

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université M'hamed Bougara Boumerdes

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Département : Génie des procédés
Filière : Génie des procédés
Option : Génie alimentaire

THEME

**Modélisation de la diffusion des principes actifs de l'ail dans
l'eau, le lait et l'huile et tests sur l'activité antimicrobienne de
leurs macéras**

Présenté par : Ighislimane Fouzia

Soutenu le : 07/2018

Président : Benakmoum A.
Examineur : Annou S.
Promoteur : Haderbache L.
Co-promoteur : Zidani S.

Professeur	UMBB
MAA	UMBB
MAA	UMBB
MCB	UMBB

Promotion 2018

Résumé

L'ail est utilisé depuis des millénaires pour traiter divers problèmes de santé, un très grand nombre d'étude ont été réalisées afin de mieux connaître les principes actifs de l'ail et leur effet physiologique.

Dans cette étude l'ail de la région de Mila a été caractérisé morphologiquement, quelques caractéristiques physico-chimiques (Humidité, pH, CE) ont été déterminées. L'ail à l'état frais a ensuite été incorporé dans trois matrices eau, lait et huile pour reproduire les usages traditionnels, pour lesquelles la diffusion de ses principes actifs au cours du temps a été suivie et modélisée par cinq modèles (Linéaire, Logarithmique, Peleg, Fick et Page). En dernier l'activité biologique des trois macéras a été testé contre *Escherichia coli*, *staphylococcus aureus* et *Candida albicans*.

Mots clés : Ail, Morphologie, Diffusion, Cinétique, Activité antimicrobienne.

Abstract

Garlic has been used for thousands of years to treat various health problems, a large number of studies have been conducted to better know the active ingredients of garlic and their physiological effect.

In this study garlic from the Mila region was characterized morphologically, some physicochemical characteristics (Moisture, pH, EC) were determined. Garlic in the fresh state was then incorporated into three water, milk and oil matrices to reproduce traditional uses, for which the diffusion of its active ingredients over time was followed and modeled by five models (Linear, Logarithmic, Peleg, Fick and Page). Lastly, the biological activity of the three extracts was tested against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*.

Key words: Garlic, Morphology, Diffusion, Kinetics, Antimicrobial activity.

ملخص

قد استخدم الثوم منذ آلاف السنين لعلاج مختلف المشاكل الصحية ، وقد أجريت عدد كبير من الدراسات لمعرفة أفضل المكونات النشطة في الثوم وتأثيرها الفسيولوجي. في هذه الدراسة تم وصف ثوم منطقة ميلا شكليا ، و تم تحديد بعض الخصائص الفيزيوكيميائية (الرطوبة ، درجة الحموضة ، الناقلية). ثم أدرج الثوم في حالته الطازجة في ثلاثة مصفوفات من الماء والحليب والزيت لتقليد الاستخدامات الأكثر شيوعا ، اتبع انتشار مكوناتها النشطة مع مرور الوقت ونمذجتها بخمسة نماذج (Linear و Logarithmic و Peleg و Fick و Page). وأخيرا ، تم اختبار النشاط البيولوجي للمستخلصات الثلاثة ضد الإشريكية القولونية ، المكورات العنقودية الذهبية والكانديدا البيضاء.

الكلمات المفتاحية: الثوم ، مورفولوجيا ، إنتشار ، حركية ، نشاط مضاد للميكروبات.

Liste des abréviations

A : Taux de cendres en %

AHA : American Heart Association

CE : Conductivité électrique

CMI : Concentration minimale inhibitrice.

DAD : Diallyl Sulfide

DADS : Diallyl Disulfide

DADTS/Ajoène : Diallyl trisulfide

E : Erreur relative moyenne

GN : Gélose nutritive

IR : Indice de réfraction

MH : Mueller Hinton (milieu de culture pour bactéries)

MS : Matière sèche

Ø : Diamètre

RMSD : Racine de la somme des Ecart au carré

Sab : Sabouraud (milieu de culture pour levures)

Remerciements

Mes vifs remerciements et ma profonde gratitude sont adressés à ma promotrice Mlle Haderbache Latifa, maître assistante à la faculté des sciences de l'ingénieur, université de Boumerdes.

J'exprime aussi ma profonde reconnaissance à Mr Zidani Sofiane mon Co-promoteur, Maître de conférences à la faculté des sciences de l'ingénieur, université de Boumerdes.

Je remercie également mes enseignants qui ont participé à ma formation durant toutes les années d'étude, plus particulièrement ceux du l'ex département technologie alimentaire.

Je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Et enfin, les plus vifs remerciements s'adressent surtout à mon époux rafik et mes chères filles Khadidja Asma, Mouna et Kaouthar.

Dieu merci

Dédicace

A mes chers parents

A mes frères et sœurs

A tous mes amis, particulièrement latifa, aicha, yasmine, samah, sarah, amine, djamel, ouiza et nabila.

A tous les étudiants de MGA16

Fouzia

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

CHAPITRE I

I.1. Description de la plante d'ail	2
I.1.1. Origine	2
I.1.2. Aspects botaniques	2
I.2. Composition chimique de l'Ail.....	4
I.2.1. Principes actifs.....	5
I.2.1.1. Composés organosulfurés	5
Alliine.....	5
Allicine	6
DiallylSulfide, DiallylDisulfideetAjoène	6
I.2.1.2. Antioxydants	7
I.2.1.3. Les saponines	7
I.3. Utilisations de la plante.....	7
I.3.1. Usages thérapeutiques	7
I.3.1.1. Effets anti-oxydants.....	7
I.3.1.2. Effets anti-infectieux	8
I.3.1.3. Effets anti-cancérigènes	10
I.3.1.4. Effets cardiovasculaires.....	10
I.4. Usages culinaire (alimentaire)	11
I.5. Indications et contre-indications	13
I.6. Conservation et précautions	13
I.6.1. Effets secondaires de l'ail.....	14
I.6.2. Ail conservé dans l'huile	14
I.6.3. Les comprimés d'ail	15

CHAPITRE II

II.1. Matériels et méthodes.....	16
II.1.1. Description du matériel biologique	16
II.1.2. Morphologie des gousses d'ail.....	16
II.1.3. Caractérisation physico-chimique de l'ail.....	16
II.1.3.1. Humidité	16
II.1.3.2. Mesure du pH (acides organique et phénoliques)	17
II.1.3.3. La conductivité électrique (minéraux)	17
II.1.4. Cinétiques de diffusion des principes actifs de l'Ail.....	18
II.1.4.1. Préparation de l'échantillon	18
II.1.4.2. Protocole de la diffusion.....	18
II.1.4.3. Modélisation de la diffusion	19
II.1.5. Evaluation de l'activité antimicrobienne des macéras d'ail	20
II.1.5.1. Revivification des souches.....	20
II.1.5.2. Préparation des suspensions microbiennes	20
II.1.5.3. Préparation des dilutions des macéras	20
II.1.5.4. Évaluation de l'activité antimicrobienne par la méthode des puits.....	20

CHAPITRE III

III. Résultats et discussions	22
III.1. Résultats de la morphologie des gousses d'ail.....	22
III.2. Résultats de la caractérisation physico-chimique de l'ail	25
III.3. Cinétique de diffusion des principes actifs de l'ail	25
III.4. Résultats de l'activité antimicrobienne.....	29
Conclusion.....	31
Références bibliographiques	
Annexe I	

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification systématique de l'ail.....	3
Tableau 2: Composition chimique de l'ail	4
Tableau 3: Equation des modèles de diffusion appliquées.....	19
Tableau 4: Résultats de la caractérisation physico-chimique de l'ail.....	25
Tableau 5: Valeurs des constants des modèles appliqués et statistiques d'adéquation.....	28
Tableau 6: Diamètres d'inhibition des trois souches sur les trois macéra.....	29

Liste des figures

Figure 1: Photos des différentes parties de la plante d'ail.....	3
Figure 2: Alliine	5
Figure 3: L'allicine	6
Figure 4: L'ajoène	7
Figure 6: Représentation en histogramme des résultats de la longueur de l'ail	23
Figure 7: Représentation en histogramme des résultats de la largeur de l'ail	23
Figure 8: Représentation en box plot du poids de l'ail.....	24
Figure 9: Représentation en histogramme du poids de l'ail	24
Figure 10: Cinétique de diffusion des composés de l'ail dans l'eau.	25
Figure 11: Cinétique de diffusion des composés de l'ail dans l'eau.	26
Figure 12: Cinétique de diffusion des composés de l'ail dans l'huile.....	26
Figure 13: Spectres d'absorption dans l'UV de l'huile avant (a) et après la fin de macération (b).....	27
Figure 14: Taux final d'extraction et à l'équilibre des deux matrices eau et lait.	27

INTRODUCTION

L'ail est aliment très commun qui a un pouvoir bénéfique pour la santé, son utilisation au quotidien ainsi que son mode d'emploi dans différentes préparations montre ses bienfaits sur le métabolisme et son action sur certains syndromes liés aux infections microbiennes et parasitaires.

L'utilisation de l'ail est pratique par rapport à celle de l'oignon et d'autres aliments, aux propriétés positives sur le métabolisme humain, à cause de sa petite taille, ce qui le rend accessible et rentable sur le plan de traitement préventif de nombre de maladies externes et internes. L'utilisation traditionnelle nous oriente sur quelques actions de l'ail, par exemple incorporé dans l'eau il est utilisé pour les maux de tête (céphalées), les otites, les douleurs dentaires et la tension artérielle ; incorporé dans de l'huile d'olive il donne un effet sur les affections respiratoires ; enfin incorporé dans du lait il donne un effet sur les spasmes liés aux parasites du ventre, de l'estomac et de l'intestin.

Ce qui nous conduit à poser la question : pourquoi précisément ces matrices eau, lait et huile ? Et quelle est la véracité de ces pratiques ancestrales ?

