Principe d'une ozonation [61].

L'air chargé d'ozone est introduit dans l'eau à traiter via des tours de contact, soit en le diffusant à travers des supports poreux, soit en utilisant des hydroéjecteurs ou des turbines [61].

L'ozone peut être produit à des concentrations variant de 20 à 60 g/m<sup>3</sup> en utilisant de l'air sec (point de rosée < -60 °C). La consommation énergétique se situe généralement entre 12 et 18 W/g d'ozone, selon la concentration et la température de l'eau de refroidissement. Pour générer des volumes de production plus importants (> 1 kg/h), on a de plus en plus recours à de l'oxygène technique ou à de l'air enrichi en oxygène, selon WEDECO [61].

Une étude en laboratoire a révélé qu'atteindre un taux d'élimination de 99 % nécessiterait une concentration résiduelle d'ozone de 0,1 à 0,3 mg/l pendant 5 minutes. En comparaison, pour obtenir le même taux de désinfection, il faudrait environ 30 minutes avec une concentration résiduelle de chlore de 0,3 mg/l ou 30 minutes avec une concentration de peroxyde d'hydrogène de 1 mg/l [62].

En raison de son fort pouvoir d'oxydation, l'ozone favorise la corrosion des métaux de structure, ce qui limite son utilisation comme substitut dans le traitement de l'eau [63], [64], [65].

### **II -2-6 Peroxyde d'hydrogène :**

La désinfection des systèmes d'eau chaude évite généralement l'utilisation du peroxyde d'hydrogène, car il est moins efficace que le chlore et l'ozone [66].

il est important de noter que l'utilisation du peroxyde d'hydrogène pour la désinfection nécessite une expertise appropriée et un contrôle strict des concentrations et des conditions de traitement. Un surdosage ou une utilisation incorrecte peut être inefficace ou même dangereux. Par conséquent, il est recommandé de faire appel à des professionnels qualifiés pour mettre en œuvre ce type de désinfection et de suivre les recommandations de sécurité appropriées.

Cependant, le peroxyde d'hydrogène est souvent préféré comme désinfectant pour contrer la propagation de la légionelle dans les tours aérorefrigérantes. Il est appliqué soit seul, soit en combinaison avec d'autres produits chimiques tels que l'acide peracétique, l'hypochlorite de sodium, l'argent, le cuivre, le fer, les rayons UV et l'ozone [68],[69].

### **II -2-7 Les Isothiazolones :**

Ces agents agissent comme des biocides non-oxydants. Les Isothiazolones détiennent des caractéristiques bactériostatiques et bactéricides, mais uniquement à des doses élevées [70],[59]. Leur efficacité requiert un temps de contact prolongé, parfois de plusieurs heures. Ils sont employés dans le traitement des eaux de refroidissement [70],[71], fournissant une gamme étendue d'activités, et font l'objet de nombreuses études pour évaluer leurs impacts sur les légionelles.

### **II -3- Traitement Physique :**

Les traitements physiques impliquent l'application d'énergie sous forme thermique, mécanique ou électrique pour cibler les contaminants de l'eau, qu'ils soient des polluants chimiques ou des micro-organismes [72].

Le traitement physique pour désinfecter les bactéries de légionelles impliquent généralement l'utilisation de technique qui n'impliquent l'ajout de produits chimiques. Voici quelques méthodes physiques, qui peuvent être utilisées spécifiquement pour traiter cette bactérie :

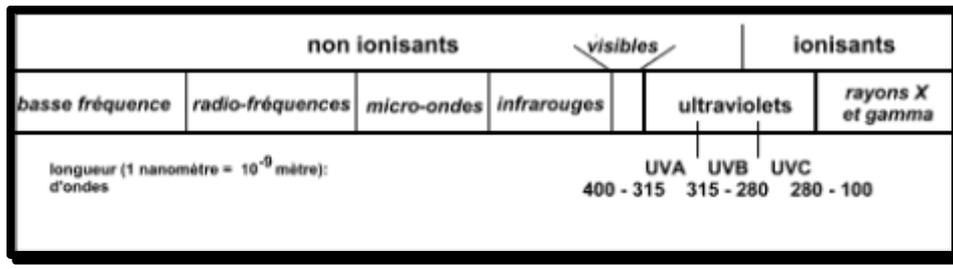
- Les traitements par irradiation UV.
- Les ultrasons.
- Les traitements thermiques.

Toutefois, une quantité substantielle d'énergie est requise, ce qui demande une conciliation entre l'efficacité recherchée et les coûts énergétiques. Les avantages et inconvénients spécifiques à chaque procédé seront explicités dans les sections correspondantes.

### II -3-1 Ultraviolets :

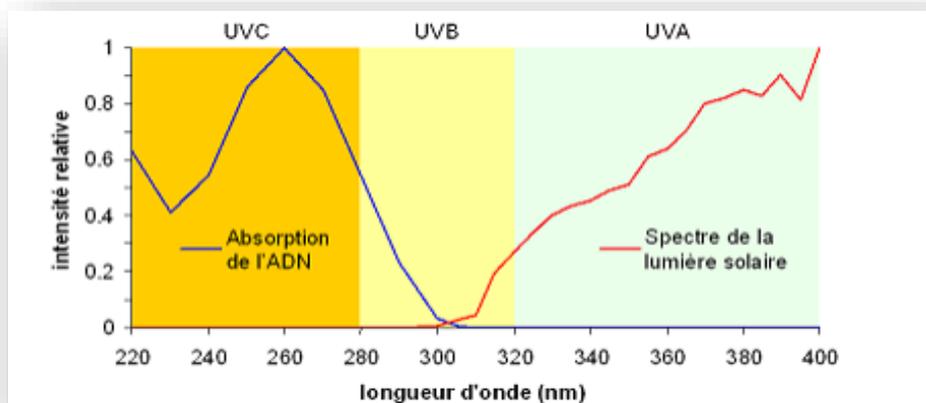
Le rayonnement ultraviolet est une catégorie de rayonnement électromagnétique, comprenant l'infrarouge, les rayons X, et la lumière. Il occupe une position entre la lumière visible et les rayons X dans le spectre électromagnétique. Il est subdivisé en trois bandes de longueurs d'onde, UVA, UVB et UVC, en fonction de leurs effets sur les tissus vivants [61].

- Les UV-A : de 315 à 400 nm.
- Les UV-B : de 280 à 320 nm.
- Les UV-C : de 200 à 280 nm [72].



**Figure II-6** : Le spectre électromagnétique [73].

Les recherches portant sur les effets des rayons ultraviolets (UVC) sur les bactéries ont toutes été conduites à une longueur d'onde de 254 nm. Les lampes UV, également appelées lampes germicides, émettent 86% de leur énergie à cette longueur d'onde, bien que des variations puissent exister entre les fabricants. Cette longueur d'onde se rapproche du pic d'absorption de l'ADN, ce qui rend les bactéries sensibles aux UV, bien que les durées d'exposition nécessaires puissent varier selon les types de bactéries (figure 1-7) [71], [74].



**Figure II-7** : Spectre d'absorption de l'ADN [71].

Dans le cadre du traitement par rayonnement ultraviolet pour la désinfection de l'eau potable, des doses typiques d'UV sont d'environ 40 mJ.cm<sup>-2</sup>. Ces doses permettent d'obtenir une inactivation de 2-log pour la majorité des bactéries [65], [75], [76].

Diverses études suggèrent que l'utilisation des radiations UV pour désinfecter efficacement à grande échelle les installations, notamment les Tours Aéroréfrigérantes (TARs), se révèle peu efficace dans le contrôle de Legionella. Cela est attribué à l'inefficacité des UV à maintenir un effet durable et à leur interférence avec les particules telles que le biofilm, les dépôts et la turbidité (Kusnetsov et al., 1994). Pourtant, des recherches telles que celles de Muraca et al. (1987) ont démontré qu'une irradiation continue aux UV à une intensité de 30 000 μW-s/cm<sup>2</sup> peut entraîner une réduction significative de la présence de Legionella en 20 minutes, au-delà de laquelle aucun effet supplémentaire n'est observé [77]. Il existe ainsi un écart notable entre les résultats en laboratoire et leur application à grande échelle, où les niveaux de radiation et les durées de contact peuvent souvent être insuffisants [74], [71].

Par conséquent, pour garantir un contrôle efficace du risque de contamination, d'autres mesures telles que l'hyperchlorination, le traitement thermique et l'ajout de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> doivent être combinées avec l'utilisation des UV [71], [78], [79].

### **II-3-2 Ultrasons :**

Les ultrasons sont utilisés pour désinfecter les bactéries, y compris les légionelles. Cette méthode repose sur l'utilisation d'ondes sonores à haute fréquence pour générer des bulles de cavitation dans l'eau. Lorsque ces bulles implosent, elles créent des forces mécaniques et des conditions locales de température et de pression élevées qui peuvent endommager et détruire les cellules bactériennes, y compris les légionelles. Cependant, il convient de noter que l'efficacité des ultrasons peut dépendre de plusieurs facteurs, tels que la fréquence des ultrasons, la concentration de bactéries dans l'eau et la durée d'exposition. Cette méthode peut être utilisée seule ou en combinaison avec d'autres techniques de désinfection pour assurer une efficacité maximale.

Les ultrasons à basse fréquence (20-100 kHz) sont bien connus pour leurs effets bactéricides. Les ultrasons à basse fréquence (entre 20 et 100 kHz) sont reconnus pour leur capacité à éliminer les bactéries [80]. Au cours du processus de sonication, des ondes longitudinales sont générées, créant une alternance de compression et de décompression. Ces variations de pression conduisent à la formation de bulles de cavitation qui grandissent au fil des cycles de compression et de décompression avant d'exploser. Cette implosion des bulles libère de l'énergie qui provoque des effets bactéricides physiques (augmentation locale de la température et changements de pression), mécaniques et chimiques (production de radicaux libres) [71], [82], [81].

Des recherches sur la bactérie Legionella pneumophila en présence d'amibes ont révélé que les ultrasons à 36 kHz n'ont pas d'effet durable sur la viabilité de Legionella [83]. Si ces ultrasons détruisent rapidement les amibes dans leur forme active, ils ne parviennent pas à éliminer les kystes, qui protègent les légionelles qu'ils contiennent. En effet, après 30 minutes de traitement, la désinfection de ces bactéries n'atteindrait que 1,3-log [59].

