

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun–Tiaret
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Microbiologie Appliquée

Présenté par :
AIT HAMMOU Leila Imene
AMARI Rebiha
BENYAMINA Mimouna Ahlem

Thème

**Etude du comportement des souches pathogènes
dans un milieu liquide ionique**

Soutenu publiquement le 03/07/2023

Jury :

Président : M.ACEM. K.

Examineur : Mme. LAREDJ ZAZOU. K.

Encadrant : M. FETOUHL.B.

Co-encadrant : M. YEZLI.W.

Grade

MAA

MCB

MCA

MCA

Année universitaire 2022-2023

Remerciements

Mon Dieu

*Nous Tenons Tout D'Abords Á Remercier Allah Le Tout Puissant Et Miséricordieux, Qui Nous
Donné La Force D'Accomplir Ce Modeste Travail.*

*Nous Ne Pouvons Pas Clore Ce Mémoire Sans Exprimer Nos Sincères Remerciements Á Toutes
Les Personnes Qui Ont Contribué Á Sa Réalisation. Nous Tenons Particulièrement Á Remercier
Notre Encadrant, Monsieur **Fetouhi Bekhaled**, Pour Son Soutien Infaillible Et Ses Conseils
Judicieux Á Chaque Étape De Notre Travail. Et notre Co encadreur monsieur Yezli **Wassim**
pour leur expertises et soutien qui ont été essentiels pour mener cette mission.*

***Nous tenons à remercier chaleureusement l'équipe de laboratoire technologie
Agroalimentaire (Messieurs : Houari, Benhalima, Bachir et Abdelhamid) pour leur accueil
au niveau de ce laboratoire et surtout leur conseils, leurs soutiens qu'ils nous ont apporté
lors de la réalisation de ce mémoire***

*Nous Souhaitons Également aussi Exprimer Notre Gratitude Envers Mme **Soualmi.K** Pour
Nous Avoir Accueillis Au Laboratoire De Microbiologie Et Pour Ses Précieux Conseils Qui Nous
Ont Permis D'Effectuer Notre Travail Dans Les Meilleures Conditions.*

*Nous Remercions Également Les Membres De Notre Jury **Dr. ACEM.K** et **Dr. LAREDJ ZAZOU.K**,
Qui Ont Accepté D'Évaluer Notre Travail Avec Attention Et Rigueur.*

Enfin,

*Nous Adressons Nos Remerciements Les Plus Sincères Á Nos Parents, Nos Familles, Nos Amis
Et Nos Proches Pour Leur Soutien Indéfectible Tout Au Long De Notre Parcours Académique.*

Merci !



Dédicaces

Avec une grande joie je dédie ce Modest travail à

*La femme la plus chère du monde ma mère qui a sacrifié son bon moment afin
de me construire une vie pleine de tendresse*

L'homme le plus cher mon père

*Mon cher mari **Nadjib** qui m'a toujours encouragé*

*Mes frères **Abdo, Mohamed, Sâad, Salah** et **Aissa***

*Ma sœur **Chaimaà***

*Mes chères amies **Fatima, Azza, Ikram** et **Hanane***

Et à tous ceux qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail

Rebiha

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à mon cher père Karim et Ma mère Fatima pour leur amour, leur soutien inconditionnel et leur encouragement tout au long de ces années d'études.

Vous avez toujours cru en moi, même lorsque j'avais des doutes sur moi-même, et je n'aurais jamais pu arriver à ce point sans votre aide.

*Je souhaite également dédier ce mémoire à mes frères Khaled et **Amine**.*

À *ma plus chère sœur **Ikhlassa***

À *mes proches, qui m'ont soutenu à travers les hauts et les bas de ce parcours universitaire. Vos encouragements, vos conseils et votre soutien moral étaient essentiels pour moi, et je suis reconnaissante de vous avoir dans ma vie.*

Enfin, je tiens à dédier ce mémoire à tous les professeurs et mentors qui ont façonné mon parcours académique.

Vos enseignements, vos conseils et votre expertise ont été une source d'inspiration constante pour moi, et je suis heureuse de pouvoir partager mes connaissances avec le monde grâce à votre influence positive.

Merci à tous ceux qui ont contribué à ce voyage, que cette modestie puisse être appréciée et servir à ouvrir d'autres portes.

Leila Imene

Dédicaces

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux
qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur
exprimer mon amour sincère*

A *ma mère **SAIDA** mon soutien moral, qui a souffrir pour moi qui n'a jamais
dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre
heureuse.*

A *l'homme de ma vie, mon exemple dans la vie, mon précieux offre du dieu, qui
doit ma vie, ma réussite et tout mon respect mon père **BENYAMINA RACHID***

A *mes adorables sœurs **FATIMA** et **SARAH** qui ont toujours été à mes côtés
elles me donnent de la force et m'encouragent Que dieu les protège et l'offre
la chance et le bonheur.*

A *mon cher frère **ABDESSAMED** et sa femme **MALIKA** qui m'ont toujours
soutenu*

A *mes neveux **NASSIM, AMIR, ANAS** aussi mes nièces **MALEK** et la petite
adorable **MERIEM***

Je vous aime.

Mimouna Ahlem

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT

DEDICACES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ANNEXES

Introduction générale.....01

Chapitre I : synthèse bibliographique

I.1. Introduction	04
I.2. Définition des liquides ioniques	04
I.3. Propriétés physico-chimiques des liquides ioniques	04
I.3.1. Point de fusion et de congélation bas	04
I.3.2. La stabilité thermique des liquides ioniques.....	04
I.3.3. La viscosité.....	05
I.3.4. La solubilité ionique.....	05
I.3.5. La conductivité ionique.....	05
I.3.5. Absorption de gaz.....	05
I.4. La synthèse des liquides ioniques.....	05
I.4.1. Réaction de quaternisation.....	05
I.4.2. Réaction d'échange d'anions.....	06
I.5. L'application d'ultrason dans la synthèse des liquides ioniques.....	06
I.6. Activité antibactérienne	07

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. Introduction.....	12
II.2. L'objectif.....	12
II.3. Lieu du travail.....	12

II.4. Partie chimique.....	13
II.4.1. Protocole expérimental.....	13
II.4.2. Matériels.....	14
II.4.2.1. Les produits utilisés.....	14
II.4.2.2. Les appareils utilisés.....	14
II.4.2.3. Les verreries Utilisées.....	14
II.4.3. Procédés de synthèse des liquides ioniques.....	15
II.4.3.1. Synthèse (Quaternisation).....	15
II.4.3.1.a. Bis pipéridinium dichloride.....	15
II.4.3.1.b. Bis imidazolium dichloride.....	15
II.4.3.1.c. 1-butyl pipéridinium bromide.....	16
II.4.3.1.d. 1-butyl pipéridinium chloride.....	17
II.4.3.1.e. 1-butyl imidazolium bromide.....	18
II.4.3.1.f. 1,1éthyl méthyl imidazolium chloride.....	18
II.4.3.2. Échange anionique.....	19
II.4.3.2.a. Bis pipéridinium dioxalate.....	19
II.4.3.2.b. Bis imidazolium dioxalate.....	20
II.4.3.2.c. Bis 1-butyl pipéridinium dioxalate.....	21
II.5. Partie microbiologique.....	23
II.5.1. Protocole expérimental.....	23
II.5.2. Matériels.....	24
II.5.2.1. Les produits	24
II.5.2.2. Les verreries.....	24
II.5.2.3. L'appareillage.....	24
II.5.2.4. Les souches	25
II.5.3. L'activité antibactérienne.....	25
II.5.3.1. Préparation des milieux de culture.....	25
II.5.3.1.a. Des milieux de culture pour repiquage	25
_Le milieu Macconkey.....	25
_Le milieu Chapman.....	25
II.5.3.1.b. Préparation du milieu Muller Hinton	26
II.5.3.2. Repiquage des bactéries.....	26
II.5.3.3. Préparation des inoculums bactériens	27
II.5.3.4. Standardisation.....	27
II.5.3.5. Ensemencement.....	27

II.5.3.6. Préparation des solutions mères.....	28
II.5.3.7. La méthode de diffusion des disques.....	28
II.5.3.8. Application des disques des antibiotiques.....	29
II.5.3.9. Lecture des résultats.....	29

Chapitre III : résultats et discussion

III.1. Introduction.....	31
III.2. Les résultats de spectroscopie infrarouge des échantillons.....	31
III.3. Les résultats de rendement des LIs	39
III.4. Les résultats des échanges anioniques.....	40
III.5. Analyses des performances antibactérienne des LIs sur E. coli et S. aureus.....	40
III.5.1. Sur E. coli.....	41
III.5.2. Sur S. aureus.....	43
III.6. Analyses des résultats de la comparaison de l'impact de divers LIs.....	44
III.6.1. Sur E. coli.....	44
III.6.2. Sur S. aureus.....	44
III.7. Lecture des résultats portant sur l'efficacité des antibiotiques et des LIs.....	45
III.7.1. Sur E. coli.....	47
III.7.2. Sur S. aureus.....	48
III.8. Les résultats d'un test d'antibiogramme (test de sensibilité)	49
III. 8.1. Sur E. coli.....	49
III.8.2. Sur S. aureus.....	49
Conclusion générale	51
Références bibliographiques	54
Annexes.....	58
Résumé.....	63

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : synthèse bibliographique

Tableau N° 01 Classification taxonomique d'Escherichia coli.	08
Tableau N° 02 Classification taxonomique de staphylococcus aureus.....	08
Tableau N° 03 Classification taxonomique de salmonella	09

Chapitre II : matériels et méthodes

Tableau N° 01 Produits et leurs identifications	14
Tableau N° 02 Les appareils et leurs caractéristiques	14
Tableau N° 03 Les verreries.....	14
Tableau N° 04 Propriétés du [BisPI] ⁺ [2Cl] ⁻	15
Tableau N° 05 Propriétés du [BisIM] ⁺ [2Cl] ⁻	16
Tableau N° 06 Propriétés du [BPI] ⁺ [Br] ⁻	17
Tableau N° 07 Propriétés du [BIM] ⁺ [Br] ⁻	18
Tableau N° 08 Propriétés du [EMIM] ⁺ [Cl] ⁻	19
Tableau N° 09 Propriétés de [BisPI] ⁺ [2(C ₂ O ₄)] ⁻	20
Tableau N° 10 Propriétés de [BisIM] ⁺ [2(C ₂ O ₄)] ⁻	21
Tableau N° 11 Propriétés de [BPI] ⁺ [C ₂ O ₄] ⁻	22
Tableau N° 12 Les produits utilisés.....	24
Tableau N° 13 Les verreries et les autres outils utilisés	24
Tableau N° 14 L'appareillage.....	24
Tableau N° 15 Les souches	25

Chapitre III : résultats et discussion

Tableau N° 01 Rendement des liquides ioniques	39
Tableau N° 02 Résultats des échanges anioniques.....	40
Tableau N° 03 Efficacité antibactérienne des liquides ioniques pour E. coli.....	41
Tableau N° 04 Efficacité antibactérienne des liquides ioniques pour S.aureus.....	43
Tableau N° 05 Antibiotiques et des liquides ioniques contre E. coli et S. aureus.....	46
Tableau N° 06 Test d'antibiogramme pour E. coli et S. aureus.....	49

LISTE DES FIGURES

Chapitre II : Matériels et méthodes

Figure N° 01 Protocole expérimental.....	13
Figure N° 02 Bis pipéridinium dichloride....	15
Figure N° 03 Bis imidazolium dichloride.....	16
Figure N° 04 1-butyl pipéridinium bromide.....	17
Figure N° 05 Le mélange réactionnel avant et après la réaction.....	17
Figure N° 06 1-butyl midazolium bromide.....	18
Figure N° 07 1,1-éthyl méthyl imidazolium chloride.....	19
Figure N° 08 Le produit obtenu après la décantation.....	20
Figure N° 09 L'agitation et la décantation de Bis imidazolium dioxalate.....	21
Figure N° 10 L'agitation et la décantation de 1 butyl pipéridinium dioxalate.....	22
Figure N° 11 Protocole expérimental.....	23
Figure N° 12 La préparation des milieux de culture.....	25
Figure N° 13 Les milieux de culture préparés.....	26
Figure N° 14 Repiquage des bactéries.....	26
Figure N° 15 Inoculums bactériens.....	27
Figure N° 16 Spectrophotomètre.....	27
Figure N° 17 Préparation des solutions meres	28
Figure N° 18 La méthode de diffusion des disques.....	28
Figure N° 19 L'antibiogramme	29

Chapitre III : résultats et discussion

Figure N° 01 Le spectre IR de [EMIM] ⁺ [Cl] ⁻	31
Figure N° 02 Le spectre IR de [BisIM] ⁺ [2Cl] ⁻	32
Figure N° 03 Le spectre IR de [BisIM] ⁺ [2(C ₂ O ₄)] ⁻	33
Figure N° 04 Le spectre IR de [BIM] ⁺ [Br] ⁻	34
Figure N° 05 Le spectre IR de [BPI] ⁺ [Br] ⁻	35

Figure N° 06 Le spectre IR de $[\text{BisPI}]^+ [2(\text{C}_2\text{O}_4)]^-$	36
Figure N° 07 Le spectre IR de $[\text{BisPI}]^+ [2\text{Cl}]^-$	37
Figure N° 08 Le spectre IR de $[\text{BPI}]^+[\text{C}_2\text{O}_4]^-$	38
Figure N° 09 Effet de liquide ionique d'un cation imidazolium sur E. coli.....	42
Figure N° 10 Effet de liquide ionique d'un cation pipéridinium sur E. coli.....	44
Figure N° 11 Effet des liquides ioniques sur les deux souches pathogènes	44
Figure N° 12 Comparaison entre les antibiotiques et les liquides ioniques sur E. coli.....	45
Figure N° 13 Comparaison entre l'effet des antibiotiques et l'effet des liquides ioniques sur S. aureus.....	47
Figure N° 14 La comparaison entre les antibiotiques et les LIs sur S. aureus.....	48

Liste des annexes

Figure N° 01 Dichlorométhane.....	58
Figure N° 02 pipéridine.....	58
Figure N° 03 2-chlorobutane.....	58
Figure N° 04 1-Bromobutane.....	58
Figure N° 05 Oxalate de sodium.....	58
Figure N° 06 Imidazole	58
Figure N° 07 ultrason	59
Figure N° 08 Balance.....	59
Figure N° 09 Agitateur magnétique.....	59
Figure N° 10 Agitateur thermomagnétique.....	59
Figure N° 11 Vortex.....	59
Figure N° 12 Spectrophotomètre.....	59
Figure N° 13 Evaporateur rotatif (01)	60
Figure N° 14 Evaporateur rotatif (02)	60
Figure N° 15 Autoclave.....	60
Figure N° 16 Spectroscopie infrarouge.....	60
Figure N° 17 l'effet de [BIM] ⁺ [Br] ⁻ sur S. aureus.....	61
Figure N° 18 l'effet de [BisIM] ⁺ [2Cl] ⁻ sur S. aureus.....	61

LISTE DES ABREVIATIONS

LI	Liquide ionique
LIs	liquides ioniques
IR	infra rouge
Rdt	Rendement
Tr	Tours
[BisPI]¹⁺ [2Cl]⁻	Bis pipéridinium dichloride
[BisIM]⁺ [2Cl]⁻	Bis imidazolium dichloride
[BPI]⁺ [Br]⁻	1-butyl pipéridinium bromide
[BIM]⁺ [Br]⁻	1-butyl imidazolium bromide
[BPI]⁺ [Cl]⁻	1-butyl pipéridinium chloride
[EMIM]⁺ [Cl]⁻	1,1-éthyl méthyl imidazolium chloride
[BisPI]⁺ [2(C₂O₄)]⁻	Bis pipéridinium dioxalate
[BisIM]⁺ [2(C₂O₄)]⁻	Bis imidazolium dioxalate
[BPI]⁺ [C₂O₄]⁻	1-butyl pipéridinium dioxalate
ATCC	American Type Culture Collection
RMN	Résonance magnétique nucléaire
MH	Muller Hinton
Macc	Macconkey
Chap	Chapman
AB	Antibiotique
E. coli	Escherichia coli
S. aureus	Staphylococcus aureus
(u a)	Unité absorbance

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

L'utilisation des antibiotiques a commencé il y a plus de 80 ans, lorsque la pénicilline a été découverte par Alexander Fleming en 1928 [1]. Depuis lors, de nombreux autres antibiotiques ont été développés et utilisés pour traiter une grande variété d'infections [2]. Au milieu du siècle dernier, la production généralisée d'antibiotiques a permis de traiter un grand nombre d'infections. Malheureusement, leur grande efficacité a conduit à une utilisation fréquente en médecine humaine et animale au fil des décennies, ce qui a entraîné une augmentation de la résistance aux bactéries dans le monde entier [3].