Il est donc intéressant d'étudier la diffusion des composés de l'ail, cultivé dans la région de Mila (Algérie) et qui suscite l'intérêt des chercheurs algériens ces quelques dernières années, dans ces trois matrices et de montrer leurs activités biologiques. Surtout qu'il est déjà prouvé que l'ail frais a plus d'efficacité que l'ail cuit et qu'il existe un manque dans la littérature scientifique d'études portant sur l'effet de doses réellement utilisées dans la pratique quotidienne et non pas d'extraits et d'huiles essentielles.

Pour se faire ce travail se divise en trois chapitres :

Chapitre I : Partie Bibliographique

Chapitre II : Matériels et méthodes

Et chapitre III : Résultats et discussion.

I.1. Description de la plante d'ail

I.1.1. Origine

Le terme « ail » vient du latin *allium*. Il pourrait dériver d'un mot grec signifiant « jaillir de », par allusion à la façon très rapide qu'a le bulbe de se diviser en plusieurs caïeux, qui semblent littéralement en jaillir. D'autres pensent qu'il vient du celte *all*, qui veut dire « piquant » [1].

L'ail est originaire d'Asie centrale. Il y a environ 10 000 ans, il s'est rependu progressivement en extrême orient, en Arabie, en Egypte et dans le bassin méditerranéen, transporté par les marchands au gré des routes commerciales. Ce bulbe est sans doute l'un des légumes les plus anciennement cultivés par l'homme qui l'utilisait autant pour son alimentation que pour sa santé [2].

I.1.2. Aspects botaniques

L'ail, ail commun ou ail cultivé (*Allium sativum*) est une espèce de plante potagère vivace monocotylédone dont les bulbes, à l'odeur et aux goûts forts, sont souvent employés comme condiment en cuisine. La partie consommée « la tête d'ail » se compose de plusieurs « caïeux » ou « gousses » [3] [4] [5] [6].

L'ail est une plante herbacée (Figure 1), bulbeuse et vivace assez grande à nombreuses feuilles engainant le bas de la tige. Elle mesure de 50 à 120 cm de hauteur [3].

L'inflorescence est rare chez beaucoup de cultivars et n'apparaît qu'occasionnellement en cas de stress. Elle est enveloppée d'un spath en une seule pièce tombant assez rapidement. Les fleurs sont groupées en ombelles. Assez peu nombreuses, elles sont de couleur blanche ou rose et s'épanouissent en été [3].

Le fruit est une capsule à 3 loges mais celle-ci est très rarement produite et la hampe florale donne plus souvent naissance à des bulbilles florales sauf pour les cultivars originaires d'Asie centrale et du Caucase qui sont proches du type sauvage [3].

La hampe florale peut se développer ou non, mais elle ne fleurit pas (les fleurs avortent). On la coupe en général pour favoriser le développement du bulbe [7].



Figure 1: Photos des différentes parties de la plante d’ail [3]

La multiplication végétative est plutôt la règle par le biais de laquelle des bulbes sont formés à la base de la tige. Ce sont des bulbes composés de 3 à 20 bulbilles (gousses) arquées appelés caïeux. Chacun est entouré d’une tunique parcheminée et le groupe d’un même pied est lui-même inclus dans une tunique identique à multiples couches [3].

La classification traditionnelle (Tableau 1) distingue les cultivars selon des critères morphologiques en fonction de leur période de végétation et de la couleur de la tunique du bulbe et de bulbilles [3].

Tableau 1: Classification systématique de l’ail [3].

Classification de Cronquist (1981)	
Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous-classe	Liliidae
Ordre	Liliales
Famille	Liliaceae
Genre	Allium
Classification APG III (2009)	
Ordre	Asparagales
Famille	Amaryllidaceae
Sous-famille	Allioideae

I.2. Composition chimique de l'Ail

L'analyse chimique du bulbe d'ail montre qu'il contient de l'eau en grande partie, des glucides, des protéines, des fibres en faible quantité, divers composés phénoliques, phyto-stéroïdes, flavonoïdes, presque toutes les vitamines en particulier du groupe B, des substances minérales et oligo-éléments, une huile essentielle (composés organo-sulfurés) dont le principe actif de l'ail et qui sont représentés dans le tableau (2) suivant :

Tableau 2: Composition chimique de l'ail [3] [9]

Composé	Valeur	
Eau (%)	64	
Glucides (%)	27,5	
Protéines (%)	6	
Fibres (%)	3	
Divers	Prostaglandine, acide phenols, phytosteroides, polyphenols, flavonoïdes...	
Vitamines (mg/100g)	B1	0,2
	B2	0,08
	B3	0,65
	B5	0,6
	B6	1,2
	C	30
	E	0,1
Minéraux (mg/100g)	Potassium	446
	Soufre	200
	Phosphore	144
	Calcium	38
	Magnesium	21
	Sodium	10
	Chlore	30
Oligo-éléments (ppm)	Fer	1,4
	Zinc	1
	Manganèse	0,46
	Bore	0,4
	Cuivre	0,15
	Nickel	0,01
	Molybdène	0,07
	Iode	0,003
	Sélénium	7 à 20
Huile essentielle	Dont :	% (par rapport à l'huile essentielle)
	Disulfure de diallyle	54,25
	Trisulfure de diallyle	1,34
	Tétrasulfure de diallyle	6
	Sulfure de diallyle	5,7
	Trisulfure de méthyle-allyle	1,34
	Disulfure de allyl-propyle	0,13
Disulfure de méthyl-allyle	1,94	

Consommé en petite quantité, l'ail fournit peu de nutriments. Par contre, consommé en plus grandes quantités au cours d'une journée, l'ail s'avère être une source de quelques nutriments. Par exemple, un bulbe d'ail (soit environ 40 ml ou 24 g d'ail) représente une bonne source de manganèse et de vitamine B6, ainsi qu'une source de phosphore, de fer, de cuivre, de sélénium et de vitamine C [1].

I.2.1. Principes actifs

L'ail contient de nombreux composés actifs, lesquels apportent différents bénéfices pour la santé. On attribue à certains de ces composés plusieurs rôles. C'est le cas entre autres des composés sulfurés. Soulignons que les molécules phytochimiques de l'ail ne sont pas toutes actives dans l'organisme et que certaines restent encore à être découvertes. Les principes actifs contenus dans l'ail frais travaillent de façon synergique afin de produire différents effets sur la santé [1][4][9].

I.2.1.1. Composés organosulfurés

Ces substances sont nommées ainsi car elles contiennent un ou des atomes de soufre dans leur structure chimique. Les composés sulfurés sont libérés lorsque l'ail est coupé, broyé ou écrasé.

Alliine

Le principal composé de l'ail, frais et intact, est l'alliine ou sulfoxide de S-allyl-L (+)-cystéine. Cet acide aminé dérive de la cystéine, il n'existe qu'à l'état libre qui n'est pas impliqué dans la construction des protéines. C'est une molécule stable, inactive et inodore de l'ail. Elle a été isolée en 1948 par Arthur et Erwald Seebeck. De formule brute $C_6H_{11}NO_3S$ (voir figure 2). L'alliine entre en contact avec une enzyme appelée l'alliinase et se transforme en allicine [1][4].

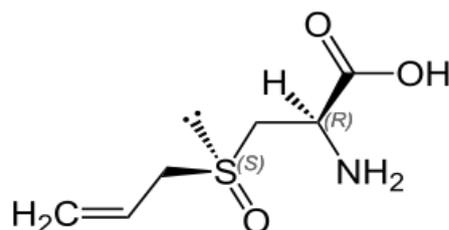


Figure 2: Alliine [4][8]

Allicine[1][4][10]

L'allicine ou allyl-2 propène thiosulfate est un composé organique qui a été isolée en 1944 par Chester John Cavalito à partir d'un extrait aqueux d'ail frais. C'est une molécule instable, odorante et qui est responsable de l'odeur caractéristique de l'ail, sa formule brute est $C_6H_{10}OS_2$ (Figure 3).

L'allicine est transformée en d'autres composés sulfurés tels que le diallyl-sulfide, le diallyl-disulfide et l'ajoène. Dans certaines études, l'allicine a été proposée comme étant le principal composé actif associé à l'effet cardioprotecteur de l'ail, entre autres par sa capacité de réduire les plaques d'athérosclérose chez l'animal. Par contre, lorsqu'on tient compte du fait que l'allicine n'est pas absorbée dans le sang durant la consommation d'ail, il est peu probable qu'elle contribue en tant que tel à l'effet sur la santé cardiovasculaire. L'allicine serait plutôt un composé transitoire rapidement transformé en d'autres composés sulfurés qui, eux, sont actifs dans l'organisme [1].

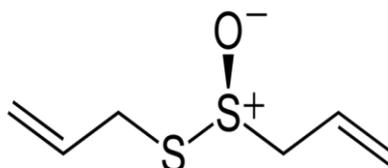


Figure 3: L'allicine [10]

DiallylSulfide, DiallylDisulfide et Ajoène

Ce sont des composés sulfurés formés à partir de la molécule d'allicine, principalement ces composés qui pourraient empêcher certaines cellules cancéreuses de se multiplier et ainsi protéger l'organisme contre de potentiels agents cancérigènes[1].

L'Ajoène dérive de « ajo » le mot espagnol pour l'ail, sa formule brute est $C_9H_{14}OS_3$ [11] comme montrée dans la figure 4. Il est trouvé comme mélange de ces deux stéréoisomères ; E-et Z - 4, 5, 9 trithiadodeca-1, 6, 11-triène 9-oxyde [11]. Il serait capable d'empêcher la synthèse (formation) du cholestérol in vitro et pourrait ainsi jouer un rôle dans l'effet hypocholestérolémiant attribué à l'ail [1].

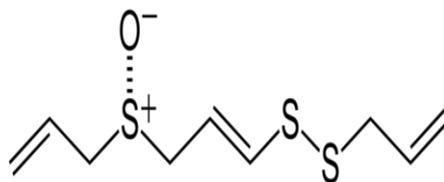


Figure 4: L'ajoène [11]

I.2.1.2. Antioxydants

Les antioxydants sont des composés qui protègent les cellules du corps des dommages causés par les radicaux libres. Ces derniers sont des molécules très réactives qui seraient impliquées dans le ralentissement des maladies cardiovasculaires, de certains cancers et d'autres maladies liées au vieillissement.