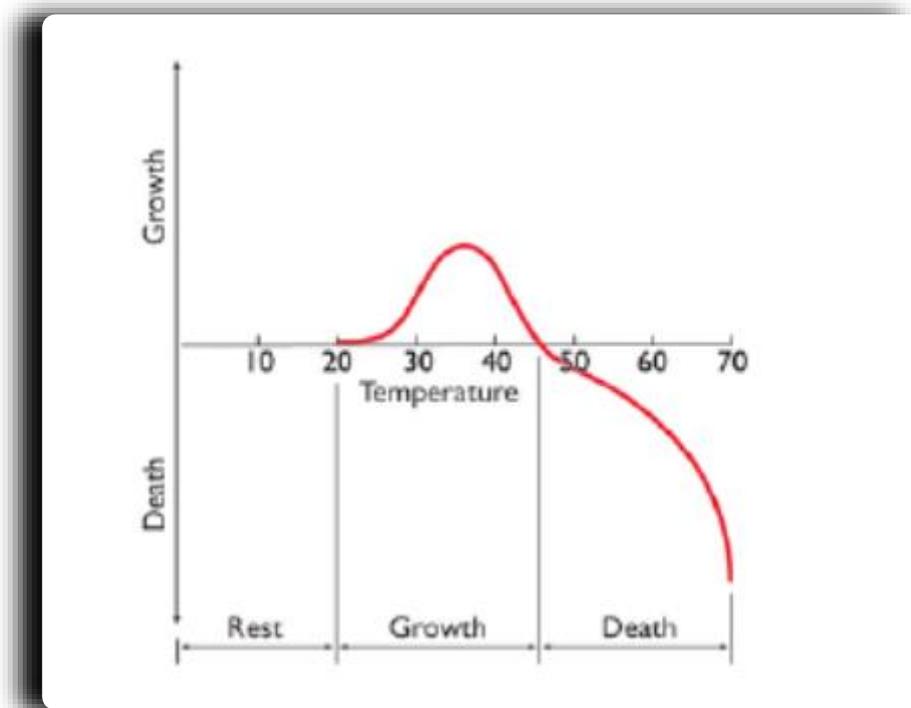
### II-3- Traitement thermique :

Le traitement thermique est une méthode efficace pour désinfecter les bactéries de légionelles en exposant l'eau contaminée à des températures élevées pendant une période de temps spécifique, ce qui entraîne la destruction des bactéries et garantit la sécurité de l'eau.

De nombreuses études, menées sur des installations réelles ou expérimentales, ont examiné l'efficacité du traitement thermique contre *Legionella pneumophila* [85, 86, 87, 77]. Ces études ont montré que *Legionella pneumophila* peut survivre et même se développer à des températures comprises entre 20 et 50°C. En revanche, aucune bactérie cultivable n'a été détectée à 60°C.

Muraca et al. (1987) ont confirmé ces résultats en démontrant que les légionelles étaient complètement éliminées à des températures comprises entre 50 et 60°C en moins de 3 heures [77].

Lin et al. (1998) ont quant à eux indiqué que le temps nécessaire pour obtenir une désinfection de 90% (1 log) de *Legionella pneumophila* cultivable était de 2500 minutes à 45°C et de 1 minute à 70°C [87, 71].



**Figure II-8** : Influence de différente température Sur Légionelle pneumophile [88].

L'ensemble de ces travaux de recherche convergent vers la conclusion qu'une température de désinfection supérieure à 60°C est nécessaire.

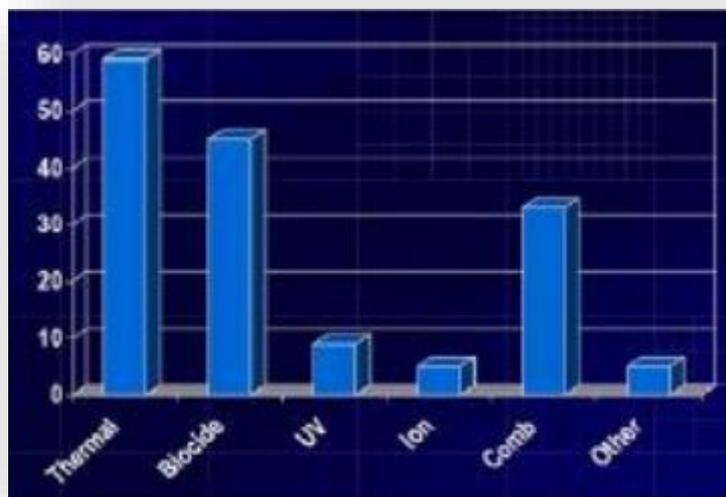
En effet, l'Organisation mondiale de la santé préconise l'application de chocs thermiques à 70°C pendant une durée de 30 minutes afin de juguler la prolifération de *Legionella pneumophila* [71].

## II -4-Comparaison de l'efficacité de traitement de différentes méthodes de désinfection :

Divers procédés de traitement existent pour désinfecter l'eau (voir Figure II-5). Si certains d'entre eux ne garantissent pas une protection permanente contre la recontamination bactérienne, leur combinaison au sein d'un traitement unique peut s'avérer très efficace.

L'efficacité de chaque méthode est la suivante :

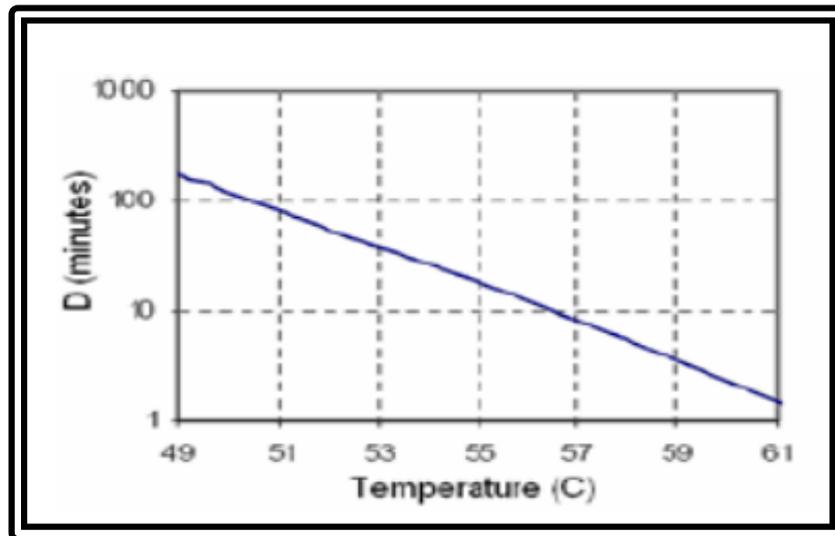
- Traitement thermique (59%)
- Biocide (45%)
- Ultraviolets (9%)
- Ionisation (5.3%)
- Ozonation (8%)



**Figure II-9 :** Comparaison d'efficacité de différentes méthodes de Désinfection de légionelle [88].

La désinfection thermique s'impose comme une méthode efficace pour lutter contre la présence de légionelles dans les réseaux d'eau chaude et froide. Elle se démarque par son aptitude à éliminer totalement les légionelles et à offrir une protection durable contre leur réapparition, comme le montre la figure (1-10).

Toutefois, l'efficacité de cette méthode dépend étroitement de l'élévation de la température de l'eau, entre 70°C et 80°C, pour parvenir à une éradication complète de *Legionella pneumophila* [88], [89].



**Figure II-10 :** Influence de différente température Sur Légionelle pneumophile [88].

### **II-5-Traitement médical :**

La désinfection des bactéries de légionelles par le traitement médical est généralement réalisée lorsqu'une personne est infectée par ces bactéries et développe une maladie telle que la légionellose ou la fièvre de Pontiac. Dans de tels cas, le traitement médical vise à éliminer

Le traitement médical des infections à légionelles repose principalement sur l'utilisation d'antibiotiques. Les antibiotiques couramment prescrits pour traiter les infections à légionelles comprennent les macrolides (comme l'azithromycine et la clarithromycine), les fluoroquinolones (comme la lévofloxacine) et les tétracyclines (comme la doxycycline).

Jusqu'à présent, aucun vaccin contre la légionellose n'a été mis au point. La bactérie responsable de cette maladie présente une résistance naturelle aux pénicillines, qui sont généralement utilisées dans le traitement des pneumonies. Cependant, elle peut être efficacement traitée par certains antibiotiques, tels que les macrolides (azithromycine, érythromycine), les fluoroquinolones ou la rifampicine, si elles sont administrées rapidement. Il est important de noter que la rifampicine ne doit pas être administrée en monothérapie. Il est crucial d'initier ces traitements dès les premiers stades de la maladie pour garantir leur efficacité [90].

#### **II-5-1 Principes du traitement antibiotique :**

Le traitement antibiotique des pneumonies communautaires est souvent empirique, basé sur les pathogènes supposés. La légionelle est prise en compte dans la stratégie thérapeutique antibiotique recommandée pour les pneumonies chez les patients à risque et/ou présentant des formes graves. Le choix de l'antibiotique dépend de l'efficacité des antibiotiques, de l'épidémiologie microbienne locale et générale, ainsi que des facteurs individuels du patient ; habituellement, le traitement est ambulatoire. En cas de confirmation de légionellose, les macrolides sont généralement privilégiés, parfois associés à d'autres familles d'antibiotiques tels que les fluoroquinolones ou la rifampicine (seulement en association pour cette dernière). Si une bêta-lactamine a été initialement prescrite, elle doit être arrêtée car elle est inefficace contre *Legionella pneumophila*. Le choix des antibiotiques pour le traitement des infections extra-respiratoires ne doit pas différer de celui pour la pneumonie à *Legionella pneumophila* [91].

- **Macrolides :**

Les macrolides sont souvent utilisés pour traiter les maladies causées par les bactéries de la légionellose, telles que la légionellose et la fièvre de Pontiac. Les macrolides sont un groupe d'antibiotiques qui comprennent des médicaments tels que l'azithromycine, l'érythromycine et la clarithromycine. Ils sont efficaces contre *Legionella pneumophila*, la principale bactérie responsable de la légionellose.

Les macrolides agissent en inhibant la synthèse des protéines dans les bactéries, ce qui entraîne leur mort. Ils sont généralement bien tolérés et peuvent être administrés par voie orale, ce qui en fait une option pratique pour le traitement ambulatoire des infections légionelloses.