La résistance bactérienne aux antibiotiques est désormais considérée comme un problème majeur de santé publique, car elle prolonge la durée des soins nécessaires et augmente la morbidité associée aux infections. Dans certains cas, elle peut même menacer le pronostic vital [4]. Il est donc important de comprendre le fonctionnement des antibiotiques et de les utiliser avec prudence pour éviter la résistance bactérienne [5]. C'est pourquoi il est devenu primordial et urgent de rechercher de nouvelles cibles et agents antibactériens pour contrer les bactéries résistantes [6].

Parmi les nouveaux composés utilisés pour lutter contre ces bactéries, les liquides ioniques qui sont clairement établis comme ayant un impact sur différents niveaux biologiques, notamment dans les mécanismes d'activité biologique [7]. Cependant, leur efficacité peut varier d'un organisme à l'autre. Alors il est crucial de continuer à explorer de nouveaux moyens de lutte contre les maladies bactériennes, d'autant plus que la résistance aux antibiotiques continue de se propager à travers le monde [8].

Ces composés uniques, définis par leur point de fusion inférieur à 100 °C, possèdent des propriétés particulières grâce à la grande variété de cations et d'anions disponibles [9]. Les recherches portent sur leur utilisation dans de nombreux domaines tels que la chimie, la biologie, la pharmacie, l'électrochimie, la médecine, la bioraffinerie, la biotechnologie et la nanotechnologie [10].

Les dernières recherches suggèrent que ces sels ioniques peuvent également être utilisés comme solvants alternatifs pour la synthèse organique et la catalyse [11]. Ils peuvent être mixtes avec des solvants organiques pour produire des mélanges innovants avec des propriétés améliorées pour les applications en solution [12].

D'autres études explorent que ces derniers offrent des avantages potentiels dans ces domaines en raison de leur faible toxicité, leur compatibilité biologique et leur capacité à stabiliser les nanoparticules [13].

Introduction Générale

En somme, les liquides ioniques continuent d'être un domaine de recherche en constante évolution avec un potentiel énorme pour des applications futures [14]. Ce dernier est d'une importance particulière dans la microbiologie car ces solvants peuvent être utilisés pour traiter les infections causées par des bactéries pathogènes [15]. Dans le monde de la recherche scientifique, l'utilisation de liquides ioniques en biologie est devenue une avenue de recherche vitale. Leur capacité à être synthétisés et leur influence positive en activité antibactérienne, antioxydant et antifongique en font un sujet d'étude clé [16].

Le but principal de cette recherche a été focalisé sur l'action antibactérienne des liquides ioniques à base des cations pipéridinium et d'imidazolium aux différentes bactéries.

Notre travail sera organisé en trois chapitres. Le premier chapitre a été consisté en une étude bibliographique approfondie sur les liquides ioniques et les ultrasons. Dans le deuxième chapitre, nous aborderons les matériaux nécessaires ainsi que les protocoles détaillés pour synthétiser des liquides ioniques, par la méthode ultrasonique tout en évaluant leur efficacité antibactérienne. Le troisième chapitre sera centré sur les différents résultats obtenus sur la validation des liquides ioniques vis-à-vis les souches choisies.

Chapitre -I-

Synthèse Bibliographique

I.1. Introduction :

Les liquides ioniques (LI) forment une large classe de molécules associant des sels organiques avec des points de fusion généralement inférieure à 100 °C [17], formée de cations organique et d'anions organique ou inorganique.

Historiquement, la découverte de les liquides ionique effectuée par le chimiste Paul Walden depuis 100 ans [18], en était une d'importance puisque les sels connus à l'époque présentaient tous des points de fusion plus élevés par plusieurs centaines de degrés Celsius, comme celui de chlorure de sodium le NaCl atteint environ 800°C. Les (LI) a été considéré comme un "solvant vert" en raison de sa très basse pression vapeur, résistance à la chaleur et stabilité thermique. Plus généralement, ce sont Le composé de référence d'aujourd'hui en chimie moléculaire avec ces puissantes capacités d'applications incluent les séparations chimiques, la catalyse ou les dispositifs d'énergie. Et ils ont aussi des propriétés biologiques et pharmacologiques, à cause de leurs propriétés tensioactives, antibiotiques, anti-inflammatoires et anticancéreuses.

I.2. Définition :

Les LIs sont des sels organiques caractérisés par une température de fusion proche de la température ambiante [19]. Cela les sépare clairement des sels fondus inorganiques tels que des halogénures en métal acliniques qui ont des températures de fusion beaucoup plus élevées. Les LIs peuvent être liquides dans des gammes de température très modérées, rendant ainsi plus facile leur application dans différents procédés chimiques y compris en tant que solvants [20]. Ils se composent d'un cation organique et d'un anion organique ou inorganique et ils sont agis également comme électrolyte dans les supercondensateurs pour profiter de sa très grande stabilité électrochimique [21-22].

I.3. Les propriétés physicochimiques des LIs :

Les liquides ioniques, sont des sels liquides à des températures inférieures à leur point de fusion standard. En raison de leur structure, ces liquides ont des propriétés physico-chimiques uniques, notamment :

I.3.1. Point de fusion et de congélation bas :

Les liquides ioniques ont un point de fusion inférieur à celui des sels inorganiques, ce qui leur permet d'être liquides à des températures plus basses.

I.3.2. Stabilité thermique :

Les liquides ioniques sont très stables thermiquement en raison de leur faible volatilité.

I.3.3. Viscosité :

Les liquides ioniques ont une forte viscosité, ce qui signifie qu'ils ont des propriétés élastiques et visqueuses.

I.3.4. Solubilité ionique :

Les liquides ioniques peuvent dissoudre un grand nombre d'ions sans former de précipités, ce qui leur confère une grande capacité de solubilité.

I.3.5. Conductivité ionique :

Les liquides ioniques sont d'excellents conducteurs d'électricité en raison de leur forte capacité à déplacer des ions.

I.3.6. Absorption de gaz :

Les liquides ioniques ont une grande capacité d'absorption de gaz, ce qui les rend utiles dans diverses applications de capture de gaz.

Ces propriétés physico-chimiques uniques rendent les liquides ioniques utiles dans de nombreuses applications, notamment pour les batteries, les matériaux de séparation, les catalyseurs et les fluides de refroidissement.

I.4. La synthèse des LIs :

Au début des années 1960, les premiers résultats sur la synthèse des liquides ioniques ont été rapportés. L'imidazole et la pyridine ont été utilisés par Varma, Atkins et al, pour démontrer que la synthèse des liquides ioniques se fait souvent en deux étapes [23-24].

La première, est une réaction de quaternisation afin d'obtenir le cation souhaité et la seconde correspond à une réaction d'échange d'anions. Dans la plupart des cas, il est possible d'obtenir commercialement et à faible coût le cation souhaité sous forme d'halogénure. En parallèle la réaction d'échange d'anions fait partie à la variation de type de liquide ionique.

I.4.1. Réaction de quaternisation :

La protonation d'un acide libre ou la quaternisation d'une amine ou d'une phosphine, le plus souvent par un haloalcane, peuvent toutes deux être utilisées pour créer le cation liquide ionique. Evans et al [25].

L'irradiation par micro-ondes est utilisée dans ce processus. Cette méthode permet d'obtenir des rendements très élevés en très peu de temps. Cette méthode ne peut être utilisée que pour des quantités incroyablement faibles de réactif. Il convient de souligner que les amines et les phosphines peuvent également être quaternisées, un processus qui n'est pas exclusif aux liquides ioniques à base d'eau.

Il convient de souligner que les amines et les phosphines peuvent également être quaternisées, un processus qui n'est pas exclusif aux liquides ioniques à base d'anions halogénés.

D'autres anions, tels que le tosylate et le triflate, peuvent être synthétisés à l'aide de cette méthode [26]. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet d'effectuer une synthèse en une seule fois avec la possibilité de s'affranchir des ions halogénés contaminants, cette approche présente l'avantage de réaliser une synthèse en une seule étape.

I.4.2. Réaction d'échange d'anions :

Il existe un certain nombre de méthodes qui peuvent être prises en considération pour effectuer l'échange d'anions ; l'utilisation d'une méthode dépendra du type de LI que nous voulons obtenir et, en particulier, des caractéristiques physico-chimiques, des propriétés chimiques auxquelles nous voulons accéder. On peut définir deux voies de l'échange anionique :

- Voie 1 : La technique précurseur dans ce domaine de la chimie a été la création de liquides ioniques en traitant des sels d'halogénure avec des acides de Lewis (le plus souvent AlCl_3). Qui a découvert que le rapport molaire de 1 :2 entre le 1-butylpyridinium et AlCl_3 conduisait à la création d'une solution liquide à température ambiante [27].
- Voie 2 : la métastase anionique reste sans doute la réaction la plus courante. Elle implique l'utilisation d'un sel alcalin ou alcalino-terreux pour échanger un anion. Les ions se lient alors entre eux en fonction de leur affinité relative.

I.5. L'application des ultrasons dans la synthèse des LIs :

L'utilisation des ultrasons dans la synthèse des liquides ioniques a été étudiée pour la première fois dans les années 1990 par des chercheurs allemands [28]. Depuis lors, cette méthode a été largement utilisée pour la synthèse de divers types de liquides ioniques [29]. L'utilisation d'ultrasons peut réduire considérablement le temps de réaction, améliorer la pureté du produit et réduire les coûts de production [30].

En conclusion, l'utilisation des ultrasons dans la synthèse des liquides ioniques est une méthode efficace et pratique qui a été largement adoptée par les scientifiques pour produire des liquides ioniques de haute qualité à des coûts réduits [31].

I.6. Activité antibactérien :

L'activité antibiotique correspond à l'activité d'une molécule ou composé présent au sein d'un végétal qui à très faible concentration, inhibe le développement d'une bactérie ou la tue. La sensibilité d'une bactérie à un antibactérien varie selon la nature de l'antibactérien. Face à un antibactérien donné, la sensibilité d'une bactérie peut être très différente selon la souche d'appartenance. Les infections bactériennes sont causées par différents microorganismes et sont la cause des maladies les plus fatales et des épidémies les plus répandues. Un antibiotique est une substance antibactérienne produite par des microorganismes (champignons et bactéries) ou de synthèse chimique capable d'inhiber la multiplication ou détruire les micro-organismes.

Voici la classification de quelques souches pathogènes :

Les Bactéries :

Tableau N° 01 Classification taxonomique d'Escherichia coli

Dernière mise à jour du	15-12-2021 (JJ-MM-AAAA)
LPSN	
Domaine	Bactéries
Phylum	Protéobactéries
Classe	Gammaprotéobactéries
Commande	Entérobactéries
Famille	Entérobactéries
Genre	Escherichia
Espèce	Escherichia coli
Nom scientifique complet	Escherichia coli (Migula1895) Castellani et Chalmers 1919 (Listes approuvées 1980)

Tableau N° 02 Classification taxonomique staphylococcus aureus

Dernière mise à jour du LPSN	15-12-2021 (JJ-MM-AAAA)
Domaine	Bactéries
Phylum	Firmicutes
Classe	Bacilles
Commande	Caryophanales
Famille	Staphylococcie
Genre	Staphylocoque
Espèce	Staphylococcus aureus
Nom scientifique complet	Staphylococcus aureus Rosenbach 1884

Tableau N° 03 Classification taxonomique de salmonella

Dernière mise à jour du LPSN	Classement actuels
Domaine	-Bactéries
Phylum	Protéobactéries
Classe	Gamma protéobactéries
Commande	Entérobactéries
Famille	Etérobactériaceae
Genre	Salmonelle
Espèce	Salmonella enterica
Sous-espèce	Salmonella enterica subsp enterica

Chapitre -II-

Matériels et Méthodes

II.1. INTRODUCTION

L'utilisation des liquides ioniques s'est accrue durant les dernières années dans diverses disciplines de la chimie en raison de leurs nombreuses propriétés importantes qui sont modifiables par une variation des combinaisons Anion/Cation.

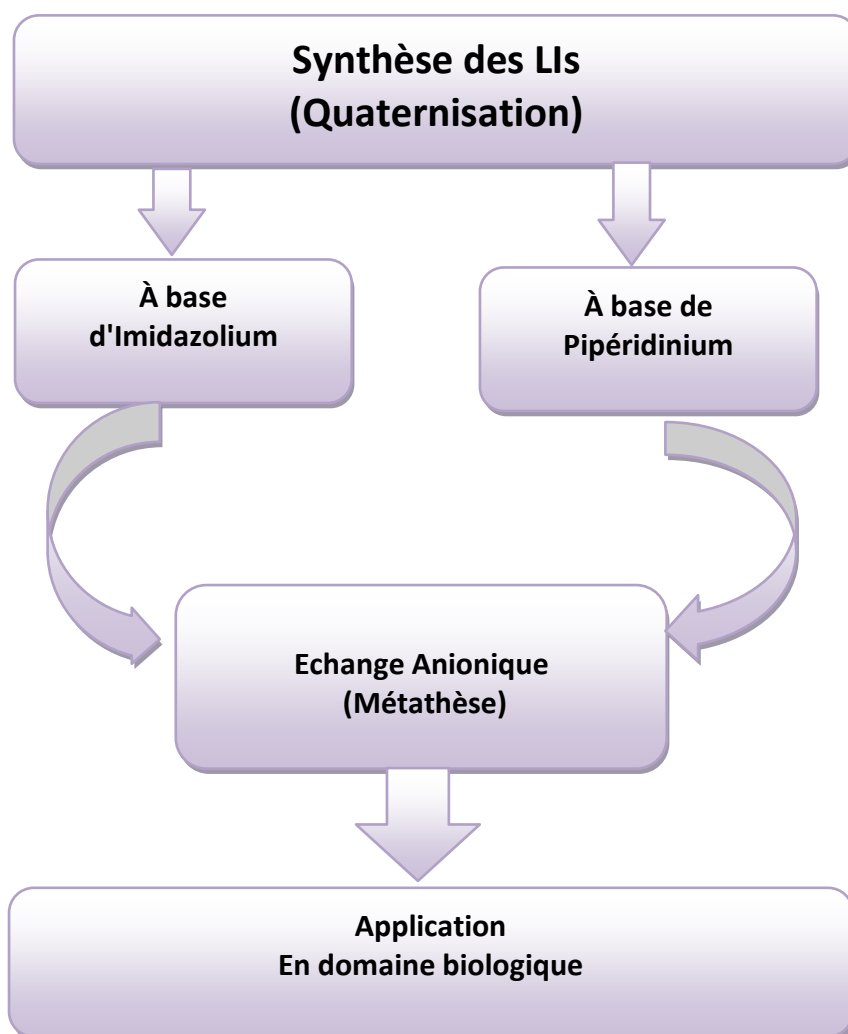
Cette étude a porté sur la synthèse des nouveaux liquides ioniques qui généralement réalisée en deux étapes une réaction de quaternisation et une réaction d'échange anionique afin d'étudier l'effet antibactérien de ces sels.

II.2. L'OBJECTIF

L'objectif principal de cette étude est basé sur la synthèse des nouveaux liquides ioniques à base de différents cations et anions par l'utilisation de la méthode ultrasonique et déterminer leurs influences sur deux souches pathogènes E. Coli et S. aureus.