L'ail contient différents composés antioxydants tels des flavonoïdes et des tocophérols, en plus des composés sulfurés qui contribueraient aussi à son activité antioxydante[1].

I.2.1.3. Les saponines

Les saponines sont des composés présents dans l'ail, elles ont la capacité de diminuer le cholestérol sanguin et la coagulation du sang chez l'animal in vitro, deux effets recherchés pour la prévention des maladies cardiovasculaires. De plus, il a été démontré chez l'animal que la protéine d'ail isolée pourrait avoir un effet hypolipémiant. Ces composés prometteurs pourraient donc être associés à l'effet cardioprotecteur de l'ail, mais davantage d'études seront nécessaires afin de mieux connaître leurs rôles.

I.3. Utilisations de la plante

L'ail est utilisé depuis plusieurs centaines d'années pour traiter divers problèmes de santé. Un très grand nombre d'études ont été réalisées afin de mieux connaître les principes actifs de l'ail et leurs effets physiologiques. L'ail est utilisé sous différentes formes : frais, déshydraté, ainsi que sous forme d'extrait, d'huile ou de teinture [1].

I.3.1. Usages thérapeutiques

I.3.1.1. Effets antioxydants

La consommation d'ail frais (cru ou cuit) augmenterait l'activité antioxydante dans le plasma chez des rats, mais la consommation quotidienne de 3 g à 6 g d'ail cru pendant sept à huit jours chez l'humain n'a pas confirmé cette observation. On sait tout de même qu'à poids équivalent, l'ail possède une capacité antioxydante plus élevée qu'une large sélection

de légumes. Par contre, lorsque la fréquence et la grosseur de la portion habituellement consommée sont prises en considération, l'impact de la consommation d'ail sur la capacité antioxydante totale demeure limitée, comparativement à d'autres légumes consommés en plus grandes quantités [1].

I.3.1.2. Effets anti-infectieux

L'ail est utilisé traditionnellement pour ses propriétés antimicrobiennes et pour le traitement de certaines infections. La majorité des études sur le sujet ont été réalisées à partir d'extraits d'ail, à des doses souvent difficiles à atteindre avec une consommation usuelle d'ail frais. Dans une étude réalisée chez une population d'une région de la Chine, une consommation élevée d'ail (plus de 5 kg par année par personne, soit l'équivalent d'environ quatre à cinq gousses d'ail par jour) a été faiblement associée à une diminution des infections à la bactérie *Helicobacter pylori*. Cette observation a été contestée par une étude clinique durant laquelle des gens consommaient dix gousses d'ail frais par jour, sans effet significatif contre l'infection *H. pylori*. Certaines études suggèrent que l'ail pourrait aider à prévenir le rhume. En effet, dans une étude, deux groupes ont été comparés : l'un consommait un supplément d'ail et l'autre un placebo et ce durant 12 semaines pendant la saison froide (novembre à février). Les résultats démontrent que ceux qui étaient dans le groupe avec un supplément d'ail ont eu moins d'épisodes de rhume que ceux qui avaient pris un placebo. De plus, quand ils avaient un rhume, les individus qui étaient dans le groupe avec un supplément d'ail ont vu leurs symptômes diminuer plus rapidement que ceux qui avaient pris un placebo. Pour l'instant, les données restent malgré tout insuffisantes pour affirmer que la consommation d'ail frais amènerait un effet anti-infectieux dans l'organisme [1].

L'activité antibactérienne se retrouve principalement dans l'huile essentielle d'ail. Ses composés sont le Diallyl Sulfide (DAD), Diallyl Disulfide (DADS), Diallyl trisulfide (DADTS/Ajoène) et l'allicine [12].

L'allicine a une particularité qui lui est propre, celle d'empêcher les bactéries de développer une résistance à celle-ci. L'activité anti bactérienne de l'ail agit sur les bactéries à Gram négatif et à Gram positif incluant certaines espèces comme *Escherichia Coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Klebsiella*, *Proteus*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Helicobacter pylori* et *Mycobacterium tuberculosis*. L'extrait d'ail peut prévenir la formation de Staphylococcus enterotoxines A, B et C1 et de la thermonucléase. Mais il n'a pas d'efficacité contre la formation de la toxine du *Clostridium botulinum*.

Certaines bactéries sont résistantes à l'antibiotique, comme la bactérie *Staphylococcus aureus* Métilcilline Résistant, mais l'ail, principalement l'allicine, montre une efficacité contre celle-ci. Cependant d'autres bactéries sont résistantes à l'action de l'allicine comme *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus* β hémolytiques ou encore *Enterococcus faecium*. La raison de cette résistance est incertaine, il serait supposé que des capsules hydrophiles ou des couches mucoïdes empêchent la pénétration de l'allicine dans la bactérie. De plus, il existe une synergie entre l'allicine et la streptomycine ou le chloramphénicol contre la *Mycobacterium tuberculosis*. L'activité antibiotique d'1 mg d'allicine équivaut à 15 UI de pénicilline [12].

Une étude montre que l'activité antibactérienne des différents extraits d'huile essentielle d'ail a été testée à différentes concentrations (50, 100, 200, 300 et 500 ml/l), un antibiogramme a donc été établi contre le *Staphylococcus aureus* pendant 48h, la zone d'inhibition est la plus importante comparé aux différents types d'oignons, il en est de même pour la bactérie *Salmonella* [12].

L'allicine est le principal composant responsable de l'inhibition de la croissance fongique. En possédant une activité fongicide et fongistatique, l'allicine pure montre une haute activité antifongique sur les *Candida* avec une concentration inhibitrice minimale de 7 $\mu\text{g/ml}$ d'allicine pouvant aller jusque 1,57-6,25 $\mu\text{g/ml}$ suivant certaines espèces de *Candida*. En effet, un blocage de la synthèse lipidique par l'extrait d'ail aqueux joue un rôle important dans l'activité anti *Candida*. De plus, une activité synergique de l'ail est possible avec certains antifongiques ou antibiotiques comme avec l'Amphotéricine B ou encore la Polymixine, en augmentant l'activité de l'antibiotique contre *Candida albicans* par exemple. L'extrait d'ail peut aussi inhiber la formation de mycotoxine comme l'aflatoxine dans l'*Aspergillus parasiticus*. Le DADS est le premier composant de l'ail ayant une activité antioxydante dans les espèces à *Candida*. Il diminue l'activité de toutes les enzymes antioxydantes sauf la catalase et possède une activité contre certaines espèces comme *Candida Albicans*, *Candida tropicalis*, *Blastoschizomyces capitatus*. L'ajoène possède également une activité antifongique, il est plus efficace lorsqu'il est en association avec certains médicaments comme le Bactrim fort®, l'inhibition de la croissance de *Candida albicans* et d'*Aspergillus niger* se fait à une dose d'ajoène inférieur à 20 $\mu\text{g/ml}$ [12]. Cependant, une étude comparant l'activité antifongique des différents types d'oignons et l'ail, trouvé que l'ail a un effet inférieur à l'oignon concernant l'inhibition de la croissance fongique[12].

I.3.1.3. Effets anti-cancérigènes

Plusieurs études épidémiologiques indiquent un effet positif de la consommation d'ail sur la prévention de certains cancers. D'abord, les résultats d'une méta-analyse portant sur 18 études épidémiologiques publiées entre 1966 et 1999, démontre une diminution de 30 % du risque du cancer colorectal et d'environ 50 % du risque de cancer de l'estomac en cas de consommation élevée d'ail. Parmi toutes les études relevées, une telle consommation équivalait approximativement à 18 g d'ail cru et cuit par semaine (soit environ six gousses).

Puisque les quantités ingérées variaient énormément d'une étude à l'autre, il est difficile de déterminer plus précisément la quantité minimale d'ail à consommer afin de bénéficier de ses effets sur les cancers colorectaux et de l'estomac. D'autres études ont observé une relation inverse entre la consommation d'ail et l'incidence des cancers du larynx, de la prostate et du sein. Cependant, aucune conclusion générale ne peut être dégagée pour l'instant, étant donné le trop faible nombre d'études sur le sujet [1].

I.3.1.4. Effets cardiovasculaires

L'American Heart Association (AHA) publie des recommandations alimentaires permettant de prévenir le risque de maladies cardiovasculaires, par exemple une consommation élevée de fruits et de légumes, ainsi que le choix de produits céréaliers à grains entiers et de produits laitiers faibles en matières grasses. En se basant sur de nombreux résultats de recherches, l'AHA propose une liste d'aliments spécifiques présentant un certain effet cardioprotecteur. L'ail fait partie de ces aliments (au même titre que les noix, le soja, les légumineuses et le thé) et sa consommation s'ajoute donc aux recommandations de base de l'AHA dans une optique de prévention des maladies cardiovasculaires [1].

La majorité des études évaluant l'effet de l'ail sur les facteurs de risque de maladies cardiovasculaires (tels que la tension artérielle, le cholestérol et le glucose sanguins) ont été réalisées avec des suppléments ou des extraits d'ail, de façon à isoler les principes actifs. Globalement, ces recherches démontrent une tendance à faire diminuer légèrement les taux de cholestérol et de triglycérides sanguins [1]. Peu d'études ont donc évalué l'impact réel de la consommation d'ail frais (cru ou cuit) sur ces facteurs de risque et elles datent d'ailleurs de quelques années [1]. Dans deux de ces études, la consommation quotidienne de 3 g et 10 g d'ail frais pendant respectivement 16 et 8 semaines a contribué à une diminution du cholestérol total. Des études plus approfondies seront nécessaires afin

d'évaluer l'effet de la consommation d'ail frais sur la prévention et le traitement des maladies cardiovasculaires. D'après les résultats d'études utilisant des extraits d'ail, une consommation quotidienne équivalente à 2 - 5 g d'ail cru ou à 10 - 15 g d'ail cuit serait nécessaire afin de profiter des bienfaits sur certains facteurs de risque de maladies cardiovasculaires tel un cholestérol total, un cholestérol-LDL (« mauvais » cholestérol) ou des triglycérides élevés dans le sang.