Il est important de noter que le choix spécifique du macrolide et la durée du traitement dépendent de plusieurs facteurs, notamment la gravité de l'infection, la sensibilité de la bactérie aux antibiotiques, les antécédents médicaux du patient et d'autres considérations cliniques. Il est important de suivre les conseils et les recommandations d'un professionnel de la santé qualifié pour le traitement approprié de la légionellose.

La **clarithromycine**, la **roxithromycine** et la **josamycine** sont plus efficaces in vitro vis-à-vis de *Legionella* que l'érythromycine. La roxithromycine et la josamycine ne disposent que de formes pharmaceutiques destinées à la voie orale [91].

La **spiramycine** a une moindre activité in vitro sur *Legionella* que l'érythromycine, mais sans différence d'efficacité clinique observée lors de traitements de légionelloses. La spiramycine a moins d'interactions médicamenteuses que les autres macrolides [91].

L'**azithromycine** est la molécule la plus active de la famille des macrolides sur les infections dues à *Legionella* [91].

- **Fluoroquinolones :**

Les fluoroquinolones sont une classe d'antibiotiques qui comprennent des médicaments tels que la lévofloxacine, la ciprofloxacine et la moxifloxacine.

Les fluoroquinolones sont généralement bien tolérées et peuvent être administrées par voie orale ou intraveineuse, en fonction de la gravité de l'infection et des besoins du patient. Cependant, il est important de noter que l'utilisation des fluoroquinolones peut être associée à certains effets secondaires, tels que des troubles gastro-intestinaux, des réactions cutanées et des anomalies du rythme cardiaque. Par conséquent, leur utilisation doit être soigneusement évaluée par un professionnel de la santé qualifié en fonction des antécédents médicaux du patient et d'autres facteurs cliniques.

Toutes ces fluoroquinolones sont approuvées pour une administration par voie intraveineuse et orale. Cependant, leur utilisation doit être restreinte pour les raisons suivantes :

- L'augmentation de la résistance aux quinolones et son impact écologique nécessitent de limiter leur utilisation aux cas graves de légionellose.
- Il est important de prendre en compte le profil de sécurité de ces antibiotiques.

- **Rifampicine :**

Il est déconseillé d'utiliser la rifampicine en monothérapie, et elle ne doit être administrée qu'en association avec un macrolide ou une fluoroquinolone. Une attention particulière doit être portée à son utilisation chez les patients greffés, car la rifampicine peut réduire l'activité immunosuppressive de la ciclosporine et des corticoïdes, ce qui pourrait augmenter le risque de rejet [91].

### **II-5-2 Stratégie thérapeutique (en cas de légionellose confirmée) :**

Le choix thérapeutique dépend de l'efficacité clinique démontrée par les différents antibiotiques, de la gravité de la légionellose et du terrain sous-jacent (troubles hépatiques, digestifs, interactions médicamenteuses), de la sécurité d'emploi de l'antibiotique (figure 1-11) [91].

Gravité de la légionellose / terrain sous-jacent	Choix antibiotique
Légionellose non grave: Patient ambulatoire ou hospitalisé dans un service d'urgences ou en médecine	<b>Monothérapie par Macrolide<sup>(1)</sup>:</b> Azithromycine <sup>(2)</sup> ou clarithromycine ou roxithromycine ou josamycine ou spiramycine ou érythromycine
Légionellose grave: Patient hospitalisé dans un service de soins intensifs ou de réanimation, et/ou Patient immunodéprimé	<b>Soit monothérapie par Fluoroquinolone<sup>(1)</sup>:</b> lévofloxacine ou ofloxacine ou ciprofloxacine  <b>Soit association<sup>(3)</sup> de 2 antibiotiques au sein des 3 familles d'antibiotiques suivantes:</b> - <b>Macrolide disponible par voie IV<sup>(1)</sup>:</b> spiramycine ou érythromycine (en cas d'indisponibilité de la spiramycine) - <b>Fluoroquinolone<sup>(1,4)</sup>:</b> lévofloxacine ou ofloxacine ou ciprofloxacine - <b>Rifampicine</b>

**Figure 1-11 : Stratégie du choix antibiotique**

### **II-5-3 Prévention :**

Au niveau national, la légionellose est prise en charge par un plan gouvernemental. Le Ministère de la Santé et de la protection sociale a émis des directives aux établissements de santé concernant la lutte et la prévention du risque de légionellose. Ces directives englobent également les hôtels, les campings, les bureaux et les tours aéroréfrigérantes (TAR).

Grâce à ces mesures, le nombre de cas déclarés de légionellose dite "nosocomiale" dans les établissements de soins a été stabilisé, tandis que les cas de légionellose dite "communautaire" (survenant en dehors des établissements de soins) ont continué d'augmenter sur la même période.

Si l'élimination totale des légionelles est hors de portée pour les particuliers, il est possible de limiter leur prolifération en adoptant des mesures préventives simples :

- Éviter la stagnation de l'eau dans les canalisations en ouvrant régulièrement tous les robinets.
- Lutter contre l'entartrage et la corrosion en détartrant les pommeaux de douche et les robinets avec du vinaigre blanc ou un produit anticalcaire.

- Utiliser du chlore dans les bains bouillonnants privés.
- Maintenir la température de l'eau froide en dessous de 20°C et celle de l'eau chaude au-dessus de 60°C.

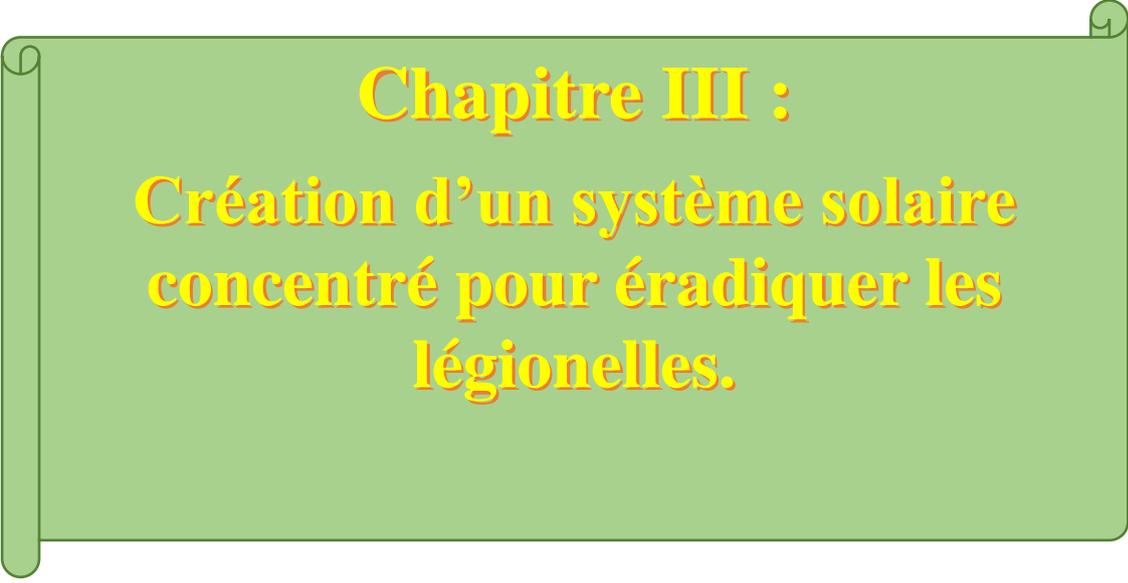
En cas de contamination du réseau d'eau chaude d'une copropriété par des légionelles, la décontamination est prise en charge par le syndicat. En attendant, il est recommandé d'éviter de prendre des douches ou des bains pour limiter l'exposition aux vapeurs d'eau.

Cependant, la légionellose ne se transmettant pas par ingestion, il n'y a aucun risque à continuer de boire l'eau du robinet et à laver la vaisselle ou le linge avec l'eau courante.

**Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présentés les différentes méthodes de traitement de la bactérie de légionelle (chimique, physique, thermique et médical), et nous avons fait une comparaison sur l'efficacité de chaque traitement, et nous avons obtenu que l'efficacité de traitement thermique représente 59% par rapport aux autres méthodes de traitement.

Par conséquent, le traitement thermique permet l'élimination totale de la bactérie de légionelle à une température de 70°C pendant quelques secondes à partir des concentrateurs solaires, Pour cela nous avons conçu au préalable un nouveau « Système solaire à concentration » pour la désinfection de bactérie de légionelle.



**Chapitre III :**  
**Création d'un système solaire  
concentré pour éradiquer les  
légionelles.**

**III) -Introduction :**

Plusieurs études attestent de l'efficacité du traitement thermique en tant que méthode unique pour éliminer et protéger de manière permanente contre la bactérie de légionelle.

Méthode de traitement	Les avantages	Les inconvénients
Chlore	-Activité rémanente importante (1mg/l en continu). -moins corrosif. -Bon pouvoir pénétrant des biofilms.	-Process difficile. - coûteux. -Formation de sous-produits.
Chloramines	-Persistance [93]. -Réduction de sous-produits de désinfection [94]. -Réduction des goûts et des odeurs [95].	-Risque de réversion [96]. -Moindre efficacité contre les biofilms [97].
Ionisation	-Absence de sous-produits chimiques [99]. -Installation facile du Matériel. -Un effet bactéricide et algicide puissant (Pénétration du biofilm).	-Possibilité de toxicité à des concentrations élevées [98]. -Risque de coloration de l'eau. -encrassement électrodes.
Brome	-Efficacité contre les bactéries de légionelles. -Faible odeur. -Stabilité à large plage de PH. -Moins irritant pour la peau et les yeux.	-Coût plus élevé. -Temps de dissolution plus long. -Moins stable à température élevée.
Ozone	-Efficacité élevée [100]. -Large spectre d'action [101]. -Aucun sous-produits nocif [102]. -Temps de contact court [105]. -Ne laisse aucun résidu [106].	-Coût initial élevée [105]. -Besoin de compétences technique [106]. -Faible persistance [107]. -Réactivité [108].
Peroxyde d'hydrogène	-Efficacité contre les légionelles [115]. -Non-Toxique : décompose en eau et en oxygène [116].	-Stabilité limitée [118]. -Irritant potentiel [119]. -Interactions avec certains matériaux [120].