II.3. Lieu du travail

Cette recherche en partie expérimentale a été réalisée au niveau des laboratoires Agroalimentaire et microbiologie de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université IBN Khaldoun Tiaret durant une période de 12/03/2023 au 27/04/2023.

II.4. PARTIE CHIMIQUE**II. 4.1. PROTOCOLE EXPERIMENTAL****Figure N° 01 protocole expérimental**

II.4.2. MATERIELS

II.4.2.1. Les produits utilisés

Tableau N° 01 Produits et leurs identifications

Produit	Formule chimique	Masse molaire	Masse volumique
Pipéridine	C ₅ H ₁₁ N	85,15 g/mol	0,86 g/cm ³
Imidazole	C ₃ H ₄ N ₂	68,07 g/mol	1,23 g/cm ³
Dichlorométhane	CH ₂ Cl ₂	84,93 g/mol	1,33 g/cm ³
1-Bromobutane	C ₄ H ₉ Br	137,02 g/mol	1,27 g/cm ³
2-Chlorobutane	C ₄ H ₉ Cl	92,52 g/mol	0,87 g/cm ³
Acétate d'éthyle	C ₄ H ₈ O ₂	88,11 g/mol	0,9 g/cm ³
Oxalate de sodium	Na ₂ C ₂ O ₄	134 g/mol	2,34 g/cm ³

II.4.2.2. Les appareils utilisés

Tableau N° 02 Les appareils et leurs caractéristiques

Appareils	Leurs caractéristiques
Ultrason	Modèle BANDELIN électronique tupe TK52 avec fréquence de sonication fixe 35 kHz et puissance entre 120_240 W
Agitateur	Agitateur magnétique chauffant IKA RCT basic (safety control), vitesse 0_1200t/min et température : Amb à 310 °C
Évaporateur rotatif	Modèle : Heidolph avec régulation électronique du bain 40_180°C et plage de vitesse de rotation 40_240 Tr/min, Alimentation 60 Hz
Balance	Balance de précision KERN d=0,1mg ; Max=120 g

II.4.2.3. Les verreries utilisées

Tableau N° 03 Les verreries

Verreries et autres	
Eprouvette	Flacon bouchonné
Becher	Spatule
Verre de montre	Micropipette
Entonnoir	Pipette
Ampoule à décanté	Ballon
Ballon à décanté	Pro pipette
Barreau magnétique	Erlenmeyer

II.4.3. PROCÉDES DE SYNTHÈSE DES LIS

II.4.3.1. Synthèse (quaternisation)

II.4.3.1.a. Bis pipéridinium dichloride

Dans un flacon bouchonné 15 ml (15×10^{-2} mol) de Pipéridine et 4,7 ml ($7,5 \times 10^{-2}$ mol) de Dichlorométhane sont mélangés et soumis une irradiation ultrasonique pendant 5h, un liquide visqueux apparaît avec 02 phases, la phase supérieure a été éliminé à l'aide d'une micropipette et la deuxième phase a été lavé 03 fois avec l'Acétate d'éthyle (25ml) à fin d'éliminer les traces de Dichlorométhane.

Une fois le solvant évaporé le produit est séché également par une rotation (60 Tr/min à une température de 80°C) sous vide durant une heure, le produit obtenu est un solide blanc jaunâtre.



Figure N° 02 Bis pipéridinium dichloride

Tableau N° 04 Propriétés du $[\text{BisPI}]^+ [\text{2Cl}]^-$

Nom	Formule chimique	Masse molaire	Masse	Rdt
Bis pipéridinium dichloride	$\text{C}_{11}\text{Cl}_2\text{N}_2\text{H}_{22}$	253g/mol	7,76g	76,37%

II.4.3.1.b. Bis imidazolium dichloride

Le LI $[\text{BisIM}]^+ [\text{2Cl}]^-$ a été obtenu par la méthode ultrasonique depuis la réaction chimique du 4,76g (0,07mol) d'Imidazole avec 2,23ml (0,035mol) de Dichlorométhane qui a été effectué pendant 02 h30 min.

Le produit apparaît est un solide blanc, passé à l'évaporateur rotatif (50 Tr/min à la température de 80°C) afin d'effectuer un lavage à plusieurs reprises par l'Acétate d'éthyle (03×25ml) pour éliminer tous excès de Dichlorométhane, ensuite le solvant a été éliminé et le produit a été séché sous vide pendant une heure pour avoir un produit de haute pureté.



Figure N° 03 Bis imidazolium dichloride

Tableau N° 05 Propriétés du [BisIM]⁺ [2Cl]⁻

Nom	Apparence	Formule chimique	Masse molaire	Masse	Rdt
Bis imidazolium dichloride	Solide blanc cristallin	C ₇ Cl ₂ N ₄ H ₈	219g/mol	4,73g	96,53%

II.4.3.1.c. 1-butyl pipéridinium bromide

La synthèse de ce LI a été réalisée en respectant le protocole suivant :
 Dans un flacon bouchonné, nous introduisant un mélange équimolaire de 19,80ml (0,2mol) de Pipéridine avec 21,57 (0,2mol) de 1-Bromobutane et soumis à une irradiation ultrasonique pendant 40 min, le produit obtenu est un solide rouge brique, il est lavé plusieurs fois avec l'Acétate d'éthyle (03×28ml) pour éliminer les traces de 1-Bromobutane, cette opération suivie par une rotation (60 Tr/min à la température de 80°C) à vide durant 15 min.



Figure N° 04 1-butyl pipéridinium bromide

Tableau N° 06 Propriétés du [BPI]⁺ [Br]⁻

Nom	Apparence	Formule chimique	Masse molaire	Masse	Rdt
1-butyl pipéridinium bromide	Solide rouge brique	C ₉ NH ₁₈ Br	220g/mol	26,84g	84,56%

II.4.3.1.d. 1-butyl pipéridinium chloride

Dans un flacon bouchonné un volume de Pipéridine (19,8 ml /0,2mol) a été mélangé avec 21,27ml (0,2mol) de 2-Chlorobutane et mis dans l'ultrason durant 08 h

Après cette réaction la couleur du mélange réactionnel a été changée du jaune à jaune claire et une petite précipitation des cristaux apparait dans la base du flacon ainsi le liquide devient visqueux.

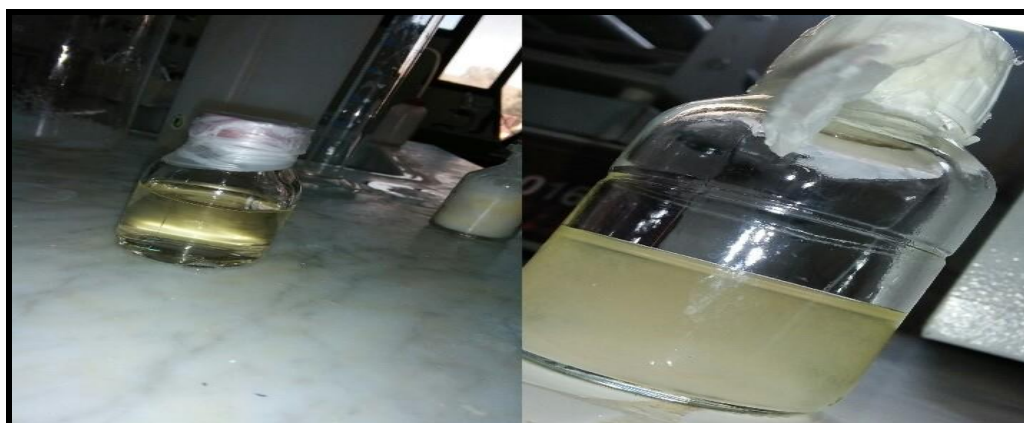


Figure N° 05 Le mélange réactionnel avant et après la réaction

II.4.3.1.e. 1-butyl imidazolium bromide

Un mélange équimolaire de 2,05 g (0,03mol) d'Imidazole et 3,2ml (0,03mol) de 1-Bromobutane a été mis dans un flacon bouchonné bien fermé avec le para film et il a été mis dans l'ultrason durant 02h 30min, après cette réaction le produit obtenu est un solide blanc cristallin mais il se passe du solide à un liquide très visqueux après 24h à la température ambiante.

Ce dernier a été lavé 03 fois par l'Acétate d'éthyle afin d'éliminer les excès de 1-Bromobutane et suivre une rotation (80Tr/min) durant 10 min sous la température de 80°C pour une meilleure pureté, Le produit final obtenu est un liquide visqueux.

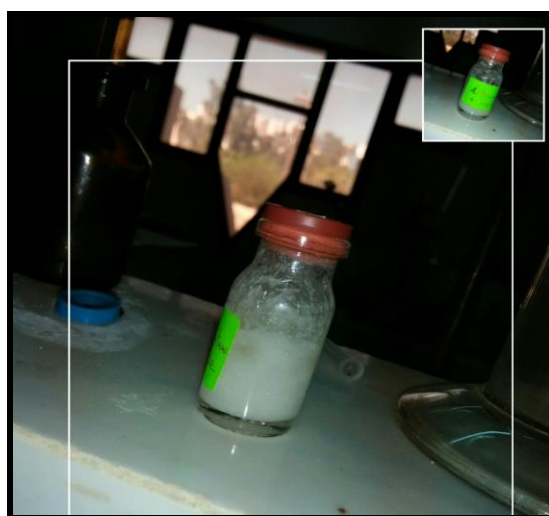


Figure N° 06 1-butyl imidazolium bromide

Tableau N° 07 Propriétés du [BIM]⁺ [Br]⁻

Nom	Apparence	Formule chimique	Masse molaire	Masse	Rdt
1-butyl imidazolium bromide	Liquide visqueux	C ₇ N ₂ H ₁₁ Br	203g/mol	3,13g	76,15%

II.4.3.1.f. 1,1-éthyl méthyl imidazolium chloride

Une quantité de 2,05g (0,03mol) d'Imidazole a été mélangée avec 3,1ml (0,03mol) de 2-Chlorobutane dans un flacon bouchonné et mise dans l'ultrason durant 1heure et 30min. Le produit obtenu est formé de deux phases, la première a été éliminé par seringue stérile et la deuxième phase présente un solide blanc cristallin, il a été lavé par l'Acétate d'éthyle

(03×20ml) par une rotation de 60 Tr/min et une température de 80°C puis séché sous vide pendant 10min.



Figure N° 07 1, 1-éthyl méthyl imidazolium chloride

Tableau N° 08 Propriétés du [EMIM]⁺ [Cl]⁻

Nom	1,1-éthyl méthyl imidazolium chloride
Apparence	Solide blanc cristallin
Formule chimique	C ₇ N ₂ H ₁₁ Cl
Masse molaire	158,5g/mol
Masse	1,65 g/mol
Rdt	89,67%

II.4.3.2. Échange anionique

II.4.3.2.a. Bis pipéridinium dioxalate

Dans un bécher une quantité de 2,53g (0,01 mol) de [BisPI]⁺ [2Cl]⁻ a été mélangée avec 15 ml de l'eau distillé, parallèlement dans un autre bécher une solution a été préparée d'une quantité de 1,34g (0,01 mol) d'Oxalate de sodium.

Le temps que le liquide ionique soit dissoudre totalement dans l'eau distillé, les deux solutions ont été mélangées dans un erlenmeyer et agitées durant 02 h30 min à la température ambiante jusqu'à l'obtention de 02 phases.

Le produit récupéré a été décanté pendant 24h pour séparer les deux phases, la phase supérieure a été éliminée et la phase inférieure qui présente un solide blanc jaunâtre a été récupérée et s'est transformée en poudre après 48h à la température ambiante.



Figure N° 08 Le produit obtenu après la décantation

Tableau N° 09 Propriétés de $[\text{BisPI}]^+ [2(\text{C}_2\text{O}_4)]^-$

Nom	Bis pipéridinium dioxalate
Formule chimique	$\text{C}_{13}\text{N}_2\text{H}_{22}\text{O}_4$
Masse molaire	270 g/mol
Masse	0,60g
Rdt	23,71%
Aspect	Poudre blanche jaunâtre

II.4.3.2.b. Bis imidazolium dioxalate

2,19g (0,01mol) de $[\text{BisIM}]^+ [2\text{Cl}]^-$ a été dissout dans 15 ml de l'eau distillé et 1,34g (0,01mol) d'Oxalate de sodium a été dissout dans 15ml de l'eau distillé, après avoir mélangé les deux solutions et une agitation pendant 02h à la température ambiante jusqu'à la formation De deux phases, une décantation a été faite pour la séparation des phases, la première a été éliminée et on récupère la deuxième phase (solide) qui devient une poudre blanche après 48 h à la température ambiante.



Figure N° 09 L'agitation et la décantation de Bis Imidazolium dioxalate

Tableau N° 10 Propriétés de $[\text{BisIM}]^+ [\text{2}(\text{C}_2\text{O}_4)]^-$

Nom	Bis imidazolium dioxalate
Formule chimique	$\text{C}_9\text{N}_4\text{H}_8\text{O}_4$
Masse molaire	236g/mol
Masse	0,42g
Rdt	19,17%
Aspect	Poudre blanche

II.4.3.2.c. 1-butyl pipéridinium dioxalate

Une quantité de 2,20g (0,01mol) de $[\text{BPI}]^+ [\text{Br}]^-$ a été dissoute dans 15 ml de l'eau distillé et parallèlement 1.34g (0.01mol) d'Oxalate de sodium a été dissout dans 15 ml de l'eau distillé.

Un mélange équimolaire de 02 solutions a été porté dans un erlenmeyer à la température ambiante pendant 02h sous agitation magnétique, après la formation de deux phases, ce dernier est séparé par une décantation durant 24h. La première phase a été éliminée et la deuxième phase (un solide beige) a été récupérée et devient une poudre beige pendant 48h à la température ambiante.



Figure N° 10 L'agitation et la décantation de 1-butyl pipéridinium dioxalate

Tableau N° 11 Propriétés de $[BPI]^+ [C_2O_4]^-$

Nom	1-butyl pipéridinium dioxalate
Formule chimique	$C_{11}NH_{18}O_4$
Masse molaire	228 g/mol
Masse	0,93g
Rdt	42,27%
Aspect	Poudre beige

II.5. PARTIE MICROBIOLOGIQUE

II.5.1. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

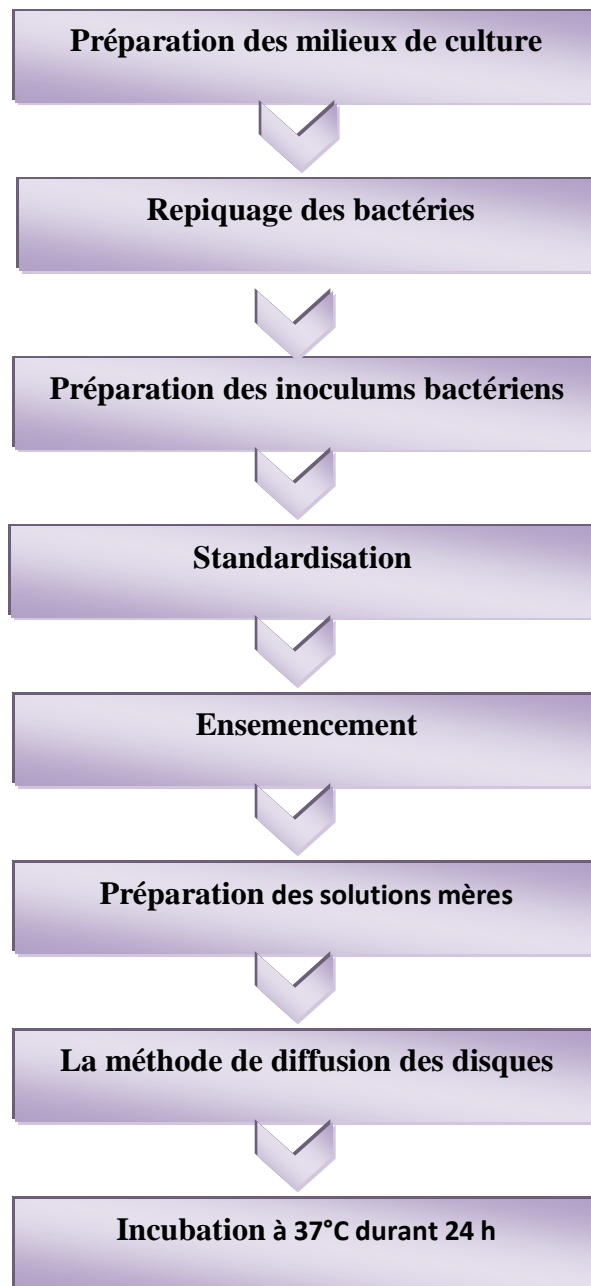


Figure N° 11 Protocole expérimental

II.5.2. MATERIELS

II.5.2.1. Les produits :