I.4. Usages culinaire (alimentaire)

L'ail est utilisé comme ingrédient de plusieurs plats cuisinés, en gousses ou écrasé, cuit ou cru.

En Algérie et à l'heure actuelle, l'ail est principalement transporté frais sur le marché. Un faible pourcentage est transformé en poudre ou séché par des méthodes classiques pour maintenir sa qualité pour un stockage prolongé (l'exemple de la région d'aith-abasse-ighil-ali, wilaya de Bejaia) [4].

Dans la cuisine de l'extrême orient, Corée, Thaïlande et Japon, l'ail noir est utilisé comme ingrédient alimentaire. Afin de bien retirer la pelure de l'ail, on l'écrase avec le plat d'un couteau. On retire ensuite le germe qui rendrait l'ail indigeste et qui serait en grande partie responsable de la mauvaise haleine [12].

- Aillet : on appelle ainsi la pousse d'ail qui sort de terre au printemps et qui n'a pas encore commencé à former son bulbe. On la consomme à la croque-au-sel ou légèrement cuite à la vapeur et arrosée d'une vinaigrette, comme pour le poireau. On peut aussi l'émincer dans les salades, les soupes, etc. on le retrouve essentiellement des épicerie asiatiques[1].

- Hampe florale : afin de favoriser la production du bulbe, la hampe florale de l'ail, avec son bouton floral, doit être coupée peu de temps après sa formation. Hachée finement, elle entre dans toutes sortes de préparations, comme le beurre à l'ail. On peut la trouver en pot dans les épicerie fines [1].

- Ail en chemise : rôti ou grillé au four dans sa peau, l'ail acquiert une saveur très particulière qui rehaussera mayonnaises, vinaigrettes ou sauces chaudes. Le bulbe entier sera d'abord étêté et badigeonné d'huile. On peut aussi ajouter les gousses individuelles dans un bouillon ou une sauce et les retirer au moment de servir, ou en farcir une volaille à rôtir. À la fin de la cuisson, on pourra récupérer l'ail et en faire une sauce [1].

Chapitre I : Partie bibliographique

- Aïloli : il se monte comme une mayonnaise à cette exception près que l'on commence avec de l'ail pilé avant d'ajouter les ingrédients habituels. Il pourra accompagner un poisson, une viande froide ou une fondue. Si l'on ajoute un morceau de mie de pain trempé dans du fumet de poisson et des piments rouges d'Espagne, on obtient une rouille, traditionnellement servie en Provence avec la bouillabaisse [1].

- Aïgo-bouïdo : des nombreuses recettes de soupes à l'ail élaborées à travers le monde, une des plus simples est l'aïgo-bouïdo, aux usages mi-culinaires, mi-médicinaux. Pour le préparer, on fait cuire six gousses d'ail pilées dans un litre d'eau bouillante pendant une dizaine de minutes. Retirer ensuite du feu, ajouter sauge, thym et laurier et laisser infuser quelques minutes. Enlever les herbes, battre un œuf en omelette et l'ajouter à la soupe sans cesser de battre. Ce bouillon est servi sur une tranche de pain arrosée d'huile [1].

- Pâtes : faire revenir des gousses d'ail entières dans de l'huile, puis retirer l'ail et napper les pâtes avec cette huile parfumée. D'autres préfèrent tout simplement ajouter de l'ail pilé dans les nouilles très chaudes avec un peu de beurre fondu ou d'huile d'olive [1].

- Salade amère à l'ail : pissenlit, chicorée, scarole, raddichio, Trévisse perdent un peu de leur amertume et se trouvent bonifiés lorsqu'ils sont servis avec des croûtons revenus dans l'huile d'olive et frottés à l'ail. Napper d'une vinaigrette chaude pour ramollir les légumes [1].

- Beurre d'ail : servir cuisses de grenouille, crevettes et escargots nappés de beurre qu'on aura malaxé avec de l'ail, des échalotes et du persil finement hachés. Passer quelques minutes au four à feu vif. On pourra faire cuire des moules dans du beurre, avec de l'ail, des fines herbes et du vin blanc, en couvrant, jusqu'à ce qu'elles ouvrent. Réduire le liquide à feu vif et en napper les moules [1].

- Pain à l'ail : découper en tranches une baguette un peu rassie sans toutefois détacher complètement les tranches. Insérer entre les tranches du beurre manié avec de l'ail haché et du sel. Enfermer la baguette dans du papier d'aluminium, mettre au four à feu moyen et cuire 20 ou 30 min [1].

I.5. Indications et contre-indications

- La consommation de l'ail pose le problème de l'haleine. La seule méthode vraiment efficace pour éviter d'ennuyer son entourage avec une haleine sulfureuse consiste à les convaincre de manger de l'ail en même temps que soi. Se brosser les dents après avoir mangé de l'ail n'a aucun effet sur l'haleine d'ail, puisque l'odeur caractéristique provient des gaz libérés dans la bouche au moment de la mastication, puis dans le tube digestif pendant toute la digestion. Ces gaz prennent au moins trois heures avant d'être éliminés. La seule façon de réduire un peu l'haleine après le repas est de mâcher du persil, de la menthe ou des grains de café.
- L'ail vendu couramment en Amérique appartient à la sous-espèce *Allium sativum* var. *sativum*, qui se caractérise botaniquement par l'absence d'une hampe florale (d'où son nom d'« ail à tige tendre ») et de nombreuses petites gousses.
- D'un point de vue culinaire, la sous-espèce *Allium sativum* var. *ophioscorodon*, qui possède une hampe florale (d'où son nom d'« ail à tige dure » ou encore d'« ail à bâton ») et des gousses moins nombreuses et relativement plus grosses, est nettement supérieure. On croit que cette sous-espèce est la plus ancienne des deux et qu'elle a gardé certaines des caractéristiques de l'ail sauvage, dont sa saveur et, malheureusement, sa courte durée de conservation. Préservé au cours des siècles grâce aux soins d'amateurs avertis, l'ail à bâton est offert aujourd'hui à travers des réseaux de producteurs artisans de même que par quelques boutiques spécialisées. En Europe, où il est plus connu, il n'est pas rare qu'on le considère comme un produit du terroir. Ainsi en va-t-il de l'ail rose de Lautrec qui, en France, bénéficie d'une appellation d'origine contrôlée [1].
- L'ail rocambole, ce type à tige dure est particulièrement goûteux, mais pas toujours facile à trouver.
- Le faux ail, Ce qu'on appelle au Québec « ail éléphant » et, en France, « ail d'Orient » n'est pas de l'ail, mais une sorte de poireau que l'on apprête généralement de la même manière, bien qu'il ne présente ni la saveur forte ni les vertus de l'ail.

I.6. Conservation et précautions

Selon les variétés, l'ail frais se conserve de trois à neuf mois. Le garder au sec à température ambiante, car le froid et l'humidité ont pour effet de déclencher le processus de germination.

Les extraits ou suppléments d'ail interagissent avec certains médicaments qui éclaircissent le sang ou qui ont un effet anticoagulant. De la même manière, la consommation de quantités excessives d'ail frais durant la prise de certains médicaments anticoagulants pourrait entraîner un effet additif, augmentant ainsi les risques de saignements. De plus, il est conseillé d'éviter de consommer de l'ail avant une chirurgie afin de diminuer le risque de saignements prolongés. Finalement, chez les personnes prenant des médicaments hypoglycémiant, la consommation de grandes quantités d'ail frais pourrait accentuer l'effet de ces médicaments. De façon générale, la consommation de moins de 4 g d'ail (l'équivalent d'une gousse) par jour semble prudente afin d'éviter toute interaction néfaste.

I.6.1. Effets secondaires de l'ail

- L'ail peut modifier le goût du lait maternel. Les femmes qui allaitent devraient donc surveiller leur consommation d'ail durant cette période.
- La consommation d'une quantité élevée et régulière d'ail pourrait modifier le glucose sanguin; les personnes diabétiques devraient y porter une attention particulière.
- Une consommation excessive d'ail cru, particulièrement lorsque l'estomac est vide, peut causer des désordres gastro-intestinaux : l'ingestion d'une à deux gousses d'ail par jour s'avère une dose sûre pour un adulte.

I.6.2. Ail conservé dans l'huile

L'ail peut être conservé dans l'huile, ce qui permet d'en prolonger la durée de conservation. Par contre, il est possible que l'ail contienne une bactérie responsable du botulisme ; Ainsi conservé sans oxygène, donne les conditions optimales pour le développement de toxines. La consommation d'un produit détérioré peut mener à une intoxication alimentaire grave qui se manifeste par des symptômes tels des étourdissements, une vision floue ou double, de la difficulté à respirer, à avaler et à parler. L'apparence, l'odeur et le goût d'une huile détériorée ne seront pas nécessairement modifiés, d'où l'importance de respecter les consignes suivantes :

- Toujours garder au réfrigérateur l'ail conservé dans l'huile.
- Consommer immédiatement ou dans la semaine qui suit l'huile à l'ail fait maison.

Les huiles à l'ail commerciales devraient contenir des agents de conservation (des acides, du vinaigre ou du sel).

I.6.3. Les comprimés d'ail

Il faut noter que lors de la fabrication de comprimés d'ail, l'allicine serait détruite, ce qui fait que la consommation de comprimés d'ail ne permettrait pas d'ingérer les composés actifs bénéfiques à la santé. L'enzyme que l'on retrouve dans l'ail et qui permet la formation de l'allicine et des autres composés sulfurés est désactivée par la chaleur. Selon le mode et le temps de cuisson de l'ail, les composés sulfurés formés seront différents et la quantité d'antioxydants pourra diminuer. Les propriétés de l'ail cru seraient ainsi supérieures à celles de l'ail cuit. Ajouter l'ail 20 min au plus avant la fin de la cuisson est une bonne technique pour préserver le plus possible la qualité de ses composés actifs.