	-Pas de résidus nocifs [117].	
Isothiazolones	-Efficacité élevée : leur forte activité biocide [109]. -Large spectre d'action [110]. -Stabilité [111].	-Toxicité potentielle [112]. -Résistance [113]. -Formation de sous-produits nocif [114].
Ultraviolets	-Efficacité de désinfection [121]. -Processus de désinfection rapide [122]. -Facile à installer. -sécurisé de désinfection.	-Pas d'activité résiduelle. -Limitation de conception. -Maintenance requise [123]. -Coût initial élevé.
Ultrasons	-Technologie non-chimique. -Respectueux de l'environnement. -Traitement non-thermique [125].	-Limitation de pénétration. -Dépendance au temps. -Exigence de puissance [124]
Thermique	-Efficacité de désinfection élevée. -Polyvalence [129]. -Aucun ajout de produit chimique.	-Consommation d'énergie élevée [128]. -Potentiel de dommages aux matériaux [127]. -Temps de traitement prolongé [126].

**Tableau III-1 :** Les avantages et les inconvénients de chaque traitement.

- ❖ L'examen réalisé dans les chapitres précédents nous a conduit à prendre l'initiative de résoudre ce problème de bactérie en exploitant l'énergie solaire.

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

Un système de production et de stockage d'eau chaude sanitaire est essentiel pour fournir de l'eau chaude pour divers usages domestiques, tels que la douche, le lavage des mains et le lavage de la vaisselle, etc. Chaque système de production et de stockage d'eau chaude sanitaire a ses propres avantages et inconvénients. Voici quelques-unes des options les plus fréquemment utilisées :

- a) Chauffe-eau électrique
- b) Chauffe-eau au Gaz
- c) Chauffe-eau thermodynamique
- d) Chauffe-eau solaire : Les systèmes de chauffe-eau solaire utilisent des capteurs solaires pour absorber la chaleur du soleil et chauffer un fluide caloporteur, qui transfère ensuite la chaleur à l'eau stockée dans un réservoir.

L'objectif global est de développer l'échangeur de chaleur antibactérien (ABHE) pour diverses applications de désinfection, débits et fluides. Un objectif plus lointain est de développer l'ABHE jusqu'à ce qu'il devienne, si possible, une méthode de traitement de l'eau généralement acceptée utilisant des sources de chaleur renouvelables. Des exemples sont les collecteurs de bois de chauffage et solaires (lumière) à partir desquels la lumière visible est concentrée dans le foyer. Ici, des capteurs solaires à concentration (Fig. III-1) sont testés comme source de chaleur pour l'ABHE.

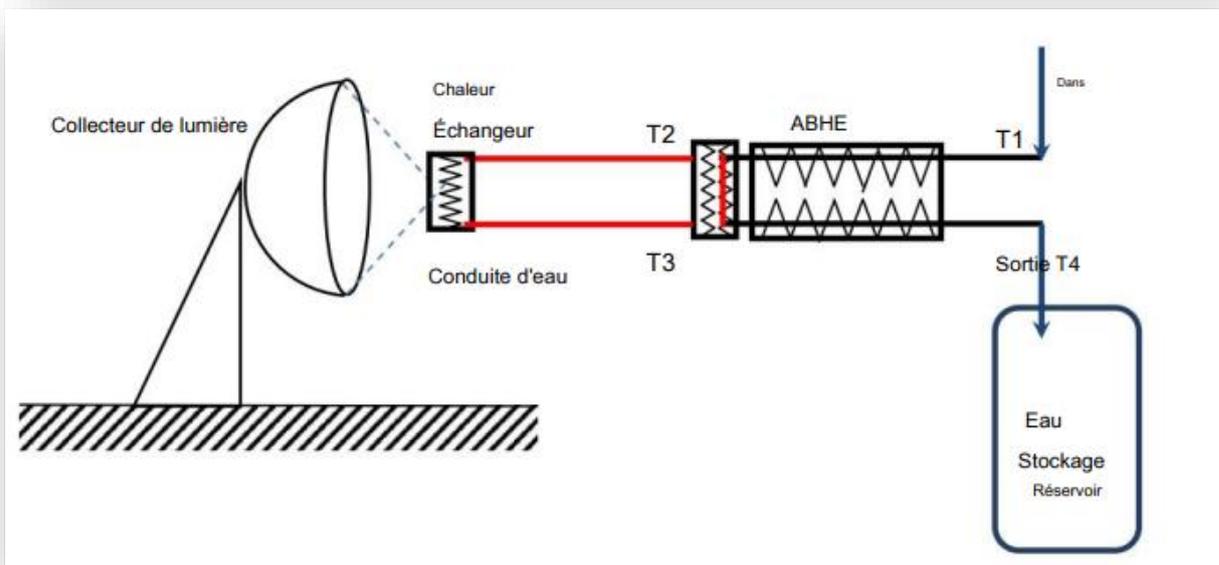


**Figure III-1** Un collecteur SOLUX sans le dôme de protection en acrylique [130].

Le dispositif de collecte de lumière examiné pour éliminer les bactéries *Legionella* de l'eau, comme illustré dans la figure III-2, est basé sur une conception inspirée d'un système de concentration solaire alimenté par fibre optique qui a été évalué dans un climat nord-africain [134]. L'approche consiste à concentrer les rayons du soleil sur un point central (le foyer), où cette énergie est absorbée puis transmise à travers l'échangeur pour traiter l'eau [131].

Il contient :

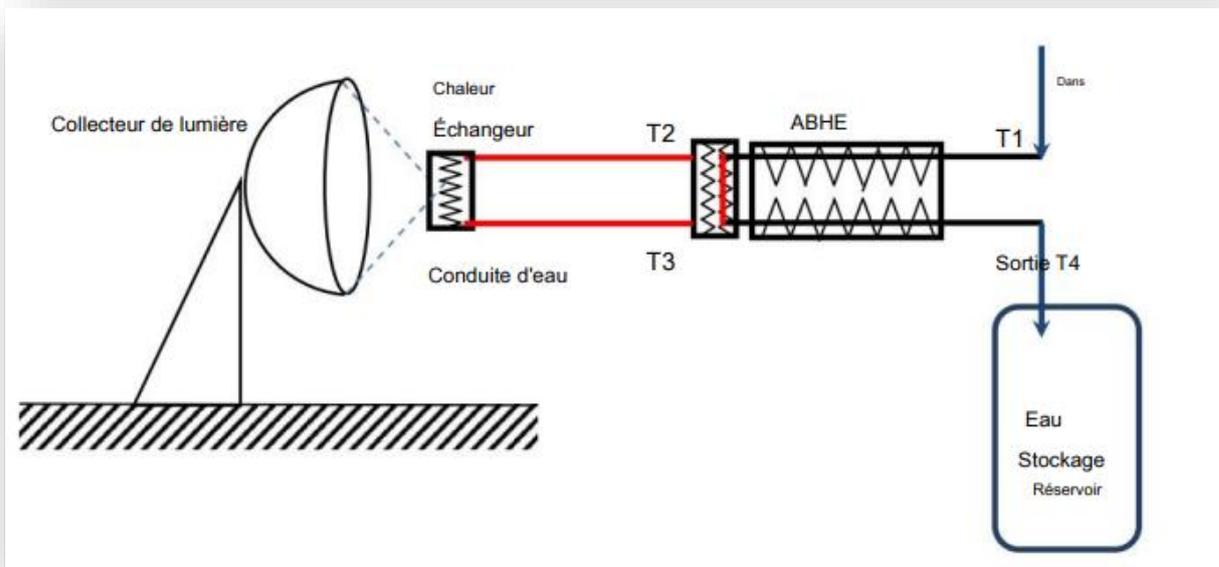
- Un concentrateur de lumière représenté par un miroir parabolique qui présente les caractéristiques géométriques suivantes : Diamètre (D)=1,3 m.
- Un échangeur de chaleur à plaques plates d'une capacité de transfert de chaleur de 16 kW et d'une surface de 0,644 m<sup>2</sup>.
- Un système de canalisations en cuivre d'un diamètre de 14 mm, d'une longueur totale de canalisation de 3 m.
- Un réservoir de stockage d'un volume de 0,4 m<sup>3</sup>



**Figure III-2 :** Collecteur de lumière pour le traitement de l'eau [131].

- Un réservoir de stockage cylindrique d'une hauteur de 1,5m et d'un volume de 150litres, composé de quatre parties (figure III-3) :

Partie1	La paroi externe de la cuve est en acier galvanisé d'une hauteur de 1,5m et 0,6m de diamètre.
Partie2	La mousse d'isolation thermique d'une hauteur de 1,55m et 0,55m de diamètre.
Partie3	La paroi interne de la cuve en acier galvanisé d'une hauteur de 1,5m et 0,5 de diamètre.
Partie4	L'absorbeur en acier galvanisé d'une hauteur de 0,5m et 0,46 m de diamètre.



**Figure III-3 :** Réservoirs cylindriques [132].

### III-2 Conception du prototype concentrateur :

La conception d'un convertisseur thermique exploitant l'énergie solaire dans une plage de température allant de 150°C à 500°C nécessite une analyse et une optimisation du bilan thermique de la surface absorbante du rayonnement. Ce processus implique non seulement les caractéristiques optiques de l'absorbeur, mais également le taux de concentration géométrique (C), qui est défini par le rapport entre la surface apparente de capture (miroir) et la surface apparente d'absorption (foyer).

Imbert et ses collaborateurs [133] ont démontré que, pour une température d'utilisation donnée, le rendement thermique cesse pratiquement d'augmenter au-delà d'une certaine valeur du taux de concentration. Ceci simplifie la récupération de la chaleur produite et réduit les défis technologiques associés à la fabrication du miroir concentrateur. C'est pourquoi nous avons opté pour l'utilisation d'un miroir de forme sphérique [132].