Tableau N° 12 Les produits utilisés

Les produits	
Milieus de culture	Muller Hinton Macconkey Chapman
Les liquides ioniques synthétisés	NaCl
L'eau distillée	Les antibiotiques
L'eau distillée stérile	

II.5.2.2. Les verreries :

Tableau N° 13 Les verreries et les autres outils utilisés

Verreries et autres	
Tubes à essais bouchonnées	Embouts
Boîtes pétries	Ance de platine
Becher	pincés
Pipette pasteur	les disques Wattman
Bec bunsen	Eprouvette
Barreau magnétique	Micropipette
Portoir des tubes	Eppendorf

II.5.2.3. L'appareillage :

Tableau N° 14 L'appareillage

Appareils	Leurs caractéristiques
Spectrophotomètre	Modèle : JENWAY 7305 avec une gamme spectrale 198_1000nm et bande passante 5nm
Agitateur magnétique	Agitateur magnétique chauffant le modèle VELP avec une régulation électronique des tours jusqu'à 1700 tr/min et température jusqu'à 370°C
Balance	Balance précise de modèle KERN avec d=0,1mg et un max 120g
Vortex	Modèle : Techno Kârtell_TK 3S Agitateur _vibreux avec fréquence de vibration 0_40Hz
Etuve	« MEMMERT » et HERUS
Autoclave	« SANOCLOVE »
Four pasteur	« HEERAEUS »

II.5.2.4. Les souches

Tableau N° 15 Les souches

Souche	Référence	Gram	Famille
E. coli	ATCC25922	Négatif	Etérobactériaceae
S. aureus	ATCC29523	Positif	Micrococcaceae

II.5.3. L'ACTIVITE ANTIBACTERIENNE

À cette partie les principales étapes sont basées sur la préparation des solutions mères des LIs aussi des inoculum des souches pathogènes et les standardisés et finalement nous avonsensemencé les boîtes pétries et l'incubées.

II.5.3.1. Préparation des milieux de culture



Figure N° 12 La préparation des milieux de cultures

II.5.3.1.a. Des milieux de culture pour repiquage

Le milieu Macconkey

- Un mélange de 15 g de Macc agar et de 300 ml de l'eau distillé a été agité à 500 Hz sous une température jusqu'à la dissolution complète.
- Le mélange a été stérilisé à l'autoclave à 121°C pendant 15 min.
- Après le refroidissement des flacons ont été remplis et des boîtes pétries ont été coulées.

Le milieu Chapman :

Le milieu que nous avons utilisé est déjà préparé.

II.5.3.1.b. Préparation du milieu Muller Hinton

- 11,4g de MH a été agitée avec 300 ml de l'eau distillé sous la température jusqu'à l'ébullition, après un autoclavage à 121°C durant 15 min.
- IL a refroidi et a été versé dans les boîtes pétries sur une épaisseur de 4mm.



Figure N° 13 Les milieux de cultures préparés

II.5.3.2. Repiquage des bactéries

Depuis les suspensions bactériennes conservées, des colonies ont été prélevées par une anse de platine stérile et étalées en strie sur les boîtes pétries dans les conditions stériles (Chap. / *S. aureus* et Macc/ *E. coli*) et les boîtes ont été incubées à une température de 37°C durant 18 h.



Figure N° 14 Repiquage des bactéries

II.5.3.3. Préparation des inoculums bactériens

Dans les conditions stériles les colonies de *S. aureus* et *E. coli* (souches jeunes) ont été prélevées et ajoutées à l'eau physiologique stérile et soumis une agitation dans le vortex pour quelques minutes à 20 Hz.



Figure N° 15 Inoculums bactériens

II.5.3.4. Standardisation

La suspension a été calibrée à une densité de 0,08_0,13 en utilisant une longueur d'onde à 625 nm avec un trajet de 1 cm contenant 10^8 UFC/ml.



Figure N° 16 Spectrophotomètre

II.5.3.5. Ensemencement :

Dans chaque boîte pétri 100 μ l d'inoculum bactérien a été étalé sur le milieu MH dans les conditions stériles et les refroidisses.

II.5.3.6. Préparation des solutions mères :

Dans les tubes à essais stériles un volume de 1,8 ml de l'eau distillé a été mélangé avec 0,2 g de chaque liquide ionique, puis ils ont été agités par le vortex pour obtenir des solutions mères de concentration 0,1 g/ml.



Figure N° 17 Préparation des solutions mères

II.5.3.7. La méthode de diffusion des disques :

- Dans les conditions stériles les disques Wattman ont été placés sur la gélose MH avec des pinces stériles dans le centre de la boîte.
- A l'aide d'une micropipette 10 UI de solution mère a été versée sur le disque après les boîtes pétries ont été incubées à 37°C pendant 24 h.



Figure N° 18 La méthode de diffusion des disques

II.5.3.8. Application des disques des antibiotiques

03 antibiotiques ont été utilisés pour *E. coli* et 03 autres pour *S. aureus*, ces derniers ont été appliqués sur la gélose MH (boîtes pétries) pour voir leurs effets sur les deux souches, après l'incubation (37°C /18 h) on a mesuré les zones d'inhibition des AB pour les deux souches.

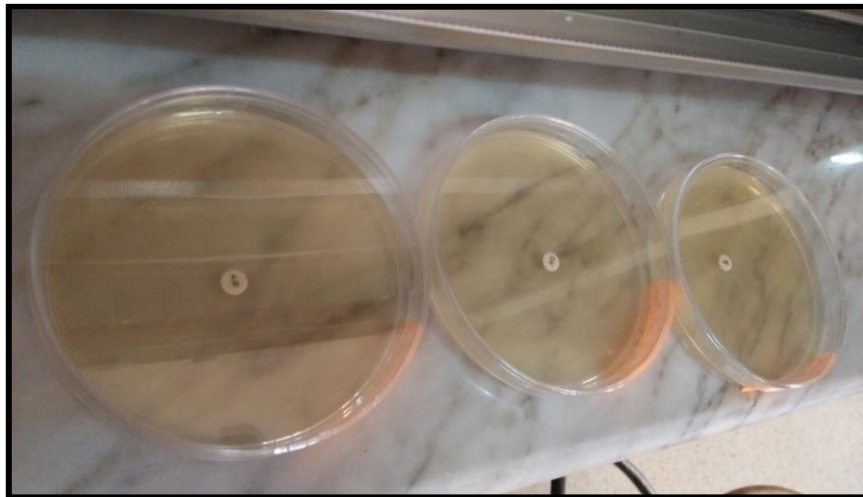


Figure N° 19 L'antibiogramme

II.5.4.9. Lecture des résultats :

Les diamètres d'inhibition ont été mesurés avec une règle

CHAPITRE -III-

Résultats et discussion

III.1. Introduction :

Dans cette section, nous explorerons les principaux résultats de notre étude et fournirons des suggestions pour de futures recherches. Notre analyse s'est concentrée sur l'étude de l'activité antibactérienne de plusieurs composés, dont $[\text{EMIM}]^+ [\text{Cl}]^-$, $[\text{BisIM}]^+ [2(\text{C}_2\text{O}_4)]^-$, $[\text{BisPI}]^+ [2(\text{C}_2\text{O}_4)]^-$, $[\text{BPI}]^+ [\text{C}_2\text{O}_4]^-$, $[\text{BisIM}]^+ [2\text{Cl}]^-$, $[\text{BPI}]^+ [\text{Br}]^-$, $[\text{BPI}]^+ [\text{Cl}]^-$, $[\text{BisPI}]^+ [2\text{Cl}]^-$, et $[\text{BIM}]^+ [\text{Br}]^-$. L'étude a été menée *in vitro* et les résultats ont été analysés pour tirer des conclusions sur l'efficacité de ces liquides ioniques.

Pour ce faire, nous avons tout d'abord caractérisé les ligands synthétisés à l'aide de techniques spectroscopiques telles que IR et RMN. Les résultats de ces analyses ont permis de confirmer la formation des produits synthétisés. Les différents composés ont été testés sur des bactéries telles que *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, et nous avons utilisé des antibiotiques tels que la streptomycine, le chloramphénicol, le nalidixic acide et la pénicilline G, ainsi que la colistine comme référence. L'objectif était de déterminer l'activité antibactérienne des composés étudiés.

III.2. Les résultats de spectroscopie infrarouge des échantillons :

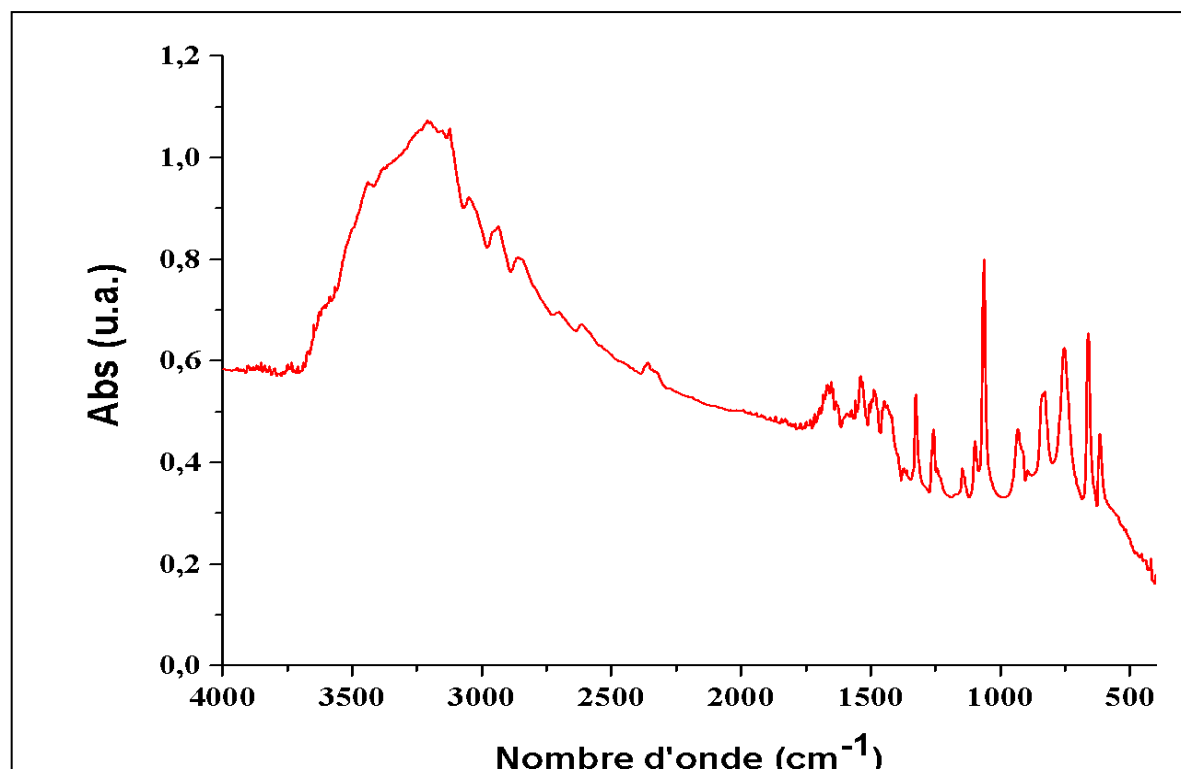


Figure N° 01 Le spectre IR de $[\text{EMIM}]^+ [\text{Cl}]^-$

L'analyse infrarouge est utilisée pour identifier les groupes fonctionnels présents dans la molécule.

Le spectre IR de 1,1 éthyl méthyl imidazolium chloride comprend des bandes d'absorption typiques pour les groupes fonctionnels suivants :

- La bande d'absorption située entre $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ correspond aux vibrations de valence des groupes NH, présents dans l'imidazole
- Les bandes d'absorptions à 2920 cm^{-1} et 2850 cm^{-1} correspondent aux vibrations de valence de groupes CH₂ aliphatiques, présents dans le butane.
- La bande d'absorption à 1460 cm^{-1} est liée aux vibrations de valence de groupes CH₂ aliphatiques.
- La bande d'absorption à 1300 cm^{-1} est liée aux vibrations de déformation des liaisons C-Cl, présentes dans le chlorobutane.
- La bande d'absorption située entre $950-1350\text{ cm}^{-1}$ correspond aux vibrations des groupes imidazole.

La combinaison de ces bandes d'absorption permet d'identifier la présence de l'imidazole, du butane et du chlorobutane dans la molécule.

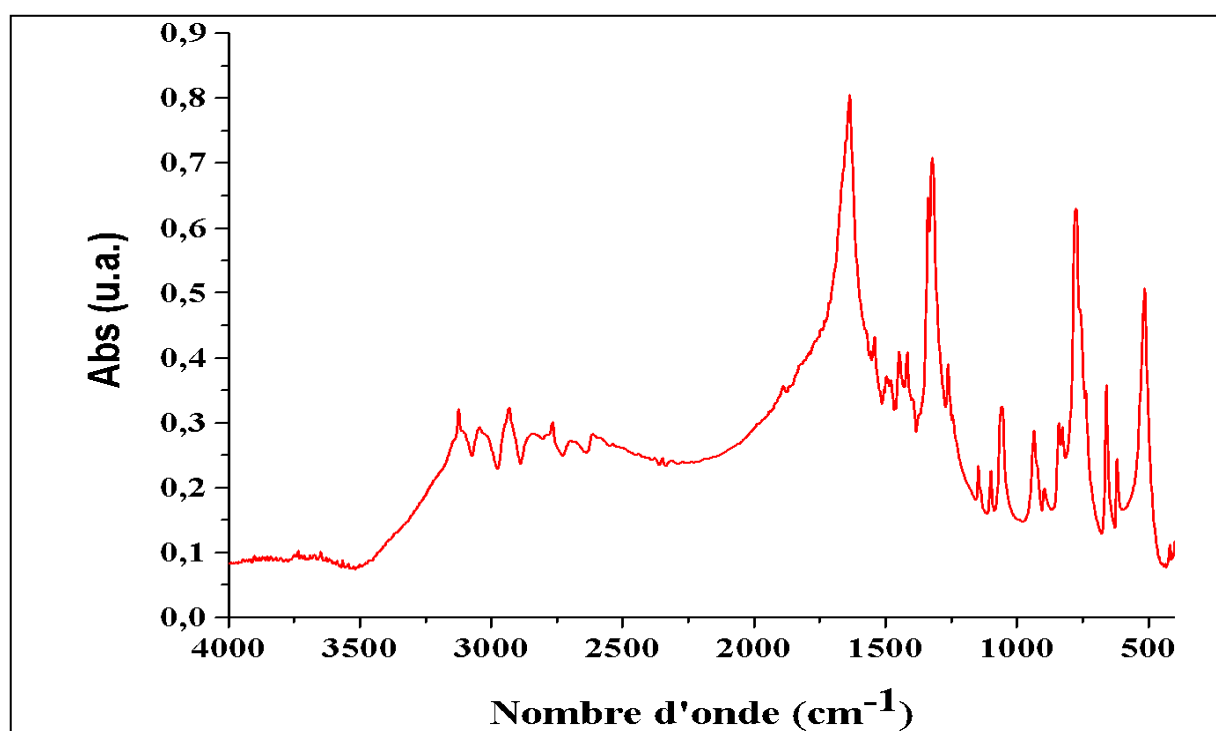


Figure N° 02 Le spectre IR de [BisIM]⁺ [2Cl]⁻

L'analyse infrarouge (IR) de Bis imidazolium dichloride montrera des bandes d'absorption caractéristiques qui peuvent être utilisées pour identifier les différentes vibrations moléculaires.