Ce travail se consacre à la manipulation d'ail frais tel qu'utilisé dans diverses préparations alimentaires dans notre pays, surtout que nous savons que les propriétés de l'ail cru seraient supérieures à celles de l'ail cuit. Ce sujet a vu le jour pour apporter des réponses corrélés aux usages communs de l'ail, car la majorité des études sur le sujet ont été réalisées à partir d'extraits d'ail ou d'huile essentielle, à des doses souvent difficiles à atteindre avec une consommation usuelle d'ail frais.

Pour se faire nous avons organisé le travail en trois parties distinctes :

Caractérisation de l'ail de la région de Mila par :

- 1- Des critères morphologiques, pour connaître le nombre de gousses à utiliser pour les macéra.
- 2- Des critères physico-chimiques (humidité, pH, conductivité électrique et taux de cendre),
- 3- Etude de la cinétique de diffusion des principes actifs de l'ail dans l'eau, le lait et l'huile ; cinq modèles ont été testés (Linéaire, logarithmique, Peleg, Fick et Page).

II.1. Matériels et méthodes

II.1.1. Description du matériel biologique

Une quantité d'ail de 500 g a été achetée le 15 mai 2018 de la région de Boudouaou wilaya de Boumerdes, cette variété de plante d'ail est cultivée en Algérie, précisément à Mila (récolté le début du mois de mai 2018).

II.1.2. Morphologie des gousses d'ail

Une trentaine de gousses d'ail sont pesées à l'aide d'une balance analytique ($\pm 0,1$ g). La largeur et la longueur sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse (en mm).

II.1.3. Caractérisation physico-chimique de l'ail

II.1.3.1. Humidité

La teneur en eau est mesurée par déshydratation des échantillons de 1 à 2 g d'ail broyé, dans une étuve réglée à $105 \pm 1^\circ\text{C}$ jusqu'à obtention d'un poids constant [6]. La teneur en eau est exprimée en g /100g de matière fraîche.

Chapitre II : Matériels et Méthodes

Les capsules vides sont séchées à l'étuve durant 15 min à une température de 105°C. Après refroidissement dans un dessiccateur, une pesée de 2 g d'échantillon est placée dans l'étuve réglée à 105°C pendant 3 heures.

La teneur en eaux par rapport à la masse humide est calculée par la formule suivante :

$$H (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_{ix}} \times 100$$

Ou :

H : teneur en eaux par rapport à la masse humide (g/100g de matière humide)

M_i : masse initiale, avant dessiccation(g)

M_f : masse finale, après dessiccation(g)

M_{ix} : masse de la prise d'essai(g)

La masse sèche(MS) par rapport à la teneur en eau est calculée par la formule suivante :

$$MS (\%) = 100 - H(\%)$$

II.1.3.2.Mesure du pH(acides organique et phénoliques)NF V05-108,1970

Le pH des échantillons de l'Ail broyé a été mesuré d'après la méthode décrite par (Wang et al., 1995 in [6]). Une prise d'essai de 5 g est additionnée dans 45 ml d'eau distillée, puis mélangée à l'aide d'un agitateur magnétique (Yellow line MSH basic).

Le pH est mesuré, à température ambiante, en utilisant un pH mètre (3310 Jenway) préalablement étalonné par des solutions tampons (pH=7 puis pH=4).

II.1.3.3.La conductivité électrique (minéraux)

La conductivité électrique est mesurée à température ambiante à l'aide d'un conductimètre (AD3000 EC/TDS Aδwa) sur une solution de 10% de matière sèche d'Ail.

Une prise d'essai de 16,47 g d'échantillon d'Ail broyé a été additionnée de 50 ml d'eau distillée et mélangée, l'électrode du conductimètre est plongée dans le liquide et la valeur de la conductivité est prélevée en mS/cm.

Il existe une relation entre la conductivité électrique et le taux de cendre qui est représenté par la relation suivante :

$$CE (\text{mS/cm}) = 0,149 + 1,11 A(\%)[14]$$

Ou : CE : conductivité électrique en mS/cm ; A : taux de cendre en %

II.1.4. Cinétiques de diffusion des principes actifs de l'Ail

II.1.4.1. Préparation de l'échantillon

L'ail frais est épluché soigneusement puis découpé en lamelles avec un couteau inox et immédiatement mis à macérer dans les trois matrices E (eau) ; L (lait) ; H (huile).

La quantité à mettre représente 7 g/100 ml (ça correspond à une solution à 2 % de matière sèche, quantité d'ail raisonnablement ingérée par individu et par jour). La durée de macération va correspondre aux usages traditionnels (une semaine de macération).

II.1.4.2. Protocol de la diffusion

Prendre 300 ml d'eau minérale (GUEDILA), de lait en sachet pasteurisé (BOUDOUAOU) et d'huile végétale alimentaire raffinée "élio" (CEVITAL) et les mettre successivement dans 3 bocaux en verre, bien lavés et séchés. Mesurer la conductivité électrique à l'aide du conductimètre (AD 3000 EC/TDS Aδwa) pour les 2 premiers (eau et lait) et l'indice de réfraction en utilisant un réfractomètre (ИРФ-22/N780250) pour l'huile, ça correspondra aux paramètres à t_0 .

21 g d'Ail coupé en lamelle (7 g/100 ml) sont introduits dans chaque bocal, une agitation régulière est appliquée avant chaque prélèvement pour homogénéiser le milieu et les paramètres de suivi sont mesurés chaque demi-heure à température ambiante (25°C) (CE pour les macéra (eau et lait) et l'indice de réfraction (IR) pour le macéra d'huile. Après la durée de diffusion maximale (1 semaine), filtrer les trois macéras sur un passoir en plastique et les mettre au réfrigérateur à 4°C.

Pour vérifier la diffusion dans l'huile, nous avons renforcé l'observation par un balayage dans l'ultra-violet dans l'intervalle de longueur d'onde entre 260 à 400 nm avant et après macération dans des cuves en quartz, les échantillons sont préparés comme suit :

- Dans une fiole jaugée de 10 ml, mettre une petite goutte de macéra d'huile ajustée avec de l'hexane,

- Un balayage s'effectuera sur un spectrophotomètre UV (JASCO/ V-530), étalonné avec de l'hexane pur (blanc), les spectres sont enregistrés avant et après macération de l'ail. Si la DO (densité optique) est supérieure à la valeur 1, une dilution de la préparation est préconisée.

II.1.4.3. Modélisation de la diffusion

La modélisation de la diffusion des principes actifs de l'ail consiste en la détermination du modèle mathématique décrivant le mieux la diffusion des composés solubles à partir des lamelles d'ail. On peut appliquer cinq modèles à savoir : Linéaire, Peleg, Page, Logarithmique et Fick dont les équations sont données dans le tableau suivant :

Tableau 3: Equation des modèles de diffusion appliquées [21]

Modèles	Equations	Constantes
Linéaire	$C(t)=a t+b$	a et b
Logarithmique	$C(t)=a \log t+b$	a et b
Peleg	$C(t) = \frac{t}{(K1 + K2)t}$	K1et K2
Page	$C(t)= \exp (-Kt^n)$	K et n
Fick	$C(t) = \frac{t}{\left(\frac{1}{KCs^2}\right) + \left(\frac{t}{Cs}\right)}$	Cs et K

On va confronter les données expérimentales aux données prédites par les modèles, et on va voir celui qui s'applique au mieux, pour cela on fait la linéarisation des données et extraction du coefficient de détermination R^2 (Annexe D), puis pour vérifier l'adéquation des modèles étudiés, on calcul l'erreur relative moyenne E et la racine de la somme des écarts au carré RMSD et Reg^2 (coefficient de régression de la courbe C_{the} Vs C_{exp}), donnés par les formules suivantes :

$$E = \left(\frac{100}{n}\right) \sum_1^n \left(\frac{C_{exp} - C_{the}}{C_{exp}}\right)^2$$

$$RMSD = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) * \sum_1^n (C_{exp} - C_{the})^2}$$

C_{exp} : Concentration expérimentale

C_{the} : Concentration théorique prédite par le modèle

n : Nombre total d'essais

II.1.5. Evaluation de l'activité antimicrobienne des macéras d'ail

Pour évaluer l'activité antimicrobienne, les souches bactériennes utilisées sont deux souches bactériennes (*Echerichia Coli* G- et *Staphylococcus aureus* G+) et une souche fongique (*Candida albicans*), de la collection du laboratoire d'analyses médicales Dr Boudissa.

La gélose nutritive (GN) est utilisée pour l'isolement et l'entretien des souches microbiennes, puis la gélose Muller Hinton (MH) pour l'étude de la sensibilité des bactéries aux différents macéra, à différentes concentrations. La gélose Sabouraud (Sab) pour l'isolement et l'entretien des levures puis pour les essais antimicrobiens. Les étapes suivies sont les suivantes :

II.1.5.1. Revivification des souches

La revivification se fait en coulant la gélose (GN pour les bactéries et Sabouraud pour les levures) liquéfiée (95°C, bain marie) dans des boites de pétri, laisser refroidir pour se solidifier puis ensemencer en stries les souches conservées.

Pour les bactéries, incuber les boites à 37°C pendant 18 à 24h ; pour les levures laisser à température ambiante de 2 à 3 jours.

II.1.5.2. Préparation des suspensions microbiennes

Dans des tubes stériles contenant de l'eau physiologique, additionner les microorganismes prélevées sur les boites des souches revivifiées, bien agiter (vortex) les tubes puis vérifier la densité cellulaires avec un spectrophotomètre (JASCO et SHIMADZU) à 620 nm.

L'absorbance doit être comprise entre 0,22 et 0,32 pour les bactéries et entre 2 et 3,8 pour les levures, ces deux densités correspondent à une concentration microbienne entre 10^7 et 10^8 germes/ml [19][20].