Le miroir est caractérisé par son diamètre (D), son demi-angle ( $\varphi$ ), la distance focale (f) donnée par l'expression :

$$1/f = 4 \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

L'expression qui représente la plus haute concentration générée par un concentrateur de ce type (Rabl, 1976) [109] est :

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

Et comprend la fraction  $\cos^4\left(\frac{\varphi}{2}\right)$  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 :

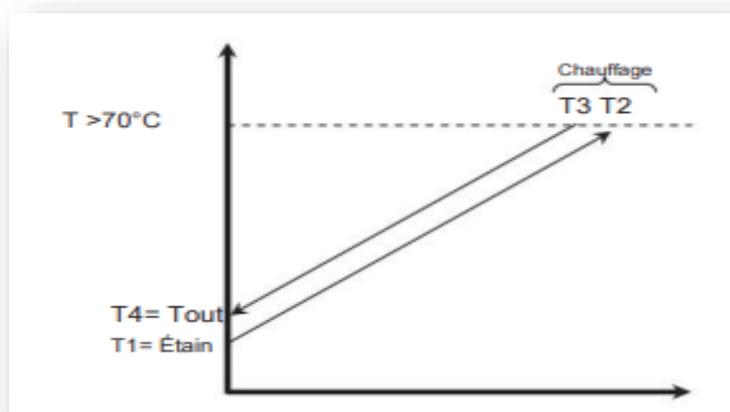
$$C^{moy} = \frac{\sin^2(\varphi) \cos^2(\varphi)}{\theta_s^2}$$

Pour ce faire, nous avons choisi un concentrateur ayant un diamètre D de 148 cm, une distance focale f de 82 cm (ce qui donne un angle  $\varphi$  de 20°), ainsi qu'une fibre optique SPCH 1000/1035/1400Z d'une longueur l de 2 mètres. Cette fibre est composée d'un cœur en silice d'un diamètre de 1 mm et d'un revêtement en tefzel dur, présentant une atténuation moyenne  $\tau$  de  $6.2 \cdot 10^{-3}$  dB/m sur l'ensemble du spectre solaire. Elle possède également une ouverture numérique  $\theta_F$  de 23° et une plage de température de fonctionnement de -60 à 125°C [132].

### III-3 Principe de fonctionnement :

L'échangeur de chaleur antibactérienne (ABHE) est un dispositif de traitement thermique des fluides économe en énergie. L'ABHE éradiquer les bactéries présentes dans les fluides. Par exemple : la désinfection de l'eau (potable), l'élimination des légionelles, la pasteurisation du lait.

Le fonctionnement de l'ABHE, incluant un échangeur de chaleur et un réchauffeur, est représenté dans la Figure III-4 Il peut recevoir de l'eau à différentes températures depuis l'entrée marquée « In ». Cette eau circule ensuite dans l'échangeur où elle est réchauffée, puis elle se dirige vers le concentrateur solaire pour être encore plus chauffée. À ce stade, il est crucial de garantir que la température du liquide atteigne le niveau nécessaire pour la désinfection pendant la durée prescrite, laquelle varie en fonction des bactéries à éliminer.



**Figure III-4 :** Aperçu du principe ABHE [135].

À partir du capteur solaire illustré dans la figure III-2, le liquide circule de retour vers l'échangeur de chaleur, où il cède de la chaleur au liquide entrant. Le liquide traité quitte le système avec une température plus élevée que celle de son entrée initiale, qui est la température de l'eau du robinet,  $T_{in}$ . Cette différence de température entre l'entrée et la sortie peut être modulée en ajustant la taille de l'échangeur thermique et le débit [136].

Généralement, les échangeurs de chaleur transfèrent la chaleur d'un fluide à un autre, mais dans ce cas, cela se produit au sein du même flux de fluide. Le fluide à  $T_{in}$  s'écoule dans l'ABHE où il est continuellement chauffé à la température de désinfection. Le capteur solaire ajoute la perte de température, peut-être  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , et la température de désinfection ( $T$ ) est atteinte. Par la suite, le fluide est refroidi proche de la température initiale ( $T_{in}$ ) par le fluide d'entrée.

### **III-4 Etude expérimentale d'un prototype du système :**

Après la conception et l'assemblage des deux modules (concentrateur + réservoir de stockage) comme illustré dans la figure III-5, nous avons commencé une étude expérimentale.

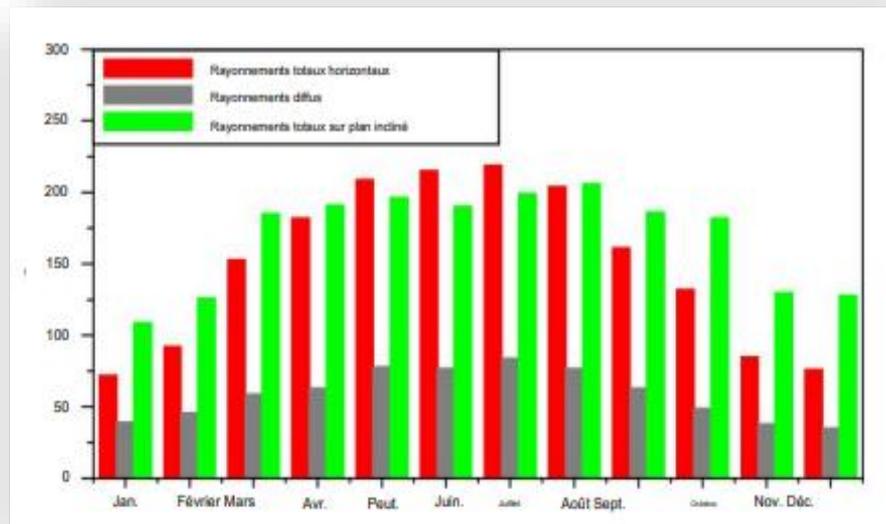


**Figure III-5 :** Photo du système conçu [131]

Les relevés concernant l'ABHE existant ont été pris à Tlemcen, en Algérie, à une distance de 580 km d'Alger, avec une latitude de  $34,56^{\circ}$ , une longitude de  $-1,19^{\circ}$  et une altitude de 830 m,

comme illustré dans la figure 7. Cette zone est connue pour ses étés chauds et secs ainsi que ses hivers froids. Il est pertinent de noter que son climat est tempéré en partie grâce à l'influence de la mer Méditerranée, qui se trouve à 45 km au nord [131].

Dans les systèmes de concentration, seule la lumière directe est focalisée.

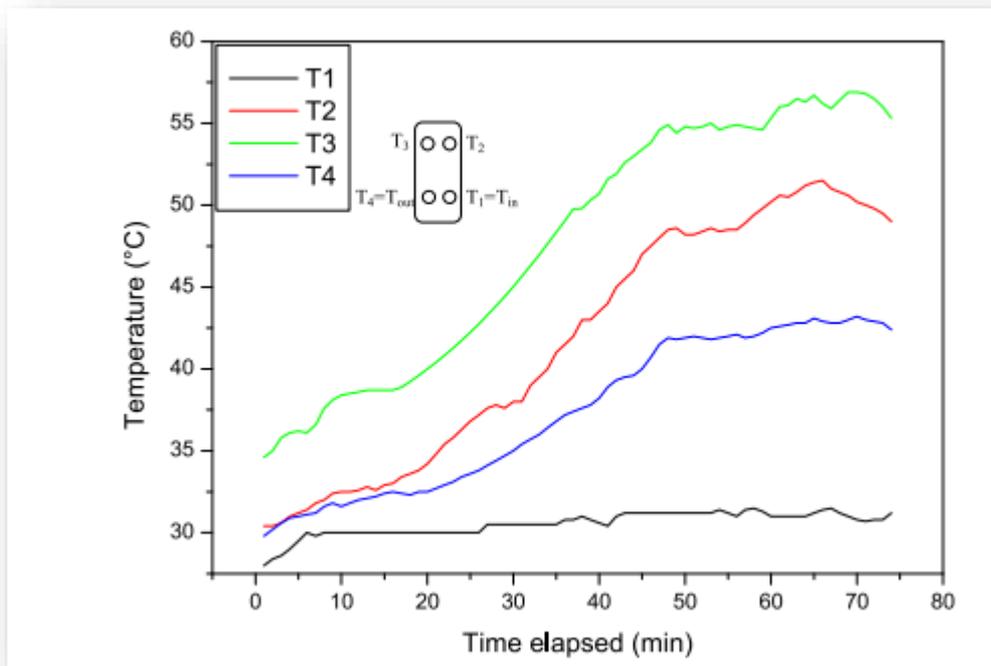


**Figure III-6 :** Variation du rayonnement horizontal diffus global et du plan incliné global dans Tlemcen, [137].

Tel qu'illustré dans la figure III-6, la plus importante augmentation du rayonnement total se produit de février à mars, tandis que le pic du rayonnement horizontal est observé en juillet, avec une légère stabilité de la pente globale du collecteur entre mars et octobre. Les valeurs annuelles du rayonnement solaire diffus représentent entre 35 et 44 % du rayonnement global [131].

Pour toutes les mesures, l'entrée d'eau de l'installation de test ABHE a été connectée à une alimentation en eau du robinet. Le débit a été ajusté au robinet et surveillé à l'aide d'un seau et d'un chronomètre. La température de l'eau alimentée a été ajustée à l'aide du robinet et des capteurs de température installés. Pendant le chauffage, les températures des quatre capteurs ont été enregistrées toutes les deux minutes.

En mai 2014, des relevés ont été réalisés avec de l'eau du robinet entrant à une température de 30 °C et un débit d'environ 1 kg/min. Le débit a été mesuré à plusieurs reprises durant le test afin de réduire au minimum tout effet variable. Les courbes de température illustrant l'ensemble des résultats sont présentées sur la figure III-7.



**Figure III-7 :** Températures dans l'ABHE pendant les mesures [131].

### **III-5 Optimisation :**

#### **III-5-1 Principe de base :**

Le principe de base de SSP (System Simulation Program) est permis la modélisation et la simulation de systèmes de chauffage, ventilation, climatisation et réfrigération (CVCR) pour évaluer leur performance énergétique, leur efficacité et leur comportement dynamique. SSP est un logiciel de calcul développé par SWEP (Software for Waves Energy Propection), une entreprise spécialisée dans les échangeurs de chaleur à plaques.

Voici quelques principes de base de SSP :

**1-Modélisation des composants :** SSP permet de modéliser divers composants de systèmes CVCR tels que les échangeurs de chaleur, les pompes, les vannes, les réservoirs, les conduites, etc.

**2-Interaction dynamique :** Le logiciel permet de représenter les interactions dynamiques entre les différents composants du système, prenant en compte les variations de température, de pression et de débit.

**3-Analyse de la performance :** SSP permet d'analyser la performance énergétique du système en calculant les paramètres tels que la consommation d'énergie, les pertes thermiques, les températures de fonctionnement, etc.

**4- Optimisation :** Il peut être utilisé pour optimiser la conception et le fonctionnement des systèmes CVCR en testant différentes configurations et stratégies de contrôle.

**5-Prédiction du comportement** : SSP permet de prédire le comportement du système dans différentes conditions de fonctionnement, ce qui peut être utile pour la conception, la mise en service et le dépannage.