- Une bande d'absorption forte et large autour de $3100-3000\text{ cm}^{-1}$ correspondant aux vibrations des groupes NH (les deux groupes NH peuvent donner deux pics distincts).
- Une bande d'absorption caractéristique autour de $1620-1600\text{ cm}^{-1}$ correspondant à la vibration de la liaison azote-carbone (C=N).
- Une bande d'absorption autour de $1480-1450\text{ cm}^{-1}$ correspondant à la vibration de la liaison C=C de l'anneau imidazole.
- Une bande d'absorption autour de $1375-1350\text{ cm}^{-1}$ correspondant à la vibration de déformation de la liaison C-H.
- Une bande d'absorption autour de $725-700\text{ cm}^{-1}$ correspondant à la vibration de déformation de la liaison C-N de l'anneau imidazole.

L'analyse IR de $[\text{BisIM}]^+ [\text{2Cl}]^-$ permettra donc d'identifier le composé grâce à ces bandes d'absorption caractéristiques.

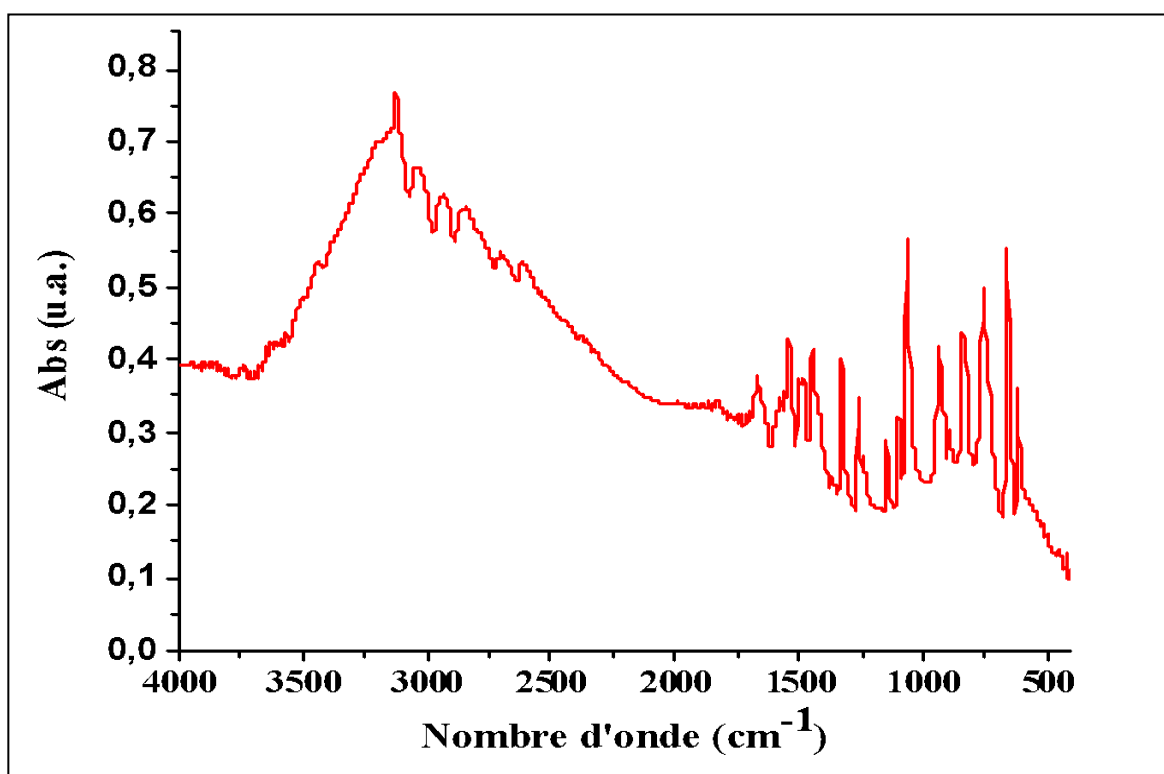


Figure N° 03 Le spectre IR de $[\text{BisIM}]^+ [\text{2(C}_2\text{O}_4)]^-$

Lorsqu'on analyse Bis imidazolium dioxalate avec l'IR, on peut identifier les différentes vibrations moléculaires grâce aux bandes d'absorption caractéristiques. Voici les

bandes principales à retenir: une large bande d'absorption vers 3300 cm^{-1} qui correspond à l'étirement de la liaison N-H de l'imidazole, une bande d'absorption vers 1600 cm^{-1} qui correspond à la vibration de déformation angulaire C-N-H de l'imidazole, une bande d'absorption vers 1420 cm^{-1} qui correspond à la vibration de déformation de la liaison C-H de l'imidazole, et une bande d'absorption vers $1200\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ qui correspond à la vibration d'étirement de la liaison C-N de l'imidazole.

-une bande large et intense vers 3425 cm^{-1} qui correspond aux vibrations des groupes -OH .
- une bande intense à 1591 cm^{-1} qui correspond à la vibration de flexion de l'ion oxalate, une bande intense à 1383 cm^{-1} qui correspond à la vibration de déformation symétrique de l'ion COO^- , une bande à 1240 cm^{-1} qui correspond à la vibration de déformation asymétrique de l'ion COO^- , et une bande à 785 cm^{-1} qui correspond à la vibration de flexion de liaison C-C dans l'ion oxalate.

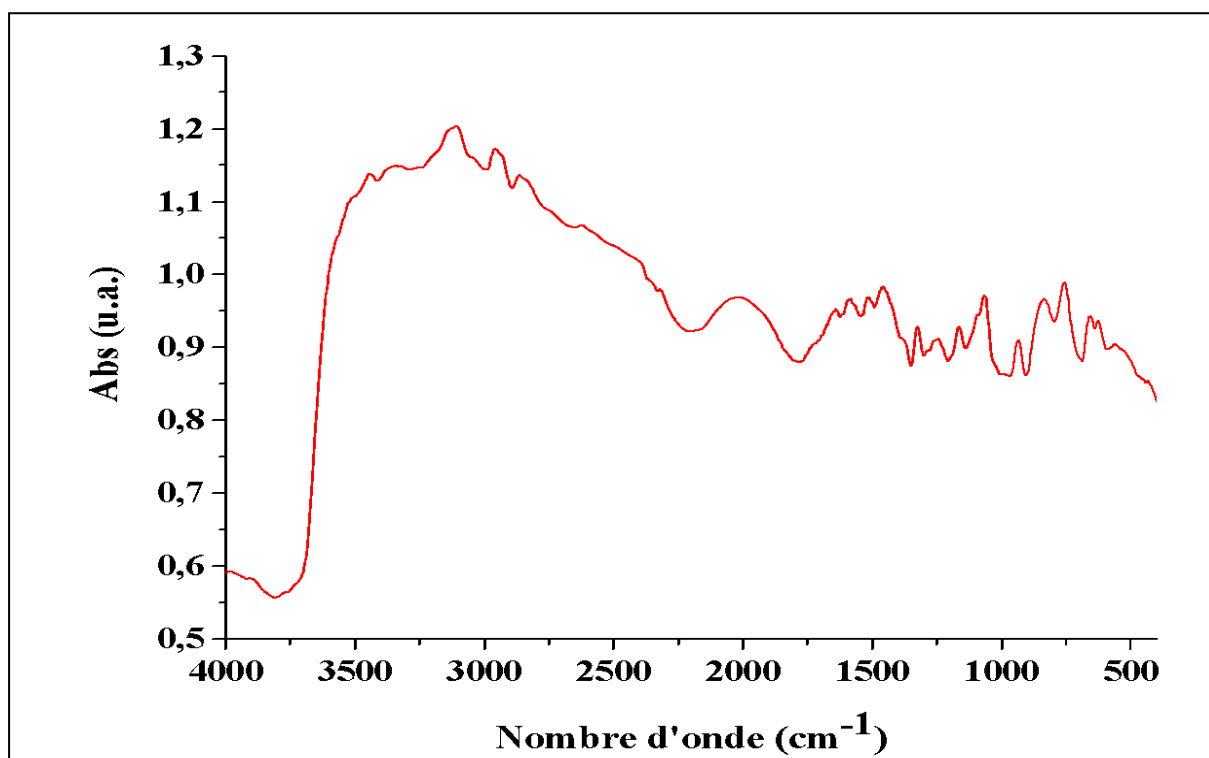


Figure N° 04 Le spectre IR de $[\text{BIM}]^+ [\text{Br}]^-$

L'analyse de l'infrarouge de 1 butyl imidazolium bromide peut révéler des informations sur les groupes fonctionnels présents dans la molécule.

pour l'imidazole, les bandes caractéristiques de l'IR se situent entre $3000\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ pour les groupes N-H, entre $1500\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ pour les groupes C=N et entre $1200\text{-}1400\text{ cm}^{-1}$ pour les groupes C-N.

Pour le 1-bromobutane, on peut s'attendre à trouver des bandes d'absorption caractéristiques pour les groupes fonctionnels suivants :

- Les liaisons C-H aliphatiques sont souvent observées entre $2850-2960\text{ cm}^{-1}$.
- La bande d'absorption caractéristique C-Br est généralement très forte et se situe autour de $515-540\text{ cm}^{-1}$.
- Les liaisons C-C et C-H de l'anneau imidazole peuvent être observées autour de $1400-1500\text{ cm}^{-1}$.

Ainsi, l'analyse de l'infrarouge de l'imidazole 1-bromobutane peut aider à identifier les groupes fonctionnels présents dans la molécule et à caractériser sa structure.

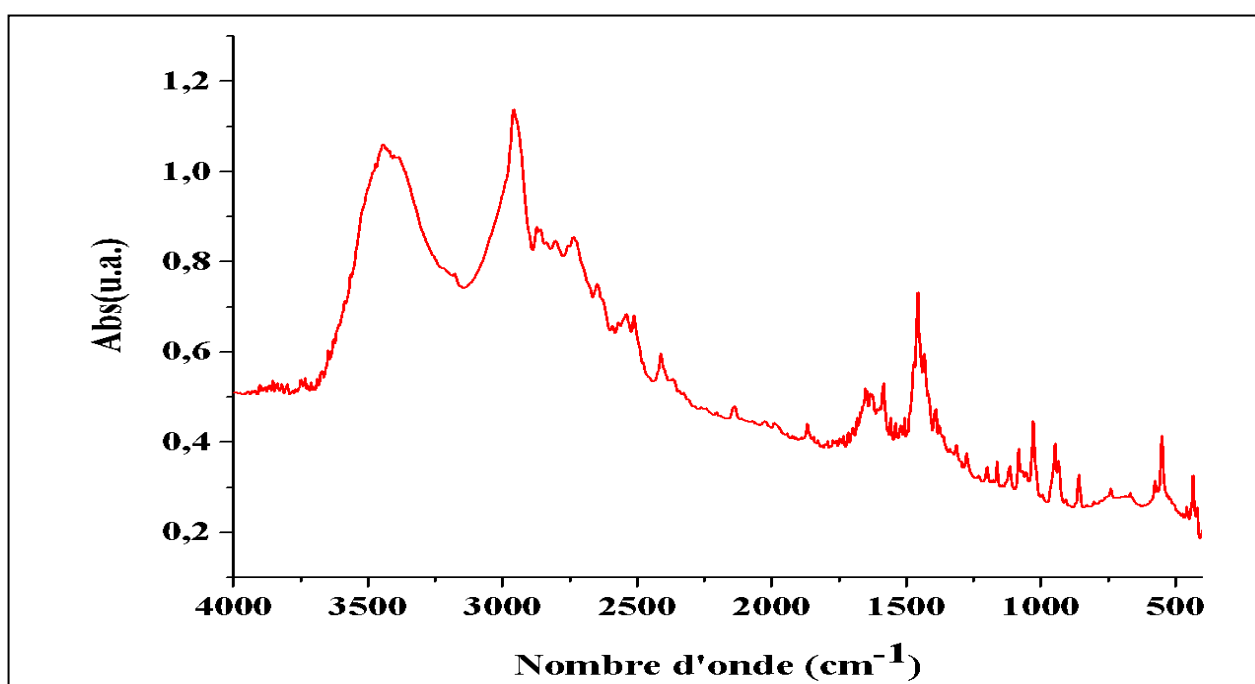


Figure N° 05 Le spectre IR de [BPI]⁺ [Br]⁻

L'analyse de l'infrarouge de 1-butyl pipéridinium bromide montre plusieurs pics caractéristiques :

- Un pic fort et large près de 3300 cm^{-1} , qui correspond à l'étirement des liaisons N-H présentes dans la pipéridine.
- Un pic également large, mais moins intense, autour de 2900 cm^{-1} , qui correspond à l'étirement des liaisons C-H présentes dans la molécule de 1-bromobutane.
- Un pic fort autour de 1460 cm^{-1} , qui correspond à la déformation de valence des liaisons C-H adjacente à l'atome de brome.
- Un pic moyen autour de 1100 cm^{-1} , qui correspond à la vibration des liaisons C-Br.

Ces pics sont caractéristiques de la pipéridine 1-bromobutane, et permettent donc de l'identifier et de confirmer sa présence dans un échantillon.

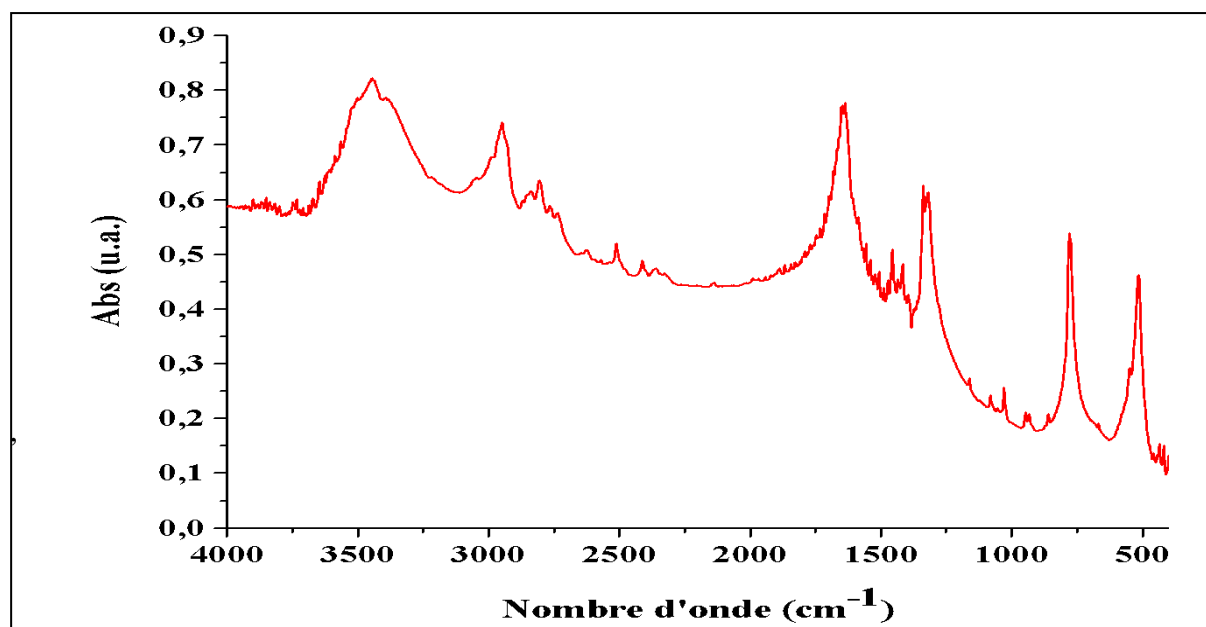


Figure N° 06 Le spectre IR de [BisPI]⁺ [2(C₂O₄)]⁻

En effectuant une analyse infrarouge sur Bis pipéridinium dioxalate cependant les mélanges contenant à la fois de la pipéridine, du dichlorométhane et de l'oxalate de sodium, les bandes d'absorption infrarouge correspondant à chaque composé sont les suivantes : Pour la pipéridine, les bandes d'absorption se situent autour de 3100-3400 cm⁻¹ pour les vibrations des groupes n-h et autour de 1650-1750 cm⁻¹ pour les vibrations des groupes c=o. Pour le dichlorométhane, les bandes d'absorption se situent autour de 2930-2960 cm⁻¹ pour les vibrations des groupes c-h et autour de 1000-1300 cm⁻¹ pour les vibrations de c-cl. Pour l'oxalate de sodium, le spectre IR montre une bande forte et large à environ 1680 cm⁻¹ correspondant à la fonction carbonyle (-c=o) du groupe oxalate. Une autre bande forte et large à environ 1395 cm⁻¹ est attribuée à la fonction carboxylate (-coo-) du groupe oxalate, tandis que des bandes de faible intensité sont présentes à environ 2960-2880 cm⁻¹ en raison des vibrations c-h des groupes méthyle ou méthylène. Une bande d'absorption de forte intensité est également observée à environ 3300 cm⁻¹ pour les vibrations o-h du groupe carboxyle présent dans l'oxalate de sodium.