II.1.5.3. Préparation des dilutions des macéras

Les dilutions des macéras aqueux est réalisées par de l'eau stérile bouillie (15 min) refroidie puis filtrée, alors que celles du macéra huileux sont diluées avec la même huile végétale. Les concentrations suivantes ont été adoptées 25, 50, 75 et 100%.

II.1.5.4. Évaluation de l'activité antimicrobienne par la méthode des puits

Le milieu de culture MH est liquéfié à 95°C, puis refroidi à 45°C. 250µl de la suspension microbienne bien homogénéisée est introduite dans 25 ml de milieu de culture dans des conditions aseptiques, bien mélanger puis le verser dans des boites de pétrie et

laisser refroidir pendant 1h à 4°C. Faire quatre puits de 4 mm de diamètre (revers de la pipette pasteur) puis introduire 50 µl des dilutions de macéra dans chaque puits et incuber à 37°C/24h pour les bactéries et à 25°C/48 à 72h. Les zones d'inhibition sont mesurées en mm grâce à un pied à coulisse [20].

Expression des résultats

Les zones d'inhibition sont classées en quatre groupes comme suit :

Non inhibitrice : $\emptyset < 7\text{mm}$

Légèrement inhibitrice : $7 < \emptyset < 13\text{mm}$

Modérément inhibitrice : $13 < \emptyset < 25\text{mm}$

Fortement inhibitrice : $25 < \emptyset$.

La concentration minimale inhibitrice (CMI) est désignée pour les tests positifs.

III. Résultats et discussions

III.1. Résultats de la morphologie des gousses d'ail

La figure 5 montre la répartition en box plot de la longueur et de la largeur des gousses d'ail échantillonnées. L'étendue des valeurs de la longueur est de 21 à 32,5 mm, avec une moyenne de $28,0 \pm 2,8$ mm, valeur légèrement supérieure à celle donnée par Boumaza et Belal [6] qui avancent pour la même variété un chiffre de $26,0 \pm 3,5$ mm.

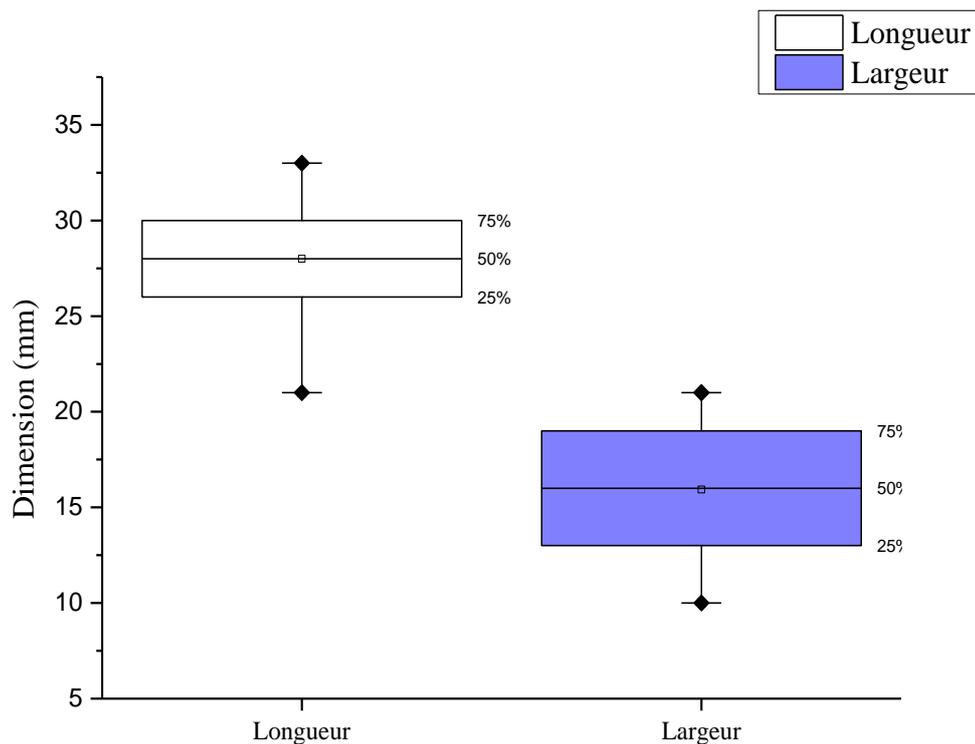


Figure 5: Représentation en box plot des caractéristiques morphologiques de l'ail de Mila

La largeur s'étend quant à elle de 10 à 20 mm avec une moyenne de $15,9 \pm 3,2$ mm contre des valeurs données par ces mêmes auteurs de $21,8 \pm 3,9$ mm.

Les résultats suggèrent que la récolte de l'année en cours a donné des gousses plutôt oblongues qu'arrondies, cas de l'ail de la récolte 2017. Nous constatons que malgré qu'il s'agisse de la même espèce, récoltée dans la même région, la morphologie de l'ail des deux années successives a changée d'une manière remarquable. Ceci indique que chaque récolte est unique et elle dépend beaucoup des conditions pédoclimatiques et surtout des températures pendant les différents stades de développement de la plante [13].

Chapitre III : Résultats et discussion

La représentation en classes sous forme d'histogrammes des résultats des 30 gousses mesurées (Figure 6 et 7) montre que la répartition des longueurs suit une loi normale avec une classe modale entre 26 et 28 mm et une fréquence de 9, ce qui représente 30 % de la population. Pour la largeur on voit clairement sur la figure 7 que le mode est excentré par rapport à la courbe normale, c'est-à-dire par rapport à la moyenne ; ceci indique que la répartition des largeurs est beaucoup moins homogène que celle des longueurs.

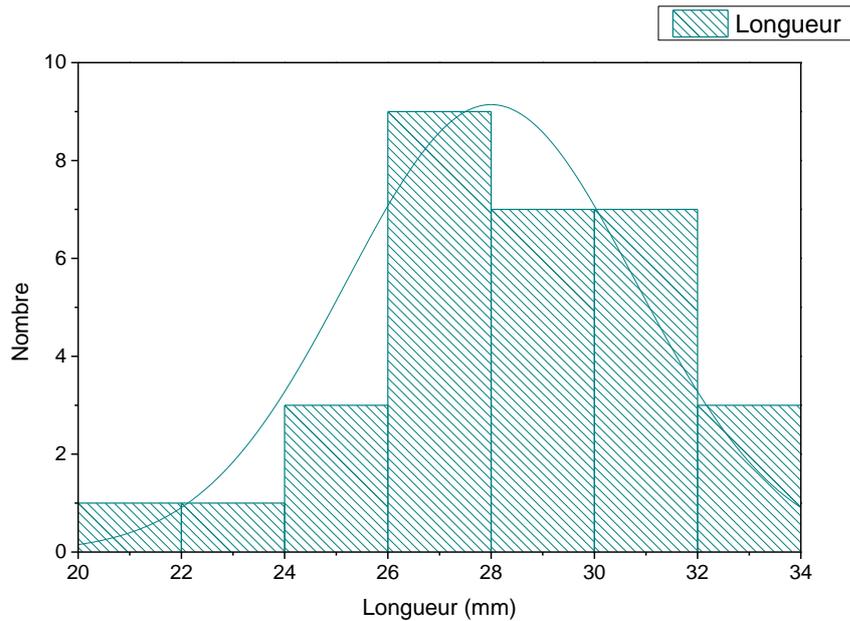


Figure 6: Représentation en histogramme des résultats de la longueur de l'ail

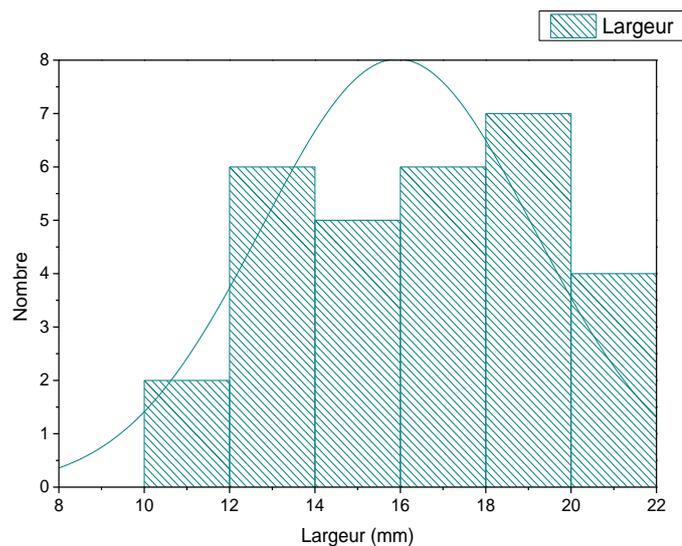


Figure 7: Représentation en histogramme des résultats de la largeur de l'ail

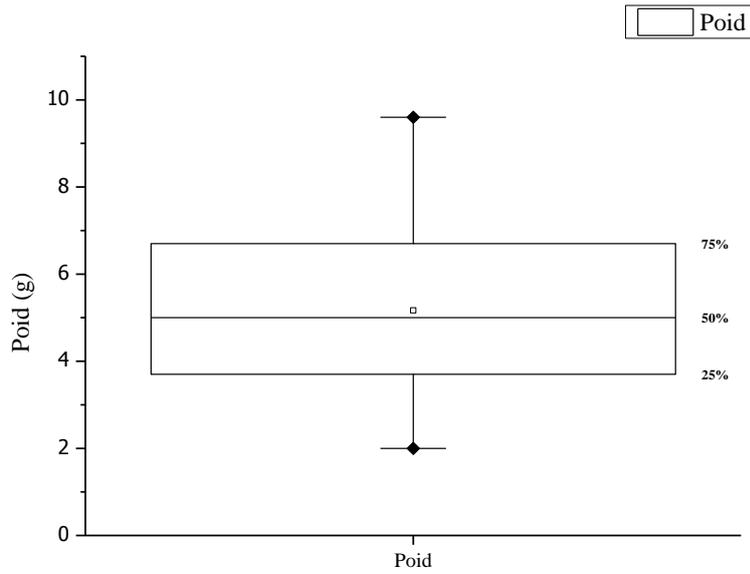


Figure 8: Représentation en box plot du poids de l'ail

L'étendu des poids va de 2 à 10 g avec une moyenne de $5,3 \pm 2,1$ g, cette valeur est supérieure à celles donnée par la littérature concernant l'ail commun d'Asie [1] et l'ail décrit par une synthèse statistique internationale [3] qui avancent une moyenne de 3g par gousse.