En résumé, SSP est un outil de modélisation et de simulation essentiel pour les ingénieurs travaillant dans le domaine du CVCR, leur permettant d'évaluer, d'optimiser et de comprendre le comportement des systèmes dans divers scénarios.

- Pour modéliser un échangeur thermique dans le logiciel SWEP, vous pouvez utiliser des équations de transfert de chaleur et de fluide pour décrire le comportement du système. Voici le modèle mathématique pour un échangeur thermique SWEP :

### 1-Equation de transfert de chaleur :

$$Q = U * A * \Delta T_m$$

Où :

Q : la quantité de chaleur transférée

U : coefficient global de transfert de chaleur

A : surface d'échange thermique

$\Delta T_m$  : différence moyenne de température entre les fluides

### 2-Equation d'énergie :

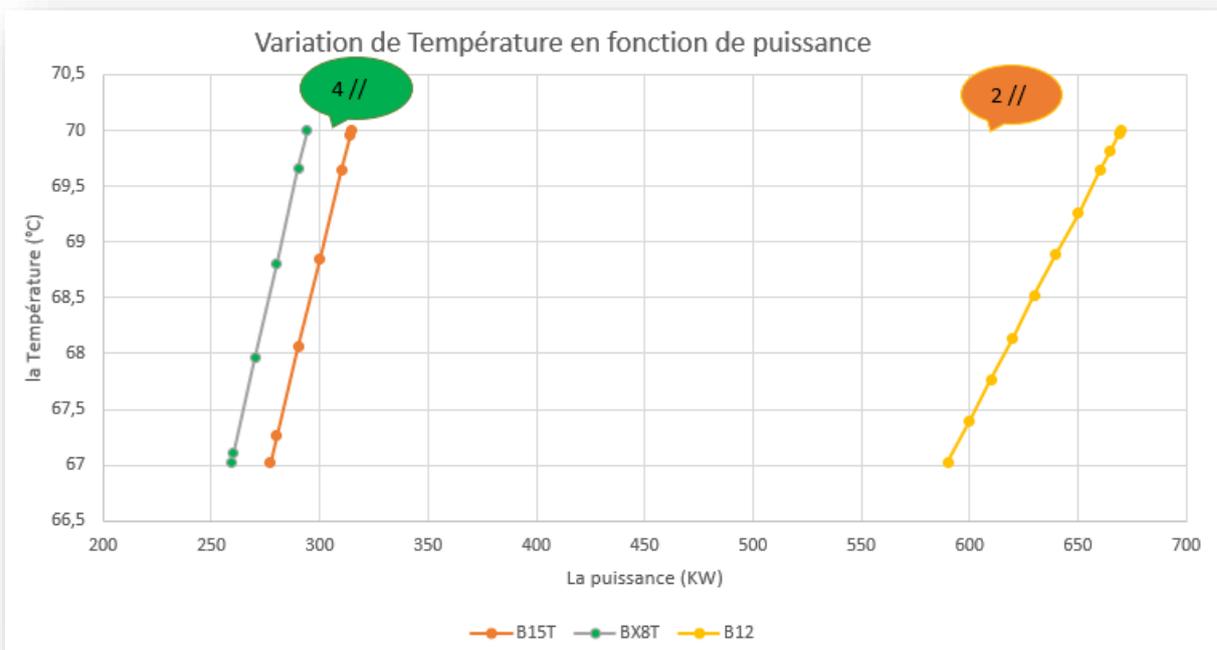
$$Q = \dot{m} C_p \Delta T$$

Où :

M : débit massique du fluide

Cp : capacité thermique de fluide

- À cette étape, vous disposez de six échangeurs thermiques, à savoir : B10T, B15T, B12, BX8T, B28, et B25T. Vous devez choisir le modèle le plus approprié et le plus performant pour optimiser le système de concentration solaire utilisé dans la désinfection des bactéries de légionelles.
- Après avoir comparé les performances des quatre échangeurs, à savoir B10T, B12, B25T et B28, qui ont tous atteint la température de désinfection ( $T=70^\circ\text{C}$ ) à une puissance identique ( $P=669,7 \text{ kW}$ ), nous avons sélectionné le modèle B12. Cette décision est basée sur le fait que le modèle B12 nécessite un espace plus restreint ( $6,38 \text{ m}^2$ ) et qu'il peut être installé avec seulement deux échangeurs en parallèle.



**Figure III-8 :** Variation de température en fonction de puissance pour des différents échangeurs de chaleur.

-Le graphique présente trois courbes distinctes, probablement associées à différents modèles des échangeurs de chaleur : B12, B15T, et le BX8T.

-Pour atteindre la température de désinfection  $T=70^{\circ}\text{C}$ , L'échangeur de chaleur B12 consomme plus d'énergie ( $P=669,7\text{ KW}$ ) par rapport aux autres échangeurs (B15T et BX8T) pour une installation nécessitant deux échangeurs montés en parallèle, et quatre échangeurs en parallèle aussi pour le B15T et BX8T. Le BX8T consomme moins d'énergie ( $P=294\text{KW}$ ) par rapport aux autres échangeurs de chaleur (pour B15T,  $P=314,5\text{ KW}$ ). -L'augmentation de température est plus importante pour l'échangeur BX8T avec une puissance minimale qui égale 294 KW par rapport aux autres échangeurs de chaleur : B12 et B15T.

-Le modèle BX8T semble générer les températures les plus élevées pour une puissance donnée, suivi par B15T et B12. -Le modèle B12 est le moins performant mais aussi le plus fiable, et Le modèle BX8T est le plus performant.

-Donc, le choix s'est porté sur l'échangeur BX8T, capable d'atteindre la température de désinfection ( $70^{\circ}\text{C}$ ) avec une consommation d'énergie réduite (294 kW) et une empreinte spatiale restreinte ( $6,26\text{ m}^2$ ).

### **Conclusion :**

Ce chapitre expose un prototype de système solaire à concentration principalement conçu pour les traitements thermiques visant la désinfection et la protection permanente contre la bactérie de légionelle.

Les résultats expérimentaux démontrent l'efficacité notable de ce système solaire, capable d'atteindre aisément une température de 70°C avec un débit d'eau de 60 Kg/h, ce qui le rend adapté à la désinfection de la bactérie de légionelle.

Les résultats de simulation indiquent que l'échangeur thermique BX8T est le plus performant, atteignant la température de désinfection avec une consommation d'énergie moindre (P=259 kW) par rapport aux autres modèles, et occupant une superficie réduite (s=6,26 m<sup>2</sup>).



# Conclusion générale

La légionellose est une maladie infectieuse qui s'attaque au système respiratoire. Cette maladie se transmet par inhalation de gouttelettes d'eau contaminée diffusée en aérosol contenant la bactérie *Legionella* qui est responsable de 90% de la maladie de légionellose. La source de cette bactérie est les milieux aquatiques naturels comme les eaux douces (les lacs, les rivières...etc.), et elles sont plus courantes dans les réseaux d'eau chaude sanitaire et colonisent aussi dans les réservoirs et les systèmes de distribution d'eau potable comme les Hôpitaux, les Hotels...et les réseaux municipaux avec une concentration de  $2,3 \cdot 10^3$  UFC/ml à  $10^3$  UFC/l. Cette bactérie se multiplie facilement quand là trouve des conditions favorables pour leur croissance tels que : la température (20-50) °C, teneur en oxygène, le PH...etc.

Cette bactérie présente un risque majeur pour la santé publique, donc c'est une maladie à déclaration obligatoire d'autant plus que la mortalité est très élevée pour les gens qui sont immunodéprimés, et en particulier chez les personnes âgées ou sous traitements. Ainsi, diverses approches physique, thermique et chimiques sont utilisées pour traiter efficacement la légionelle.

Ces méthodes de traitement ne sont pas toujours efficaces pour donner une protection complète et permanente, Sauf si vous avez regroupé dans un seul traitement. Parmi ces approches, le traitement thermique est la plus efficace pour l'élimination complète de la recolonisation de la légionelle.

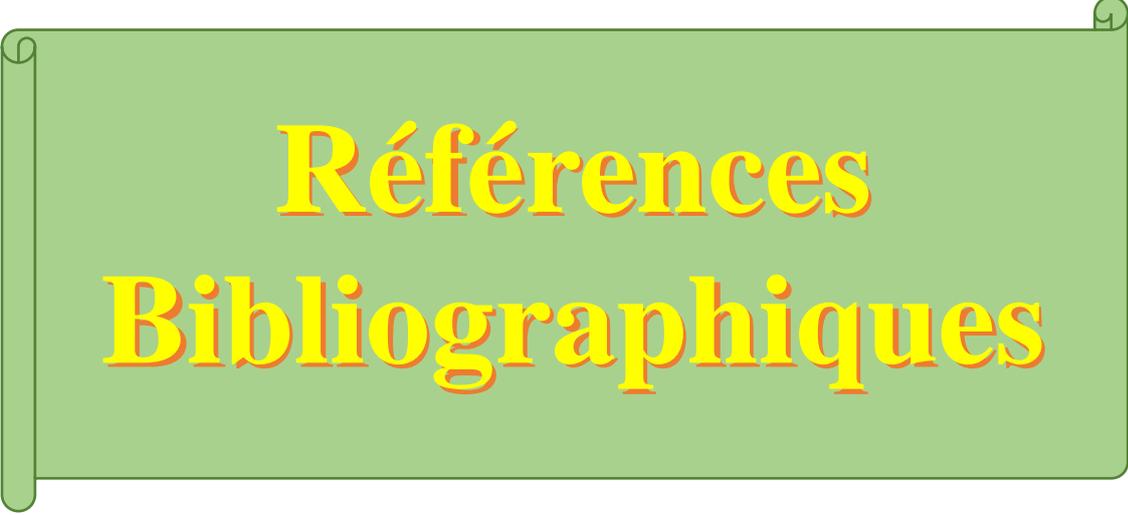
Dans cette étude, nous avons examiné un nouveau système solaire à concentration pour la désinfection thermique de la bactérie de légionelle.

Par rapport à l'étude expérimentale, l'énergie solaire (rayonnements solaires) sont concentrée et ensuite transporté par fibre optique jusqu'à la surface sélective de la cuve de stockage pour chauffer un fluide, générer de l'énergie thermique.