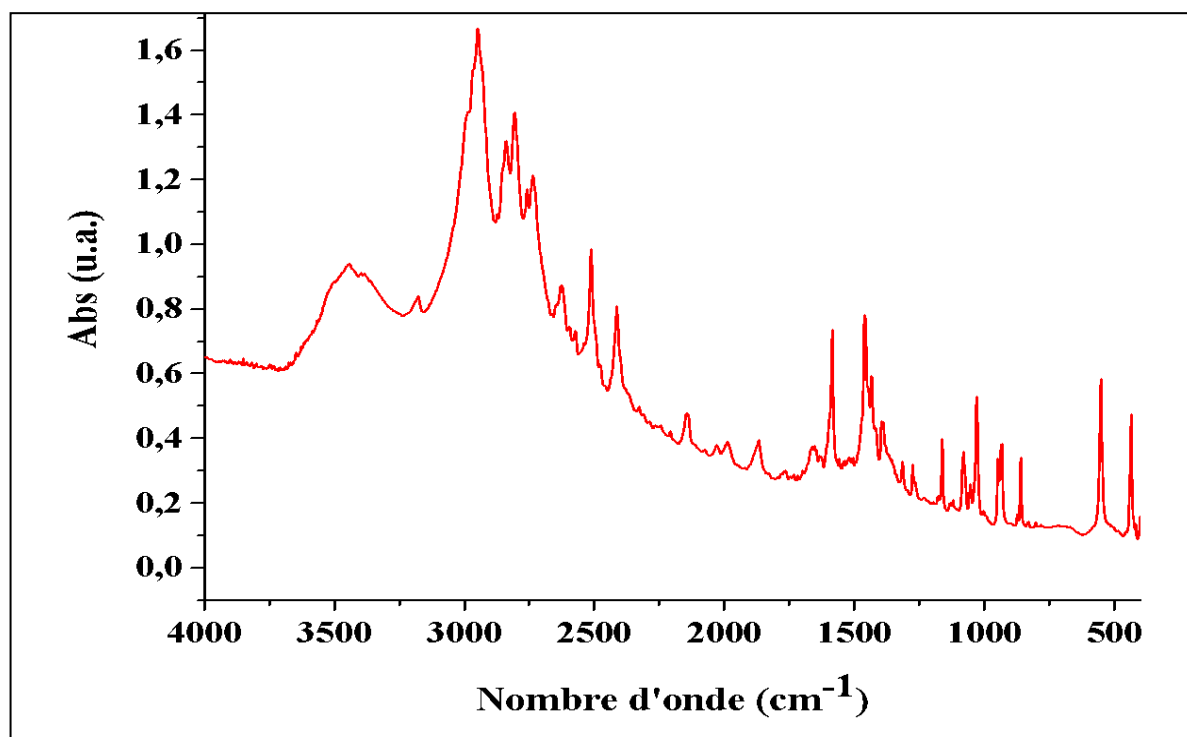


Figure N° 07 Le spectre IR de [BisPI]⁺ [2Cl]⁻

En utilisant l'analyse infrarouge de Bis piperidinium dichloride, il est possible d'identifier les vibrations spécifiques de la pipéridine et du dichlorométhane dans un mélange. Pour la pipéridine, les vibrations des groupes N-H peuvent se situer entre 3100-3400 cm^{-1} tandis que les vibrations des groupes C=O peuvent être observées autour de 1650-1750 cm^{-1} . Quant au dichlorométhane, les vibrations des groupes C-H (méthyle et méthine) peuvent être observées autour de 2930-2960 cm^{-1} , tandis que les vibrations des groupes C-Cl peuvent se trouver autour de 1000-1300 cm^{-1} . Si ces deux composés sont présents dans un mélange, l'analyse du spectre infrarouge peut permettre d'identifier les vibrations caractéristiques de chaque composé et d'estimer leur concentration relative dans le mélange.

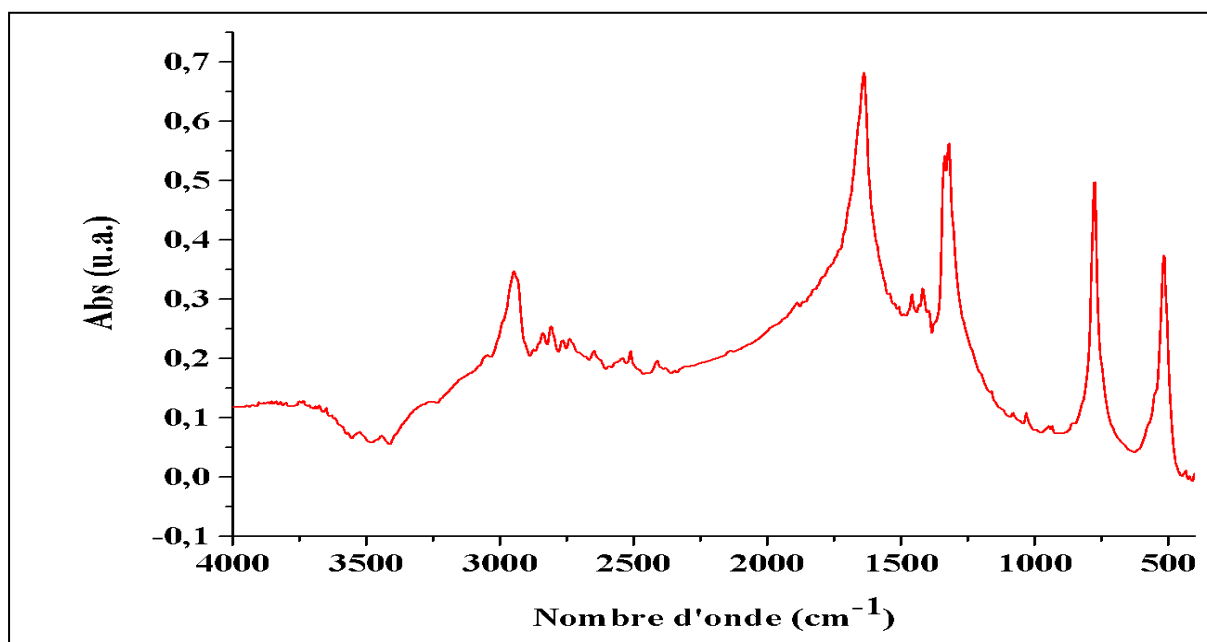


Figure N° 08 Le spectre IR de [BPI]⁺[C₂O₄]⁻

En analysant les spectres infrarouges de 1-butyl pipéridinium dioxalate (obtenus par échanges anioniques), plusieurs pics caractéristiques ont été observés. Dans le cas de la pipéridine, un pic large et intense se trouve près de 3300 cm⁻¹ représentant l'étirement des liaisons n-h de la molécule, tandis qu'un autre pic large mais moins intense autour de 2900 cm⁻¹ correspond à l'étirement des liaisons c-h de la 1-bromobutane. De plus, un pic fort vers 1460 cm⁻¹ indique la déformation de valence des liaisons c-h proches de l'atome de brome, tandis qu'un pic moyen proche de 1100 cm⁻¹ révèle les vibrations des liaisons c-br. Tous ces pics sont des marqueurs caractéristiques de la présence de la pipéridine 1-bromobutane dans la solution testée. En ce qui concerne l'oxalate de sodium, le spectre d'infrarouge montre une bande d'absorption forte et large autour de 1680 cm⁻¹.

On observe également une bande forte vers 1400 cm⁻¹, qui représente les vibrations de déformation des groupements coo- (symétrique et anti-symétrique), ainsi qu'une large bande forte autour de 1300 cm⁻¹ qui correspond à la vibration de la liaison c-o.

Enfin, une bande moyennement intense située près de 1090 cm⁻¹ indique les vibrations de la liaison c-c.

III.3. Les résultats de rendement des liquides ioniques

Les résultats de notre étude ont montré des rendements exceptionnels allant jusqu'à 96,53 % pour les composés $[\text{BisIM}]^+ [\text{2Cl}]^-$, lorsque l'ultrason est utilisé pendant 03 heures, ce qui prouve l'avantage de la méthode ultrasonique. Nous avons également confirmé les résultats précédents, montrant que les rendements obtenus avec cette méthode sont nettement supérieurs à ceux de la méthode thermique. Cependant, les rendements pour les composés $[\text{BisPI}]^+ [\text{2(C}_2\text{O}_4)]^-$ et $[\text{BisIM}]^+ [\text{2(C}_2\text{O}_4)]^-$ étaient légèrement plus faibles que ceux obtenus précédemment. Cela peut être dû au changement d'anions utilisés lors de la synthèse de ces composés.

Tableau N° 01 Rendement des liquides ioniques

Les liquides ioniques	Poids	Avant lavage	Après lavage	Rendement
$[\text{BisPI}]^+ [\text{2Cl}]^-$	15ml+ 4,5ml	10,16g	7,76g	76,37%
$[\text{BisIM}]^+ [\text{2Cl}]^-$	4,76g+ 2,23g	4,9g	4,73g	96,53%
$[\text{BPI}]^+ [\text{Br}]^-$	19,8ml+21,57ml	31,74g	26,84g	84,56%
$[\text{BIM}]^+ [\text{Br}]^-$	2,05g+3,2ml	4,11g	3,13g	76,15%
$[\text{EMIM}]^+ [\text{Cl}]^-$	2,05g+3,1ml	1,84g	1,65g	89,67%

Ce tableau donne des données sur le poids de différents liquides ioniques avant et après lavage, ainsi que sur le rendement obtenu. Nous avons 5 échantillons, chacun contenant divers liquides ioniques et des solvants différents. Le rendement de chaque Liquide est évalué en pourcentage, en comparant le poids avant lavage et le poids après lavage. Nous pouvons donc voir que le rendement pour chaque produit varie de 76,15% à 96,53%.

Il est à noter que la pipéridine répond mieux au 1bromobutane, donnant un rendement de 84,56%, alors que l'Imidazole répond mieux au dichlorométhane, donnant un rendement de 96,53%.

Cela indique qu'il peut y avoir des différences dans la réactivité des différents composants en fonction des solvants utilisés et des conditions de lavage. Les données du tableau fournissent une base pour l'analyse et la compréhension des processus chimiques impliqués.

En général, les résultats montrent que les réactions chimiques impliquant ces liquides ioniques et solvants peuvent fournir des rendements relativement élevés, bien que le rendement puisse varier en fonction des réactifs spécifiques utilisés.

III.4. Les résultats des échanges anioniques

Tableau N° 02 Résultats des échanges anioniques

Les échanges anioniques des liquides ioniques	Poids	RENDEMENT
(01) [BisPI] ⁺ [2(C ₂ O ₄)] ⁻	0,60 g	23,71%
(02) [BisIM] ⁺ [2(C ₂ O ₄)] ⁻	0,42 g	19,17%
(03) [BPI] ⁺ [C ₂ O ₄] ⁻	0,93 g	42,27 %

Le tableau fournit des données sur les résultats (la synthèse) de trois liquides ioniques différents. Le poids de chaque LI obtenu est donné en grammes, ainsi que le rendement de chaque réaction en pourcentage.

En examinant les données, on peut voir que le liquide ionique 03 a le rendement le plus élevé, à 42,27%. Cela suggère que la réaction pour produire ce composé était efficace et que les éléments nécessaires à sa formation étaient bien présents.

En comparaison, les 01 et 02 ont des rendements légèrement inférieurs, à 23,71% et 19,17%, respectivement. Cela peut indiquer que ces réactions ont été moins efficaces ou que les ingrédients nécessaires à leur production étaient moins bien assortis.

En fin de compte, les résultats obtenus suggèrent une différence d'efficacité entre les réactions qui peut être affectée par des variables expérimentales telles que la qualité des réactifs et les conditions de réaction. Par conséquent, l'examen critique de ces résultats peut être utile pour évaluer la performance individuelle de chaque réaction et élaborer des stratégies visant à augmenter les rendements à l'avenir.

III.5. Analyse des performances antibactériennes des liquides ioniques sur *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*

a été effectuée à travers l'étude des tableaux et des figures présentés ci-dessous :

Tableau N° 03 Efficacité antibactérienne des liquides ioniques pour Ecoli

Les liquides ioniques		Escherichia coli		
	Noms	Effet positif	Effet négatif	Diamètre de la zone
(01)	[BisPI] ⁺ [2Cl] ⁻	X		0,7 cm
(02)	[BisPI] ⁺ [2(C ₂ O ₄)] ⁻	X		0,8 cm
(03)	[BPI] ⁺ [Br] ⁻		X	
(04)	[BPI] ⁺ [C ₂ O ₄] ⁻		X	
(05)	[BisIM] ⁺ [2Cl] ⁻	X		1,4 cm
(06)	[BisIM] ⁺ [2(C ₂ O ₄)] ⁻	X		3 cm
(07)	[BIM] ⁺ [Br] ⁻	X		3 cm
(08)	[EMIM] ⁺ [Cl] ⁻	X		1,4 cm

Le tableau fournit les résultats d'un test d'efficacité antibactérienne des liquides ioniques et leur impact sur Escherichia coli, en présentant également les diamètres des zones, ce qui suggère qu'il y a une activité antimicrobienne de ces derniers contre cette bactérie.

On peut remarquer que :

- Les liquides ioniques contenant de la pipéridine et du dichlorométhane ont un effet positif sur E. coli, avec des zones d'inhibition de 0,7 cm et 0,8 cm respectivement.
- L'ajout d'oxalate de sodium aux produits contenant de la pipéridine et du 1-bromobutane a un effet négatif respectivement.
- Les LIs contenant de l'imidazole ont un effet positif plus marqué, avec des zones d'inhibition allant jusqu'à 3 cm (pour [BisIM]⁺[2(C₂O₄)]⁻ et [BPI]⁺ [Br]⁻).

En résumé, certains LIs testés ont montré des effets positifs avec des diamètres de zone d'inhibition significatifs contre Escherichia coli. Les combinaisons chimiques utilisées semblent avoir un impact variable sur l'efficacité des solvants.