La figure 9 montre que le mode est entre 4 et 5 g, et il est décalé par rapport à la courbe normale avec une grande hétérogénéité de la répartition.

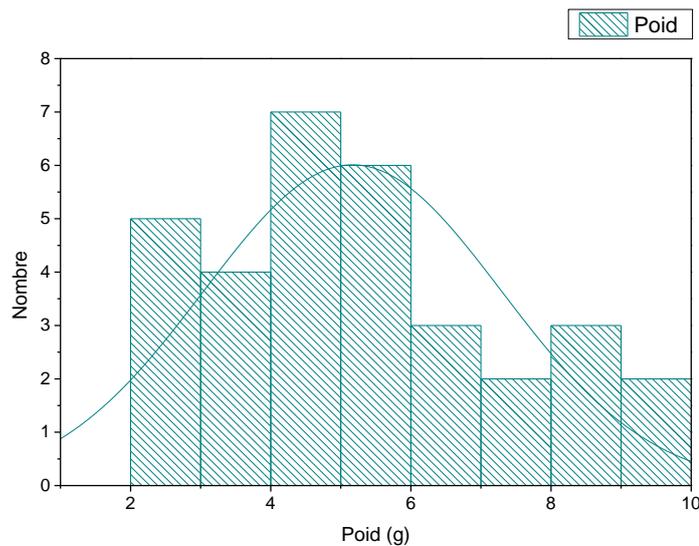


Figure 9: Représentation en histogramme du poids de l'ail

III.2. Résultats de la caractérisation physico-chimique de l'ail

Le tableau 4 montre les résultats de cette section. L'humidité est le critère le plus pertinent pour la conservation des aliments, l'ail analysé présente une valeur de près de 70% c'est-à-dire 30% de matière sèche, une valeur qui concorde avec celles données par Belhadj et Zemouri (2016) [4] et Boumaza et Belal (2017) [6] estimée à $68,87 \pm 0,18\%$ et $69,64 \pm 0,33\%$ respectivement, mais légèrement supérieure aux données plus générale d'autres pays qui avancent une valeur de 64% [3][9].

Le pH de l'ail est neutre et tourne autour de 7, valeur très proche de celle de Boumaza et Belal (2017) avec 6,9.

Tableau 4: Résultats de la caractérisation physico-chimique de l'ail.

Paramètre	Moy \pm écart type (n=3)
Humidité (%)	$69,67 \pm 0,29$
pH	$7,21 \pm 0,15$
MS (%)	30,34
CE (mS/cm)	$2,79 \pm 0,02$
A (% de MS)	2,7

III.3. Cinétique de diffusion des principes actifs de l'ail

La première étape de la modélisation est la linéarisation des courbes CE Vs temps, les figures 10 à 12 montrent l'évolution du paramètre choisi pour l'eau, le lait et l'huile successivement.

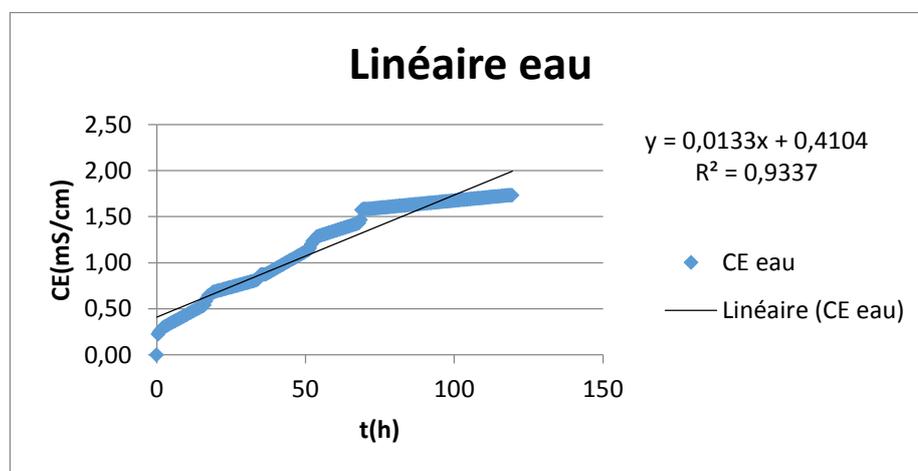


Figure 10: Cinétique de diffusion des composés de l'ail dans l'eau.

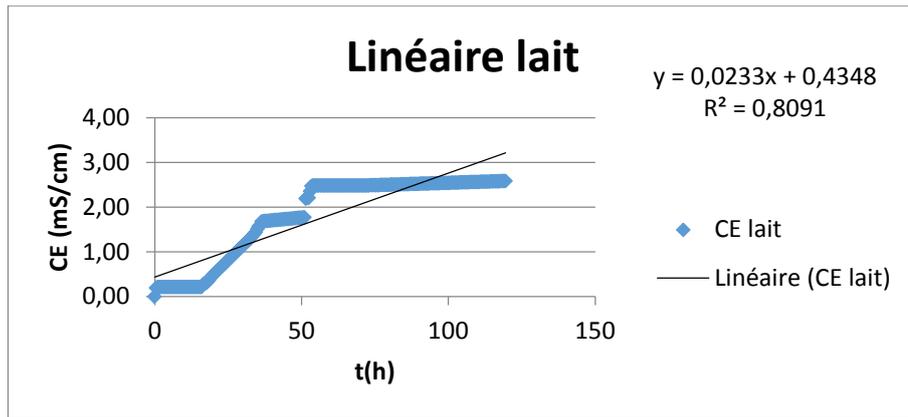


Figure 11: Cinétique de diffusion des composés de l’ail dans l’eau.

Alors que le suivi n’a pas été concluant pour le macéra d’huile, les deux autres milieux ont montré des allures de diffusion exploitables. Le premier constat est une différence de la forme des courbes, celle de l’eau semble évoluer linéairement, alors que celle du lait montre trois phases :

De 0-12h : une phase de latence

De 12 à 53h : une diffusion rapide

De 53 à 120h : un plateau où la diffusion est très faible

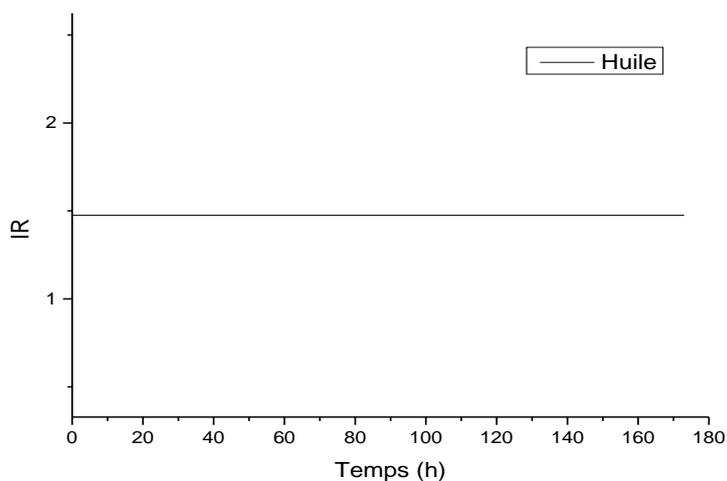


Figure 12: Cinétique de diffusion des composés de l’ail dans l’huile.

Les spectres UV de l'huile figure 13, montre que l'allure avant et après macération n'a pas changée, aussi nous ne pouvons rien avancer à ce stade.

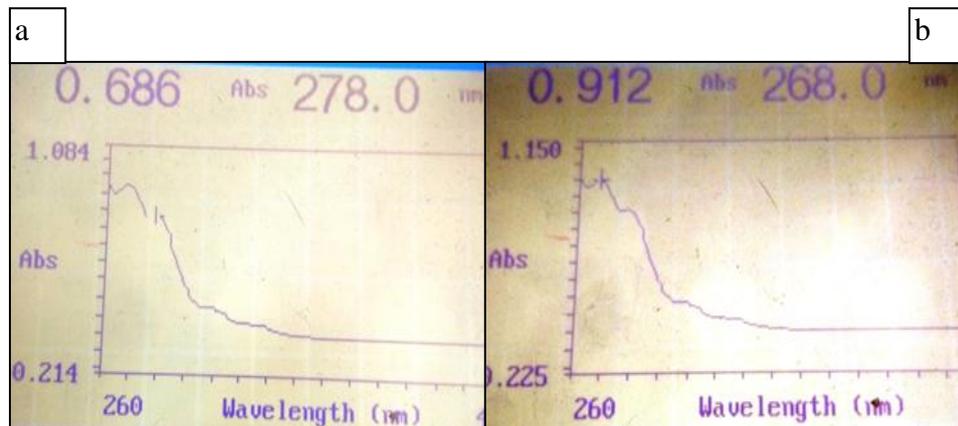


Figure 13: Spectres d'absorption dans l'UV de l'huile avant (a) et après la fin de macération (b).

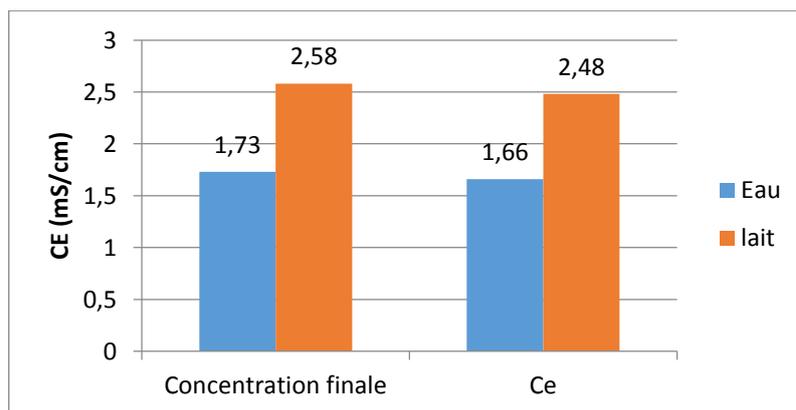


Figure 14: Taux final d'extraction et à l'équilibre des deux matrices eau et lait.