L'objectif principal est de concevoir un échangeur de chaleur antibactérien (ABHE) adaptable à différentes applications de désinfection, débits et types de fluides. L'ambition est qu'il puisse éventuellement devenir une méthode de traitement de l'eau largement reconnue, en utilisant autant que possible des sources de chaleur renouvelables.

Pour les résultats expérimentaux, le traitement de choc thermique est de 70°C avec un débit de 60Kg/h pour la désinfection rapide et permanente de la bactérie de légionelle.

Dans une première phase, un système de désinfection a été conçu, construit et testé. Ce système repose sur l'utilisation de concentrateurs solaires pour chauffer des échangeurs de chaleur, permettant ainsi d'atteindre la température nécessaire à l'élimination des bactéries, comprise entre 60 et 70°C, avec un débit de 60 kg/h. Dans une seconde phase, les résultats ont été simulés à l'aide d'un logiciel de calcul appelé SWEP, qui a confirmé les conclusions de l'expérience. Le choix s'est porté sur l'échangeur BX8T, capable d'atteindre la température de désinfection (70°C) avec une consommation d'énergie réduite (294 kW) et une empreinte spatiale restreinte (6,26 m<sup>2</sup>). Toutefois, pour cette installation, quatre échangeurs doivent être utilisés en parallèle.



# Références Bibliographiques

### Chapitre I:

[1] - [-legionelle-SPILF-aout2004.pdf](#)

[2] - [BACTERIE\\_Legionellose.pdf](#)

[3] - Palusińska-Szys M & Cendrowska-Pinkosz M (2009) Pathogenicity of the family Legionellaceae. Arch. Immunol. Ther. Exp. (Warsz.) 57 : 279-290.

[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] - Diederer, B. M. (2008). Legionella spp. And Legionnaires' disease. The Journal of infection 56, 1-12.

[6] - 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.

[7] - 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.

[8] - Han JH, Nguyen JC, Harada S, Baddour LM & Edelstein PH (2010) Relapsing Legionella pneumophila cellulitis: à case report and review of the literature. J Infect Chemother.

[9] - [9241562978\\_eng.pdf](#)

[10] <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/legionellose#:~:text=alors%20souvent%20fatales.-,Comment%20se%20transmet%20la%20maladie%20%3F,au%20niveau%20des%20alv%20%A9oles%20pulmonaires.>

[11] - <https://www.vidal.fr/maladies/voies-respiratoires/legionellose/causes.html>

[12] - <https://www.cchst.ca/oshanswers/diseases/legion.html>

[13] - [-legionellose\\_fiche\\_1\\_hcsp-2.pdf](#)

[14] - C. Fanjeaux « Legionella et Legionellose : Evolution des données épidémiologiques en France de 1987 A 2008 » Thèse de Doctorat, université de Henri Poincaré–Nancy 1 2010.

[15] - [conception-d 'un-système-solaire .PDF](#)

[16] - [aem00150-0181.pdf](#)

[17] - [aem00040-0114.pdf](#)

[18] - 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.

[19] - [SCD T 2006 0227 DELOGE ABARKAN.pdf](#)

[20] - 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, d'université de Poitiers, Ecole doctorale : Ingénierie Chimique, Biologique et Géologique, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées 2009.

- [21] - 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.
- [23] - 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.
- [24] - 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.
- [25] - 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
- [26] - 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.
- [27] - 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.
- [28] - 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.
- [29] - <https://en.vircell.com/diseases/20-legionella-pneumophila/>
- [30] - 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.Bakteriol. Mikrobiol.Hyg.* 186(1), 79-88.
- [31] - 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.
- [32] - 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.
- [33] - 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.
- [34] - Fields, B. S., Benson, R. F. & Besser, R. E. (2002). *Legionella* and Legionnaires' disease: 25 years of investigation. *Clinical microbiology reviews* 15, 506-526
- [35] - [www.safewater.org/PDFS/knowthefacts/.../LegionellaDetaille.pdf](http://www.safewater.org/PDFS/knowthefacts/.../LegionellaDetaille.pdf)
- [36] - Leclerc, H., Schwartzbord L., Dei Cas, E., 2002. Microbials agents associates with waterborne diseases. *Critical Reviews in Microbiology.* 28, 371-409.
- [37] - Leoni, E., Legnani, P. P., B. Sabattini, 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] -Jarraud, S., Reyrolle, M., Etienne, J., 1999. Diagnostic des Légionelloses. *Revue française des laboratoires*. 119-124.
- [40] -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.
- [41] -Dutka, B.J., 1984. Sensitivity of Legionella pneumophila to sunlight in fresh and marine waters. *Appl. Environ. Microbiol.* 48(5), 970-974.
- [42] -[SEST2006-14-FRERE.pdf](#)
- [43] -Stout JE & Yu VL (1997) Legionellosis. *N. Engl. J. Med* 337: 682-687.
- [44] -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.
- [44] - 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.
- [45] –Verdon.J « caractérisation et mode d'action de la warnéricine RK, un peptide antilegionella » Thèse de Doctorat, d'université de Poitiers, faculté des sciences fondamentales et appliquées Ecole Doctorale : Sciences pour l'Environnement Gay Lussac 2009.
- [46] –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.
- [47] –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.
- [48] –O'Connell, W.A., Bangsberg, J.M., Cianciotto, N.P., 1995. Characterization of a Legionella micdadei mip mutant. *Infection and Immunity*. 63, 2840-2845.
- [49] –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.
- [50] –Jarraud, S., Reyrolle, M., Etienne, J., 1999. Diagnostic des Légionelloses. *Revue française des laboratoires*. 119-124.

### Chapitre II :

[51] - <https://www.lenntech.fr/procedes/desinfection/chimique/desinfection/desinfectants-chloramines.htm>

[52] - [conception-d 'un-système-solaire .PDF](#)

[53] - <https://www.lenntech.fr/procedes/desinfection/chimique/desinfection/desinfectants-cuivre-argent-ionisation.htm>

[54] - [www.montreal.aspe.org/Légionnelle&Ionisation.pdf](http://www.montreal.aspe.org/Légionnelle&Ionisation.pdf)

[55] - 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, d'université de Poitiers, Ecole doctorale : Ingénierie Chimique, Biologique et Géologique, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées 2009

[56] - Keister. T. (2008). "Cooling Water Management - Basic Principles and Technology". Pennsylvania. Pro ChemTech International.Inc.

[57] - Haas. C. (1990). "Disinfection". Water quality and treatment, A handbook of community water supplies. FA Pontius. NY: McGraw-Hill, [Chapter 14].

[58] - 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 AirConditioning Engineers, Inc..Atlanta. GA (US).

[59] - Putois.T « Etude du traitement de désinfection des eaux de refroidissement par le couplage H2O2/UV Application à une tour aéroréfrigérante » Thèse de Doctorat, Université de Grenoble 10/10/2012.

[60] - <https://www.lenntech.fr/procedes/desinfection/chimique/desinfection/desinfectants-brome.htm>

[61] - [www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae02\\_v2.pdf](http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae02_v2.pdf)

[62] - Domingue, E.L.; Tyndall. R.L.; Mayberry, W.R. et Pancorbo, O.C. (1988). "Effects of three oxidizing biocides on Legionella pneumophila serogroup 1." Appl. Environ. Microbiol. 54 (3) : 741-747.

[63] - Strittmatter, R.J. ; Yang, B. et Johnson, D.A. (1992). "Application of ozone in cooling water systems ». Nashville, Tennessee, Nalco.

[64] - Viera. M.R. ; Guiamet. P.S. ; de Mele. M.F.L. et Videla. HA. (1999). "Use of dissolved ozone for controlling planktonic and sessile bacteria in industrial cooling systems "International Biodeterioration & Biodegradation 44(4) :201-207.

- [65] - 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.
- [66] - Kim, B. R., Anderson, J. E., Mueller, S. A., Gaines, W. A., Kendall, A. M., 2002. Efficacy of various disinfectants against Legionella in water systems. *Water Research*.36, 4433-4444.
- [67] -Storz, G., Imlay, J.A., 1999. Oxidative stress. *Current opinion in microbiology*.2, 188-194.
- [68] - García, M.T., Pelaz, C., 2008. Effectiveness of Disinfectants Used in Cooling Towers against Legionella pneumophila. *Chemotherapy*.54, 107-116.
- [69] -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, d'université de Poitiers, Ecole doctorale : Ingénierie Chimique, Biologique et Géologique, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées 2009.
- [70] -Collier. P.J. ; Austin. P. et Gilbert. P. (1991). "Isothiazolone biocides: enzymeinhibiting prodrugs." *International journal of pharmaceutics* 74 (2-3) :195-20
- [71] - [CHAABNA\\_Zineddine\\_2013\\_Archivage.pdf](#)
- [72] - [35726\\_PUTOIS\\_2012\\_archivage2.pdf](#)
- [73] - <http://www.gov.on.ca/lab/french/hs/guidelines/uvradiation/> site consulté le 11/07/2003
- [74] - 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*05: 407-415.
- [75] - Xie. Y.F. (2004). "Disinfection Byproducts in Drinking Water". Boca raton. Lewis Publishers.
- [76] - Masschelein.W. J (2002). "Ultraviolet light in water and waste water sanitation". Boca Raton, Levis Publishers.
- [77] - 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.
- [78] - 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.
- [79] - Kim, B. R., Anderson, J. E., Mueller, S. A., Gaines, W. A., Kendall, A. M., 2002. Efficacy of various disinfectants against Legionella in water systems. *Water Research*.36, 4433-4444.
- [80] -Piyasena P, E Mohareb E, C McKellar R (2003) Inactivation of microbes using ultrasound: a review *International. Journal of Food Microbiology*87: 207-216.
- [81] -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.