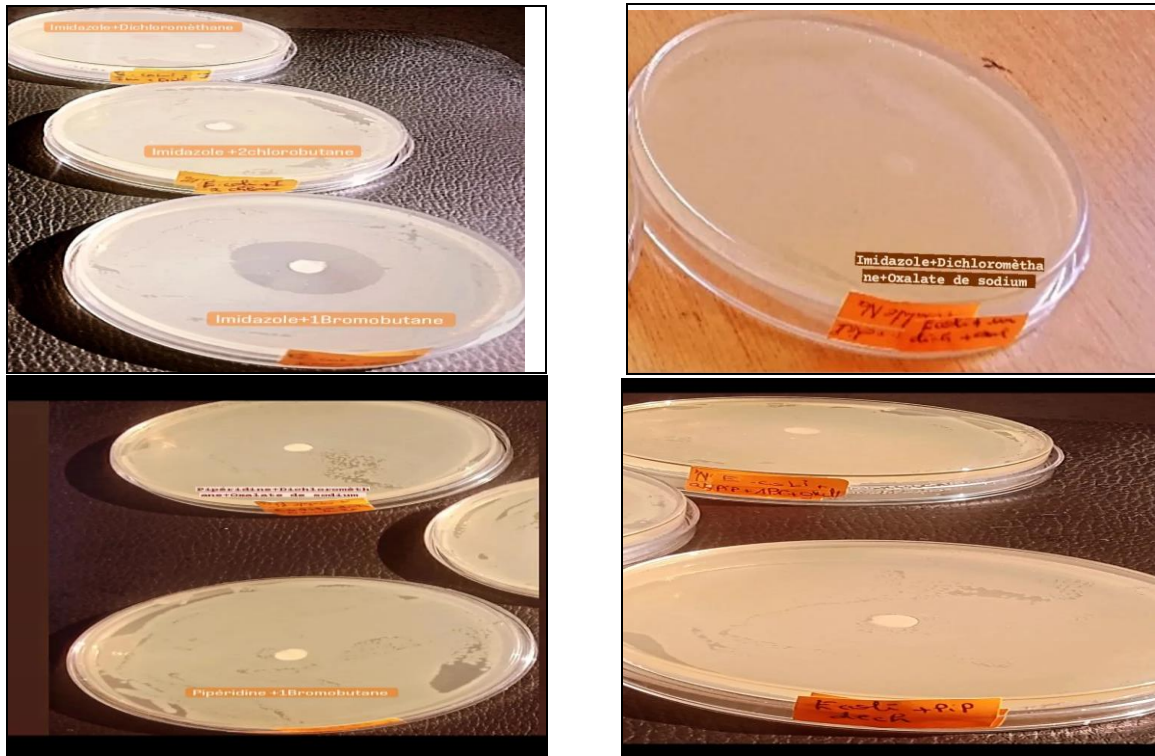


Figure N° 09 L'effet des liquides ioniques d'un cation pipéridium et imidazolium sur E.coli

D'après les résultats présentés dans le tableau et les images , nous observons que les liquides ioniques $[\text{BisIM}]^+[\text{2}(\text{C}_2\text{O}_4)]^-$ et $[\text{BIM}]^+[\text{Br}]^-$ ont une grande zone d'inhibition de 3 cm, tandis que les autres sels ioniques ont peu d'effet sur la croissance de la bactérie E. coli avec des zones d'inhibition allant de 0,7 à 1,4 cm. En revanche , $[\text{BPI}]^+[\text{Br}]^-$ et $[\text{BPI}]^+[\text{C}_2\text{O}_4]^-$ ont provoqué une zone d'inhibition négative.

Tableau N° 04 Efficacité antibactérienne des liquides ioniques pour S.aureus

Les liquides ioniques		Staphylococcus Aureus		
	Noms	Effet positif	Effet négatif	Diamètre de la zone
(01)	[BisPI] ⁺ [2Cl] ⁻	X		1,3 cm
(02)	[BisPI] ⁺ [2(C ₂ O ₄)] ⁻	X		1,1 cm
(03)	[BPI] ⁺ [Br] ⁻	X		0,6 cm
(04)	[BPI] ⁺ [C ₂ O ₄] ⁻	X		0,9 cm
(05)	[BisIM] ⁺ [2Cl] ⁻	X		1,4 cm
(06)	[BisIM] ⁺ [2(C ₂ O ₄)] ⁻	X		1 cm
(07)	[BIM] ⁺ [Br] ⁻	X		2,5 cm
(08)	[EMIM] ⁺ [Cl] ⁻	X		1 cm

Le tableau présente les résultats d'un test d'efficacité antibactérienne des liquides ioniques et leur impact sur *Staphylococcus aureus* avec l'utilisation de différents composants. On peut voir que certains LIs ont un impact plus efficace que d'autres pour inhiber la croissance du *staphylococcus aureus*.

Les résultats indiquent que l'imidazole a le plus grand effet positif sur *Staphylococcus aureus*, en produisant une zone d'inhibition de croissance de 2,5 cm (test numéro 7). En revanche, la pipéridine 1-bromobutane et la pipéridine 1-bromobutane oxalate de sodium ont eu les effets les plus négatifs, produisant des zones d'inhibition de croissance de seulement 0,6 cm (test numéro 3) et 0,9 cm (test numéro 4) respectivement.

En résumé, le tableau montre que tous les liquides ioniques testés ont montré un effet positif sur le *Staphylococcus aureus* et que certains ont été plus efficaces que d'autres pour inhiber la croissance de la bactérie.

En fin de compte, cette analyse peut aider à identifier les LIs les plus efficaces pour lutter contre les bactéries pathogènes et peut être utilisée par les professionnels de la santé pour développer des traitements.



Figure N°10 L'effet des cations piperidium et imidazolium sur *Staphylococcus aureus*.

D'après les résultats présentés dans le tableau et les images, nous constatons que le liquide ionique $[BIM]^+ [Br]^-$ a présenté une grande réponse positive contre *Staphylococcus aureus*, entraînant une zone d'inhibition de croissance de 2,5 cm. En revanche, $[BPI]^+ [Cl]^-$ et $[BPI]^+ [C_2O_4]^-$ ont présenté des zones d'inhibition de croissance limitées de seulement 0,6 cm et 0,9 cm respectivement.

III.6. Analyse des résultats de la comparaison de l'impact de divers liquides ioniques sur *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*

présenté par les colonnes graphiques ci-dessous :

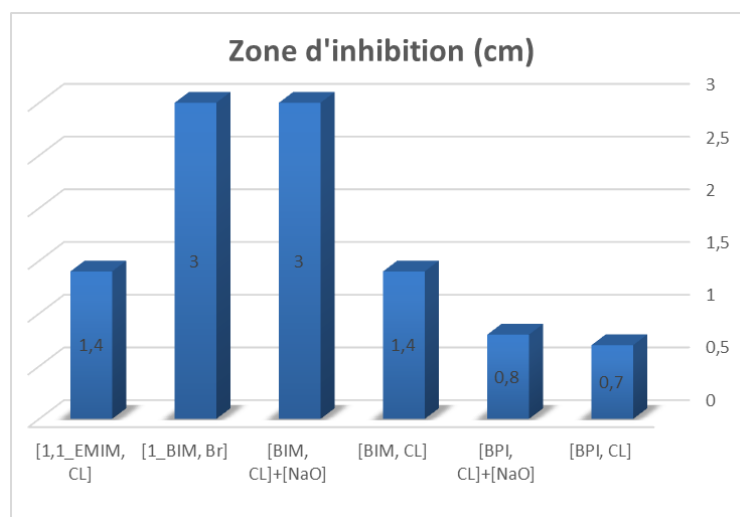


Figure N° 11 l'impact des liquides ioniques [EMIM]⁺ [Cl]⁻, [BisIM]⁺ [2Cl]⁻, [BisIM]⁺[2(C₂O₄)]⁻, [BIM]⁺ [Br]⁻, [BPI]⁺ [Br]⁻, [BPI]⁺[C₂O₄]⁻ sur E. coli

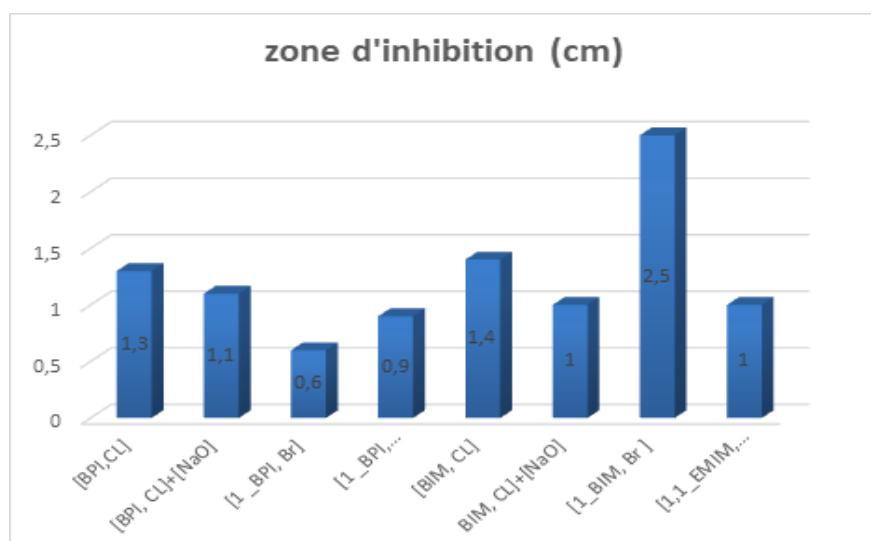


Figure N° 12 l'impact des liquides ioniques [EMIM]⁺ [Cl]⁻, [BisIM]⁺ [2Cl]⁻, [BisIM]⁺[2(C₂O₄)]⁻, [BIM]⁺ [Br]⁻, [BPI]⁺ [Br]⁻, [BisPI]⁺ [2(C₂O₄)]⁻, [BisPI]⁺ [2Cl]⁻, [BPI]⁺[C₂O₄]⁻ sur S.aureus.

Les graphiques ont révélé que certains liquides ioniques testés ont affiché des diamètres de zone d'inhibition significatifs contre Escherichia coli, tandis que d'autres ont montré des résultats encourageants contre Staphylococcus aureus. Cependant, l'efficacité de ces liquides ioniques varie en fonction des différentes combinaisons chimiques utilisées.

III.7. Lecture des résultats portant sur l'efficacité des antibiotiques et des liquides ioniques

Présenté par le tableau et les figures ci-dessous :

Tableau N° 05 comparaison de l'efficacité des antibiotiques et des liquides ioniques contre Escherichia coli et Staphylococcus aureus.

	Comparaison	A.B	Les liquides ioniques	Diamètre
Escherichia coli	Streptomycine. 1,7cm		[BisIM] ⁺ [2Cl] ⁻ (1, 4cm)	A.B >LI
	Naldixic acide . 2,4cm		[BisIM] ⁺ [2(C ₂ O ₄)] ⁻ (3cm) [BIM] ⁺ [Br] ⁻ (3cm)	LI >A.B
	Colistine. 1,6cm		[EMIM] ⁺ [Cl] ⁻ (1,4cm)	AB>LI
Staphylococcus aureus	Pénicilline. 2,7cm		[BIM] ⁺ [Br] ⁻ (2,5cm)	AB>LI
	Chloramphénicol. 2,5cm		[BIM] ⁺ [Br] ⁻ (2,5cm)	AB=LI
	Colistine . 1,6cm		[BisPI] ⁺ [2Cl] ⁻ (1,3cm) [BisIM] ⁺ [2Cl] ⁻ (1,4cm)	AB>P

Ce tableau présente les résultats d'un test de sensibilité aux antibiotiques et aux liquides ioniques sur deux bactéries différentes - Escherichia coli et Staphylococcus aureus. Les diamètres de la zone d'inhibition sont utilisés comme mesure de la sensibilité de chaque bactérie à chaque produit.

Pour Escherichia coli, le produit qui a produit la plus grande zone d'inhibition était le produit qui combinait l'imidazole, le dichlorométhane et l'oxalate(na), avec un diamètre de 3 cm. Ce produit a également montré une meilleure efficacité que la streptomycine, un antibiotique bien connu qui a produit une zone d'inhibition de 1,7 cm. Le produit combinant l'imidazole et le 1-bromobutane avait également une zone d'inhibition de 3 cm, ce qui était supérieur à celui de l'antibiotique.

En revanche, pour Staphylococcus aureus, la pénicilline semble être l'antibiotique le plus efficace, qui a produit la plus grande zone d'inhibition de 2,7 cm, Les liquides ioniques testés (imidazole+1bromobutane et imidazole + dichlorométhane) ont une efficacité similaire au chloramphénicol, inhibant la croissance sur une zone de 2,5 cm.

En termes de comparaison entre les antibiotiques et les liquides ioniques, la tendance est que les liquides ioniques ont montré des résultats supérieurs ou similaires à ceux des antibiotiques. Cependant, il convient de noter que cela dépend de la bactérie testée et des produits spécifiques utilisés dans le test, ce qui peut être utile pour le développement des nouvelles stratégies et visions en domaine biomédicale.



Figure N° 13 Comparaison entre l'effet des antibiotiques et l'effet des liquides ioniques sur E.coli

Il est également notable que les liquides ioniques ayant incorporé l'imidazole ont produit des résultats relativement satisfaisants que les antibiotiques, en particulier lorsqu'ils étaient combinés à d'autres produits chimiques tels que le dichlorométhane, l'oxalate de sodium, le 1-bromobutane et le 2-chlorobutane. Le liquide ionique incorporant la pipéridine n'a pas produit de résultats aussi satisfaisants.



Figure N°14 Comparaison entre les antibiotiques et les liquides ioniques sur *Staphylococcus aureus* .

Les diamètres des zones d'inhibition de la pénicilline sont les plus grands. $[BIM]^+ [Br]^-$ et du chloramphénicol sont similaires, ce qui suggère que leur efficacité est comparable. Toutefois, aucun d'entre eux ne se distingue par une efficacité supérieure à celle des autres. En revanche, les résultats obtenus avec la colistine sont modérés.

III.8. Les résultats d'un test d'antibiogramme (test de sensibilité)

Tableau N° 06 test d'antibiogramme pour *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* des antibiotiques .

	L'antibiotique	Quantité	Le Diamètre de la zone	Observation
Staphylococcus aureus	Pénicilline G	10 µg	2,7 cm	Sensible
	Chloramphénicol	30 µg	2,5 cm	Sensible
Escherichia coli	Streptomycine	10 µg	1,7 cm	Sensible
	Nalidixic Acide	30 µg	2,4 cm	Sensible
	Colistine	10 µg	1,6 cm	Sensible

Le tableau fourni présente les résultats d'un test d'antibiotiques sur deux bactéries différentes, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*. Les résultats montrent la quantité d'antibiotique utilisé, le diamètre de la zone autour de l'antibiotique où la croissance bactérienne est inhibée, et une observation sur la sensibilité de la bactérie à l'antibiotique.

Pour *Staphylococcus aureus*, les résultats ont montré que la bactérie est sensible à trois antibiotiques différents : la colistine, la pénicilline G et le chloramphénicol. Pour *Escherichia coli*, les résultats ont montré que la bactérie est sensible aussi à trois antibiotiques différents : la streptomycine et l'acide nalidixique et la colistine.

Dans l'ensemble, ces résultats indiquent que les bactéries testées sont sensibles à certains antibiotiques, ce qui pourrait aider à guider le choix d'un traitement antibiotique approprié en cas d'infection. Cependant, il est important de noter que la sensibilité aux antibiotiques peut varier d'une souche de bactérie à l'autre, et que ces tests ne garantissent pas une efficacité à 100% de l'antibiotique choisi.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusion :

L'étude du comportement des souches pathogènes dans les milieux liquides ioniques est d'une importance pour les applications médicales telles que des agents antimicrobiens, des catalyseurs pour des réactions chimiques en biochimie et des systèmes de libération de médicaments. Ces milieux sont de plus en plus utilisés dans les applications biotechnologiques et offrent des avantages par rapport aux solvants traditionnels, mais il est essentiel de comprendre leur impact sur la viabilité et la virulence des bactéries .

De ce fait les solvants ioniques sont une classe de composés récemment découverts qui présentent des propriétés exceptionnelles pour les applications biologiques, notamment dans l'étude de l'activité antibactérienne. Nous avons donc choisi de nous concentrer sur les liquides ioniques à base de pipéridine et imidazole dans le cadre de nos recherches, en raison de leur réactivité chimique connue qui pourrait s'avérer utile pour les tests in vitro.

Alors nous nous avons synthétisé huit liquides ioniques en utilisant une méthode de synthèse ultrasonique respectueuse de l'environnement, et nous les caractérisés grâce à des analyses chimiques telles que l'IR et RMN. Par conséquent nous avons obtenu un rendement de 89,67% à 96,53% grâce à cette synthèse. Ensuite, nous avons procédé à la synthèse de trois nouveaux liquides ioniques à base de pipéridine et d'imidazole par échange d'anions, avec un rendement légèrement inférieur et nous avons évalué l'effet antibactérien de tous les liquides ioniques préparés et en les comparant aux antibiotiques de référence.