- [82] - 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.Sonochemistry10: 315-318.
- [83] - 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 Research44 (3): 703-710
- [84] - 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.
- [85] - 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 Microbiology77: 1268-1275.
- [86] - 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 Microbiology60 :1842-1851
- [87] -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.
- [88] - Altorkmany1. L, Nordell2.Bo « Overview of Legionella bacteria infection; control and treatment methods ».
- [89] -Bartram, J., Chartier, Y., Lee, J., Pond, K., Surman-Lee, S. (2007). Legionella and the prevention of Legionellosis. World Health Organization.
- [90]-<https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/legionellose#:~:text=La%20bact%C3%A9rie%20en%20cause%20r%C3%A9siste,les%20fluoroquinolones%20ou%20la%20rifampicine.>
- [91] - [2011-afssaps-map-legionellose.pdf](#)
- [92] - [www.fr.wikipedia.org/wiki/Légionellose](http://www.fr.wikipedia.org/wiki/Légionellose) préventio

### Chapitre III:

- [93] -American Water Works Association. (2015). "Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water." McGraw Hill Professional.
- [94] -U.S. Environmental Protection Agency. (2013). "Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual." EPA 815-R-12-007.
- [95] -Symons, J. M., et al. (1981). "Health Effects of Drinking Water Chlorination." *Environmental Health Perspectives*, 46, 177-182.
- [96] -Stout, J. E., et al. (1985). "Legionella pneumophila in Residential Water Supplies: Environmental Surveillance with Clinical Assessment for Legionnaires' Disease." *Epidemiology and Infection*, 95(1), 29-37.
- [97] –American Water Works Association. (2015). "Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water." McGraw Hill Professional.
- [98] –Environmental Protection Agency (EPA). (2006). "Silver in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality."
- [99] –U.S. Environmental Protection Agency. (2006). "Point-of-Use Drinking Water Treatment Units with Silver-Impregnated Activated Carbon and Silver-Impregnated Ceramic."
- [100] –Lin, Y.E., Vidic, R. D., & Stout, J. E. (1998). Evidence of ozone exposure effects on biofilms in PVC drinking water pipe. *Water Research*, 32(3),925-930.
- [101] –World Health Organization (WHO). (2004). *Guidelines for Drinking-water Quality: Recommendation (Vol. 1)*. Geneva: World Health Organization.
- [102] –Schwartz, T., Hoffmann, S., & Obst, U. (2003). Formation of naturel biofilms during chlorine dioxide and u.v. disinfection in a public drinking water distribution system. *Journal of applied Microbiology*, 95(3), 591-601.
- [103] –Zhang, Y., Zhu, L., & Zhang, H. (2004). Study on ozone disinfection of natural waters. *Ozone: Science & Engineering*, 26(4), 325-331.

- [104] –Glaze, W. H., Kang, J. W., & Chaping, H. H. (1987). The chemistry of water treatment processzs involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation. *Ozone: Science & Engineering*, 9(4), 335-352.
- [105] –Cantor, A. F., & Katz, L. E. (1991). Cost estimation of water treatment facilities. CRC Press.
- [106] –Sanks, R. L. (1992). Handbook of industrial engineering: Technology and operations management. John Wiley & Sons.
- [107] – Buffle, J., & van Leeuwen, H. P. (2003). Environmental Particles. CRC Press.
- [108] – Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2019). Ozone. United States Department of Labor.
- [109] – Isothiazolinones Biocides: Chemistry, Biological, and Toxicity Profiles “– Journal of Industrial and Engineering Chemistry.
- [110] – « Disinfection with Isothizolinone Biocides: Chemistry and Microbial Aspectes » - Applied Microbiology and Biotechnology.
- [111] – « Stability and Performance of Isothiazolinone Biocide in cooling Water Systems » - Industrial & Engineering Chemistry Research.
- [112] – « Toxicity of Isothiazolinine Biocides: Enviremntal and Health Concerns » - Enviremntal Science and Pollution Research.
- [113] – « Microbial Resistance to Isothiazolinone Biocides: Michanisms and Implications » - Current Opinion in Biotechnology.
- [114] – « Formation of Chlorinated By-Products during the Reaction of Isothiazolinone Biocides with Chlorine » - Enviromental Science and Technology.
- [115] –Deryke, C. A., Crawford, J., & Uryniak, T. (2016). Effectiveness of hydrogen peroxide in controlling Legionella pneumophila in cooling towers. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 43(9), 1223-1230.
- [116] –Rahman, K., Rahman, T., & Khandaker, M. (2018). Eco-friendly Disinfection of Water Using Hydrogen Peroxide. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 5(1), 2161-2528.
- [117] –Sedlak, D. L., & Andren, A. W. (1991). The role of iron and hydrogen peroxide in the degradation of pesticides in aqueous systems. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology*, 20(1), 55-61.
- [118] –Hayyan, M., Hashim, M. A., & AlNashef, I. M. (2016). Superoxide Ion: Generation and Chemical Implications. *Chemical Reviews*, 116(5), 3029-3085.
- [119] –Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2019). Hydrogen Peroxide.
- [120] –Leikin, J. B., & Tonelli, A. (2012). Hydrogen peroxide. In Goldfrank's Toxicologic Emergencies (pp. 917-925). McGraw-Hill.
- [121] –Kowalski, W. J., & Bahnfleth, W. P. (2010). Airborne respiratory diseases and mechanical systems for control of microbes. *ASHRAE Transactions*, 116(2), 17-32.



- [122] –Sommer, R., & Haider, T. (2011). Disinfection of Water with Ultraviolet Radiation. In *Water Quality* (pp. 247-266). Springer.
- [123] –ANSI/AAMI/IEC. (2003). American National Standard: Safe Use of Lasers in Health Care (ANSI/AAMI/IEC 60601-2-22). Arlington, VA: Association for the Advancement of Medical Instrumentation.
- [124] –Kim, H. K., & Park, C. M. (2017). The Impact of Ultrasound Frequency on *Legionella pneumophila* Inactivation in Tap Water. *Microbiology and Immunology*, 61(1), 20-27.
- [125] –Koutchma, T., Parisi, B., & Patazca, E. (2015). *Handbook of Ultraviolet Germicidal Irradiation*. Springer.
- [126] –Stout, J. E., Yu, V. L., & Muraca, P. (1985). Legionnaires' disease. *New England Journal of Medicine*, 313(14), 853-859.
- [127] –Collins, S., & Stevenson, D. (2003). *Boilers, Water Treatment and Steam Generation*. Amsterdam: Elsevier.
- [128] –Lin, Y. E., Stout, J. E., Yu, V. L., & Vidic, R. D. (1998). Disinfection of water distribution systems for *Legionella*. *Seminars in Respiratory Infections*, 13(2), 147-159.
- [129] – Health and Safety Executive (HSE). (2020). Legionnaires' disease.
- [130] –André E, Schade J. Daylighting by optical fiber M.Sc. thesis). Sweden: Luleå University of Technology; 2002. p. 260.
- [131] - S. Amara, T. Baghdadli, S. Knapp, B. Nordell A 2016. *Legionella disinfection by solar concentrator system*, Elsevier.
- [132] - Amara. S, Nordell. B, Benyoucef. B, Benmoussat A 2011. Concentration heating system with optical fibre supply, *Procedia* 6, Elsevier, 805-814
- [133] -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.
- [134]-Amara S. Novel and ancient technologies for heating and cooling buildings (Doctoral thesis). Luleå, Sweden: Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Luleå University of Technology; 2011.
- [135]-Nordell B, Altorkmany L. Energy efficient eradication of *Legionella* and other bacteria in water. Luleå, Sweden: Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Luleå University of Technology; 2009, Forma's proposal.
- [136]- Kohler A. Simulation of the anti-bact heat exchanger (ABHE), project work. Luleå, Sweden: Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Luleå University of Technology; 2013.
- [137]- Meteonorm version 6.1: {[www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)}

### Résumé :

La légionellose est une infection pulmonaire sévère causée par la bactérie Legionella Pneumophila. Cette maladie peut être contractée par inhalation de gouttelettes d'eau contaminée, généralement à partir de sources telles que des systèmes de climatisation, des tours de refroidissement...etc. 90% des décès par maladies infectieuses sont imputables à Legionella Pneumophila, Soulignant le danger important que représente cette bactérie pour la santé humaine. Divers procédés chimiques, physiques et thermiques permettent de lutter efficacement) contre cette bactérie. Dans cette mission, nous avons développé, au sein de l'Unité de Recherche en Énergies Renouvelables (université de Tlemcen) un nouveau système à concentration alimenté par fibre optique. Le but est de concentrer les rayons solaires sur un point central, puis de transférer cette énergie vers un échangeur dans le foyer. Cependant, le débit actuel de 60 kg/h ne permet pas d'atteindre les températures requises (entre 60°C et 70°C) pour éliminer les bactéries.

**Mot Clés :** Légionelle, Legionella Pneumophila, désinfection, concentrateur solaire.

### Abstract:

Legionellosis is a severe lung infection caused by the Legionella Pneumophila bacterium. This disease can be contracted through inhalation of contaminated water droplets, typically from sources such as air conditioning systems, cooling towers, etc. 90% of deaths from infectious diseases are attributed to Legionella Pneumophila, highlighting the significant danger this bacterium poses to human health. Various chemical, physical, and thermal processes enable effective combat against this bacterium. In this endeavor, we have developed a new concentration system powered by optical fiber within the Renewable Energy Research Unit at the University of Tlemcen. The aim is to concentrate solar rays onto a central point and then transfer this energy to a heat exchanger in the hearth. However, the current flow rate of 60 kg/h does not allow reaching the required temperatures (between 60°C and 70°C) for bacteria elimination.

**Keywords:** Legionella, Legionella Pneumophila, disinfection, solar concentrator.

### ملخص:

مرض الفيالقة هو عدوى رئوية شديدة تسببها بكتيريا الليجونيللا الرئوية. يمكن أن تُصاب الشخص بتلك العدوى عن طريق استنشاق قطرات الماء الملوثة، عادةً من مصادر مثل أنظمة التكييف وأبراج التبريد... إلخ. 90% من الوفيات الناجمة عن الأمراض المعدية يمكن أن ترجع إلى بكتيريا الليجونيللا الرئوية، مما يُسلط الضوء على الخطر الكبير الذي تمثله هذه البكتيريا على صحة الإنسان. تُساعد العديد من الطرق الكيميائية والفيزيائية والحرارية المختلفة على مكافحة هذه البكتيريا بفعالية. في هذه المهمة، قمنا بتطوير نظام جديد للتركيز الضوئي بواسطة الألياف البصرية في وحدة البحث في الطاقة المتجددة بجامعة تلمسان. الهدف هو تركيز الأشعة الشمسية على نقطة مركزية، ثم نقل هذه الطاقة إلى مبادل حراري في الفرن. ومع ذلك، فإن التدفق الحالي البالغ 60 كجم/ساعة لا يسمح بالوصول إلى درجات الحرارة المطلوبة (بين 60 درجة مئوية و70 درجة مئوية) للقضاء على البكتيريا.

**الكلمات المفتاحية:** الليجونيللا، الليجونيللا المستروحة، التطهير، المكثف الشمسي.