Après observation, on a noté que l'effet d'un cation imidazole et pipéridine sur les liquides ioniques à base d'imidazolium et différents anions a une influence, confirmée par les résultats obtenus. Ainsi, pour la souche E. coli, une zone d'inhibition très importante de 3 cm a été observée, alors que pour la deuxième souche, une zone de 2,5 cm a été marquée. En revanche, pour les liquides ioniques à base d'un cation pipéridinium, on a constaté pour la souche E. coli une zone d'inhibition de 0,8 cm et pour la deuxième souche, Staphylococcus aureus, une zone de 1,3 cm.

Nous avons constaté que les liquides ioniques présentent un potentiel antibactérien très élevé sur la croissance bactérienne, par rapport aux antibiotiques. Les résultats ont également montré que les bactéries à gram positif étaient plus sensibles aux liquides ioniques et que le type d'anion utilisé avait une influence sur l'activité antibactérienne. Nous estimons que ces liquides ioniques méritent d'être explorés plus en profondeur dans le domaine biologique, car ils pourraient représenter une alternative intéressante aux antibiotiques actuels. En synthèse ,

Conclusion générale

ces études peuvent aider à concevoir des stratégies pour lutter contre les infections bactériennes dans les domaines biologiques, médicales et pharmaceutiques en prenant compte à chercher des produits plus performant en charge positif et négatif et qui peuvent rationaliser la vision actuelle et révolutionné complètement le secteur sanitaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Fleming, A. (1929). On the antibacterial action of cultures of a *Penicillium*, with special reference to their use in the isolation of *B. influenzae*. *British Journal of Experimental Pathology*, 10(3), 226-236.
- [2] Encyclopedia Britannica .(2019). Penicillin. [Online] Consulté le 6 mai 2021. <https://www.britannica.com/science/penicillin>.
- [3] National Institute of Allergy and Infectious Diseases. (2019). The History of Antibiotics. [Online] Consulté le 6 mai 2021. <https://www.niaid.nih.gov/research/history-antibiotics>.
- [4] WHO (World Health Organization). Antimicrobial resistance: global report on surveillance 2014. 5. <https://www.who.int/drugresistance/documents/surveillancereport/en/>
- [5] Centers for Disease Control and Prevention. Antibiotic resistance threats in the United States, 2019. <https://www.cdc.gov/drugresistance/pdf/threats-report/2019-ar-threats-report-508.pdf>
- [6] The epidemic of antibiotic-resistant infections: a call to action for the medical community the Infectious Diseases Society of America. *Clinical Infectious Diseases*. 2008;46(2):155-164.
- [7] Centers for Disease Control and Prevention. Antibiotic/Antimicrobial Resistance.
- [8] <https://www.cdc.gov/drugresistance/about.html> (accessed July 2021)
- [9] Kumar, A., et al. Ionic Liquids: Potential and Prospects in Drug Delivery. *Current pharmaceutical design* 23.23 (2017): 3411-3421.
- [10] Priya, S., et al. Ionic Liquids and their Emerging Applications in Biomedical Engineering and Biotechnology. *Journal of chemical technology & biotechnology* 95.3 (2020): 657-670.
- Priya, S., et al. Ionic Liquids and their Emerging Applications in Biomedical Engineering and Biotechnology. *Journal of chemical technology & biotechnology* 95.3 (2020): 657-670.
- [11] Raut, D., Kumar, S. Ionic Liquids and their Current Applications in Pharmaceutical Science. *Journal of molecular liquids* 292 (2019): 111369.
- [12] Wasil, M., et al. Antimicrobial Activity of Ionic Liquids and their Potential for Biomedical Applications. *International journal of molecular sciences* 18.2 (2017): 292.
- [13] Zhang, S., Zhang, X., Sun, N., Zhang, J., Wang, Q., Yan, H., ... & Cong, Y. (2014). Ionic liquids as antibacterial agents to combat drug-resistant bacteria. *Green Chemistry*, 16(2), 239-248.
- [14] Lu, J., Yan, Y., Zhang, G., Zhou, Y., & Sun, H. (2017). Ionic liquids for antibacterial and antifungal applications: new findings, mechanisms and possible signals for future development. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(4), 1443-1457.

- [15] Liu, H., Jiang, L., & Long, M. (2015). Ionic liquids as green solvents for the synthesis of pharmaceuticals. *Mini-Reviews in Organic Chemistry*, 12(3), 225-235.
- [16] Plechkova, N. V., & Seddon, K. R. (2008). Applications of ionic liquids in the chemical industry. *Chemical Society Reviews*, 37(1), 123-150
- [17] Walden, P. (1914). Molecular weights and electrical conductivity of several fused salts. *Bull. Acad. Imper. Sci.(St. Petersburg)*, 8, 405-422
- [18] Zhou, Y., & Qu, J. Ionic liquids as lubricant additives: a review. *ACS applied materials & interfaces*, (2007). 9(4), 3209-3222.
- [19] Kim, B. K., Lee, E. J., Kang, Y., & Lee, J. J. Application of ionic liquids for metal dissolution and extraction. *Journal of industrial and engineering chemistry*, (2018). 61, 388-397.
- [20] H.-C. Kan, M.-C. Tseng, Y.-H. Chu, Bicyclic imidazolium-based ionic liquids: synthesis and characterization, *Tetrahedron* 63 (7) (2007) 1644e1653.
- [21] A.C. Kleinschmidt, Produção de grafeno pela abertura de nanotubos de carbono auxiliada por líquido iônico e uso em nanocompositos de resina epoxídica, 2014
- [22] Salamone, J. C., Israel, S. C., Taylor, P., & Snider, B. (1973). Synthesis and homopolymerization studies of vinylimidazolium salts. *Polymer*, 14(12), 639-644.
- [23] Tang, H., Tang, J., Ding, S., Radosz, M., & Shen, Y. (2005). Atom transfer radical polymerization of styrenic ionic liquid monomers and carbon dioxide absorption of the polymerized ionic liquids. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 43(7), 1432-1443.
- [24] A.R. Von Hippel, « Les diélectriques et leurs applications », 1961, 439.
- [25] C. Guillermin, « Vieillissement électrique et thermique d'un composite résine époxyde-silice, Etude des charges » d'espace et de la conduction », Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble., 2004.
- [26] B. Roling, *J. Non-Cryst. Sol.*, 1999, 244, 34.
- [27] Zhang, P., Zhang, G., Wang, J., Lu, X., & Ma, Y. (2015). Ionic liquid synthesis under ultrasound: Achievements and challenges. *Ultrasonics Sonochemistry*, 26, 386-402. doi:10.1016/j.ulsonch.2015.03.021
- [28] Ranu, B. C., & Misra, S. (2011). Ultrasound in synthesis of ionic liquids. *Chemical Society Reviews*, 40(5), 2010-2027. doi:10.1039/c0cs00142d
- [29] Gogate, P. R., & Patil, P. N. (2015). Synthesis of ionic liquids: Use of alternate energy forms and future perspectives. *Green Chemistry*, 17(4), 1626-1652. doi:10.1039/c4gc02242f

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[30] Mason, T. J. (2015). Power ultrasound in the synthesis of functional materials. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 619-620. doi:10.1016/j.ultsonch.2015.03.023

[31] "Ionic Liquids: A Novel Class of Antimicrobial Agents" par Amrita Roy et al. (*Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2019)

Annexes

Annexe N° 01 Composition des milieux de culture

Pour 1 litre de milieu

-Gélose nutritif

Tryptone.....	5,0 g
Extrait de viande.....	3,0 g
Agar agar bactériologique.....	12,0 g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,0 ± 0,2.

-Muller Hinton

Hydrolysât acide de caséine.....	17,5 g
Infusion de viande	2,0 g
Amidon soluble	1,5 g
Agar agar bactériologique.....	17,0 g

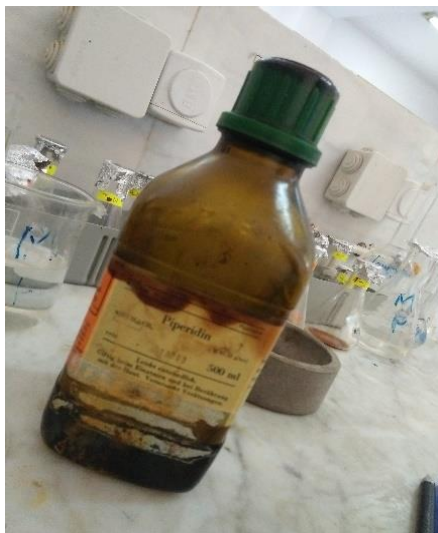
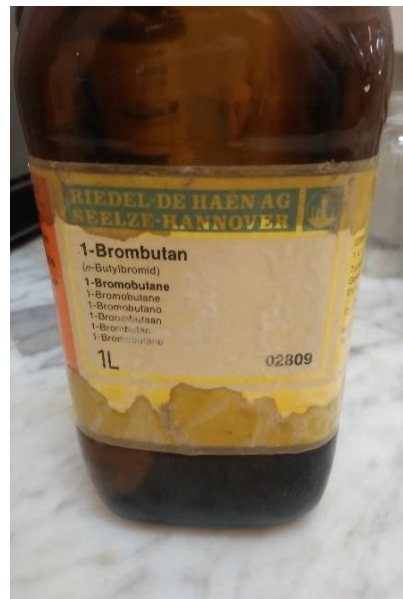
pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,3 ± 0,2.

-Gélose de MacConkey

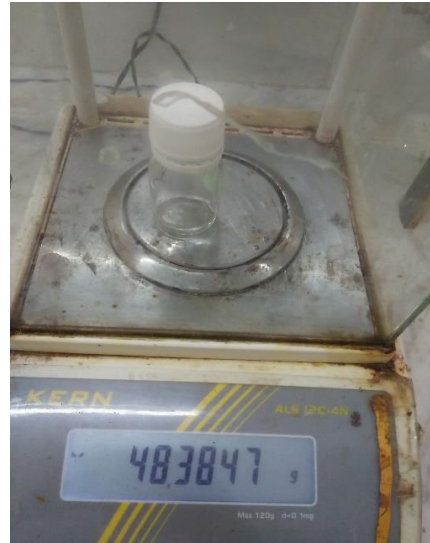
Peptone pancréatique de gélatin.....	17,0g
Tryptone.....	1,5 g
Peptone pepsique de viande	1,5 g
Lactose.....	10,0 g
Sels biliaires.....	1,5 g
Chlorure de sodium	5,0 g
Rouge neutre	30,0 mg
Cristal violet.....	1,0 mg
Agar agar bactériologique.....	13,5 g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,1 ± 0,2

Annexe 02 N° produits utilisés



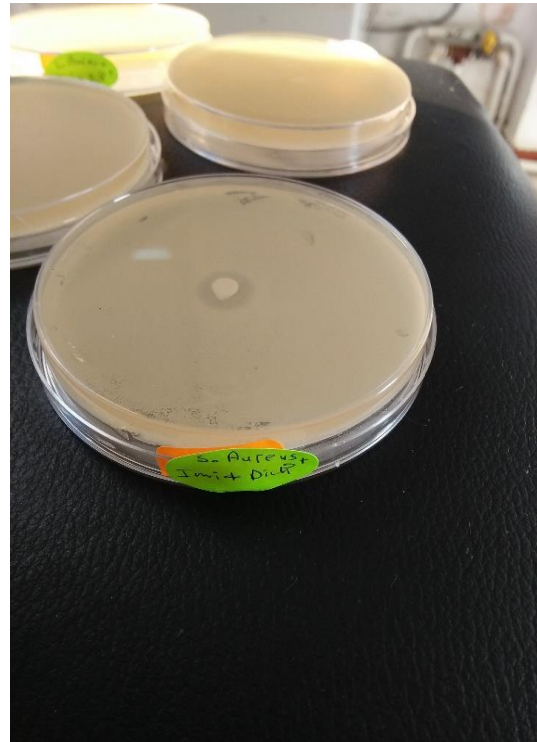
Annexe N°03 Les appareils utilisés



Annexes



Annexe N° 04 l'effet antibactérien des LIs



Résumé

L'objectif principal de ce mémoire est de développer des nouveaux liquides ioniques à base de cations d'Imidazolium et de pipéridinium et d'évaluer leur activité antibactérienne contre E.coli et S.aureus. La méthode de synthèse utilisée est celle des ultrasons, et des caractérisations spectroscopiques telles que l'IR et la RMN ont été réalisées pour identifier ces liquides ioniques

Les résultats obtenus ont montré une efficacité significative de ces solvants sur différentes souches pathogènes, E.coli et S.aureus

La première partie du mémoire porte sur une revue bibliographique des liquides ioniques, tandis que la deuxième partie décrit les travaux effectués pour créer une nouvelle série de liquides ioniques en utilisant la méthode des ultrasons, suivie d'un échange anionique avec l'oxalate de sodium. Cette stratégie permet d'obtenir une grande variété de sels ioniques. Ensuite, une étude approfondie de leurs propriétés structurales et spectroscopiques a été menée afin de mieux comprendre les interactions entre le cation et l'anion associé. Enfin, une étude d'activité antibactérienne basée sur la méthode de diffusion des disques a été réalisée pour évaluer l'influence de ces composés sur deux souches pathogènes.

Mots clés : Liquides ioniques, Méthode ultrasonique, Pipéridine, Activité antibactérienne E.coli, S.aureus, Imidazole

المخلص

الهدف الرئيسي لهذا البحث هو تطوير سوائل أيونية جديدة تحتوي على أيونات الإيميدازوليوم والبيبيريدينيوم، وتقييم نشاطها المضاد للبكتيريا ضد العصيات القولونية والمكورات العنقودية الذهبية. تم استخدام طريقة الاهتزاز الفوق صوتي في عملية التركيب، وأجريت تشخيصات طيفية مثل الأشعة تحت الحمراء والرنين المغناطيسي النووي لتحديد هذه السوائل الأيونية. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية ملحوظة لهذه المذيبات ضد سلالات مختلفة من البكتيريا، بما في ذلك العصيات القولونية والمكورات العنقودية الذهبية. تركز الجزء الأول من البحث على مراجعة بيبليوغرافية من الدراسات حول السوائل الأيونية، بينما يصف الجزء الثاني الأعمال التي تمت بغرض إنتاج سلسلة جديدة من السوائل الأيونية باستخدام طريقة الاهتزاز الفوق صوتي، تليها تبادل أيوني مع كربونات الصوديوم. تنتج هذه الاستراتيجية الحصول على مجموعة متنوعة من الملحوظات الأيونية. ثم أجريت دراسة مفصلة للخصائص البنائية والطيفية لهذه السوائل الأيونية لفهم أفضل التفاعلات بين الكاتيون والنيون المقترن به. في النهاية، تم إجراء دراسة للنشاط المضاد للبكتيريا باستخدام طريقة انتشار الاقراص لتقييم تأثير هذه المركبات على الساللتين البكتيرية.

الكلمات المفتاحية: السوائل الأيونية. طريقة الموجات فوق الصوتية. البيبيريدين. النشاط المضاد للبكتيريا. العصيات القولونية. المكورات العنقودية الذهبية. إيميدازول.

Summary

The main objective of this thesis is to develop new ionic liquids based on imidazolium and piperidinium cations and evaluate their antibacterial activity against E. coli and S. aureus. The synthesis method used is ultrasound, and spectroscopic characterizations such as IR and NMR were performed to identify these ionic liquids. The results obtained have shown significant efficacy of these solvents against different pathogenic strains, E. coli and S. aureus. The first part of the thesis provides a literature review on ionic liquids, while the second part describes the work carried out to create a new series of ionic liquids using the ultrasound method, followed by an anion exchange with sodium oxalate. This strategy allows the obtaining of a wide variety of ionic salts. Then, a comprehensive study of their structural and spectroscopic properties was conducted to better understand the interactions between the cation and the associated anion. Finally, an antibacterial activity study based on the disc diffusion method was carried out to evaluate the influence of these compounds on the two pathogenic strains.

Keywords : Ionic liquids, Ultrasonic method, Piperidine, Antibacterial activity, E.coli, S.aureus Imidazole