Le meilleur résultat de taux d'extraction (figure 14).est observé pour le lait (150% par rapport à l'eau), malgré la difficulté de démarrage des transferts au départ, ceci peut être en relation avec la nature et la quantité de matières solubles dans le milieu.

Sur les deux courbes cinétiques de l'eau et du lait nous constatons aussi que l'équilibre est atteint au bout de 60h (2,5 jours) pour le lait et 95h (4 jours) pour l'eau avec des taux d'extractions représentant dans les deux cas 96% de la quantité totale extraite.

Chapitre III : Résultats et discussion

Le tableau ci-après donne les valeurs des constantes des modèles appliqués à la modélisation.

Tableau 5: Valeurs des constants des modèles appliqués et statistiques d'adéquation

Modèles	Paramètres	Eau	Lait
Linéaire	a	0,013	0,023
	b	0,410	0,434
	R ²	0,933	0,809
	RMSD	0,1231	1,6008
	E	2,278	63,244
	Reg ²	0,9337	0,900
Logarithmique	a	1,045	1,940
	b	-0,517	-1,368
	R ²	0,857	0,822
	RMSD	0,1763	0,3723
	E	20,802	181,213
	Reg ²	0,8573	0,8227
Peleg	K1	20,54	29,43
	K2	0,399	0,065
	R ²	0,908	0,039
	RMSD	0,0892	0,3734
	E	2,450	12,669
	Reg ²	0,9647	0,8488
Fick	Cs	2,51	15,38
	k	0,0077	1,44.10 ⁻⁴
	R ²	0,908	0,039
	RMSD	1,2865	1,6008
	E	98,692	63,244
	Reg ²	0,0056	0,100
Page	n	1,963	1,117
	k	6,74.10 ⁻⁵	157,7
	R ²	0,624	0,425
	RMSD	0,7617	2,0249
	E	61,608	98,76
	Reg ²	0,8478	0,0178
R ² : coefficient de détermination (après linérisation des valeurs expérimentales)			
Reg ² : coefficient de régression (valeurs expérimentales Vs valeurs prédites par le modèle)			

Le tableau 5 montre clairement que la diffusion dans l'eau suit un modèle linéaire ($y=at+b$) avec un coefficient de détermination le plus élevé (0,933), alors que la diffusion dans le lait est plutôt décrite par le modèle logarithmique (R^2 0,822/ $y=alogt+b$).

Chapitre III : Résultats et discussion

Les constantes « a » (modèle linéaire et Logarithmique) et K2 de Peleg expriment la vitesse de diffusion qui est dans tous les cas supérieure dans le lait par rapport à l'eau.

Et enfin les modèles de Fick et de Page ne sont pas du tout adéquats pour décrire les phénomènes de diffusion observés.

III.4. Résultats de l'activité antimicrobienne

Les essais antimicrobiens sur les trois souches pour les deux macéra eau et huile n'a pas été concluante (tableau 6), ceci peut provenir de :

- La concentration du milieu en principes actifs trop basse pour voir une inhibition,
- La température de fusion du milieu MH : qui se solidifie trop rapidement.
- L'incompatibilité chimique entre l'huile et les principes actifs de l'ail qui sont pour la majorité hydrosolubles.
- Le problème de diffusion des échantillons dans le gel (un temps de diffusion suffisant est nécessaire pour avoir un résultat).

Tableau 6: Diamètres d'inhibition des trois souches sur les trois macéra.

C (%)	Zones d'inhibition en mm								
	Eau			Lait			Huile		
	<i>Candida</i>	<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>	<i>Candida</i>	<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>	<i>Candida</i>	<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>
25	-	-	-	11	-	-	-	-	-
50	-	-	-	16	7	-	-	-	-
75	-	-	-	14	9	-	-	-	-
100	-	-	-	12	13	-	-	-	-
25	-	-	-	10	-	-	-	-	-
50	-	-	-	16	10	-	-	-	-
75	-	-	-	14	7	-	-	-	-
100	-	-	-	13	9	-	-	-	-
25	-	-	-	11	-	-	-	-	-
50	-	-	-	16	-	-	-	-	-
75	-	-	-	14	7	-	-	-	-
100	-	-	-	12	10	-	-	-	-

Des zones d'inhibition ont été observées pour le macéra de lait sur les deux souches *Candida albicans* et *Echerichia coli*, en général l'inhibition est jugée entre légère et modérée pour la première souche (11-16 mm) et juste légère pour la seconde (7-13 mm). Ceci va dans le même sens que l'étude de Coetz et Ghédira (2012) in [12], qui ont fait une étude sur l'effet de l'ail frais sur *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *Echerichia coli* et *Listeria monocytogènes*, avec une inhibition maximale d'*E. coli*. Alors que Benkeblia (2004) in [12] avance des valeurs de zone d'inhibition de 6,3-9,3 mm pour

Chapitre III : Résultats et discussion

Staphylococcus aureus et 8,3-13,1 mm pour *Salmonella enteritidis* après 48h d'inhibition, sur différentes dilutions d'extraits d'huile essentielle d'ail.

La CMI pour *Candida albicans* est de 25% (dilution à 25% de macéra) alors qu'elle est entre 50 et 75% pour *Echerichia coli*.

Conclusion

Dans le présent travail, l'ail étudié possède une morphologie plus oblongue qu'arrondie, de poids nettement supérieur à celui cité dans la littérature.

L'étude physico-chimique de l'ail démontre que la teneur en eau est élevée, de pH pratiquement neutre et une bonne conductivité électrique.

L'étude de la cinétique de diffusion des principes actifs de l'ail dans différents milieux (eau, lait, huile) montre qu'il n'y pas de diffusion dans l'huile, ce qui confirme que l'utilisation de l'huile est à but de conservation plus que de milieu d'extraction.

La diffusion dans l'eau et dans le lait suit des lois différentes, puisque la première est mieux décrite par le modèle linéaire et la deuxième par le modèle logarithmique. La vitesse de diffusion dans le lait était plus importante que dans l'eau, malgré la saturation du milieu en molécules diverses. La concentration d'équilibre représentant 96% de la totalité des molécules diffusées est atteinte au bout de 2,5j pour le lait et 4j pour l'eau, ainsi pour un usage traditionnel il serait inutile de faire des macéras au-delà de cette durée.

Les modèles de Fick et de Page n'étaient pas adéquats pour décrire les phénomènes de diffusion dans les deux médians ; eau et lait.

Les essais de l'activité antimicrobienne sur *Echerichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Candida albicans* montrent que l'inhibition est légère à modérée pour les Candida (11-16 mm) et légère *E. coli* (7-13 mm) dans le macéra de lait, alors qu'aucune activité n'est observée dans l'eau et l'huile.

À partir des CMI, on conclut que *Candida albicans* est beaucoup plus sensible que *Echerichia coli*. Le *Staphylococcus aureus* a montré une résistance aux différents macéras.

Comme perspective de ce travail, des essais supplémentaires devront porter sur :

- L'effet de la température d'extraction.
- Extraction et Identification des molécules extraites par chaque milieu.
- Utiliser d'autres techniques pour les essais antimicrobiens.
- Faire un test in vitro de simulation de la digestion de l'ail au niveau du tube digestif (bouche, estomac et colon)

Références bibliographiques

[1] Profil santé; institut des nutraceutiques et aliments fonctionnels. L'ail un super aliment passeport santé / nutrition / encyclopedie des aliments /<https://www.passeportsante.net>.

[2] Agri-reseau. L'ail–guide de production sous régie biologique édition 2009 ; filière des plantes médicinales biologiques du Québec. <https://www.agrireseau.net>.

[3] Ail cultivé (*Allium sativum*) wikipédia, l'encyclopédie libre.<https://fr.m.wikipedia.org>.

[4] Belhadj Soumia, Zemouri Zineb(2016) étude des caractéristiques physico–chimiques de la pate d'ail à différentes concentrations en sel. Mémoire de master.fsi.umbb.50p.

[5] Sekour Belkacem (2012) Phytoprotection de l'huile d'olive vierge par ajout des plantes vegetales (thym, ail, romarin). Mémoire de magister. Génie alimentaire. FSI. UMBB. 118p.

[6] Boumaza Imane et Belal Safia (2017) Effet du traitement thermique et chimique sur la physico–chimie de la pâte d'ail.Mémoire de master.FSI.UMB.46p.

[7]Memento de l'agronome;CIRAD–GRET ministère des affaires étrangères ; INRA Alger (institut national de la recherche agricol). Édition CEMAGREF, CIRAD, ifremer, INRA www.quae.com.

[8] Elberhard teuscher, Anton robert, Lobsteine Annes-lise. Plantes aromatiques (Epices, aromates, condiments et huiles essentielles). Lavoisier tec&doc.

[9] Jung Severine(2005). Apport des drogues végétales dans la prévention des maladies cardiovasculaire liées à l'hypercholesterolemie. Thèse de doctorat en pharmacie. Fp. Université Henri poincare-nancy1.120p.

[10] L'allicine, antibiotique naturel (2016) santé et science, tradition et innovation / www.sante-tradition-innovation.com2016/07/i-allicine-antibiotique-naturel.html

[11] Ajoene-wikipedia /<https://fr.wikipedia.org/wiki/ajoene>

Bibliographie

[12] Ghsquiere Céline (2016) Les bienfaits de l'ail dans les maladies cardiovasculaires. Thèse de doctorat en pharmacie, université de Picardie Jules verne. UFR de pharmacie.

[13] RDA (Rural development administration) (2015) Garlic vegetable cultivation handbook, KOPIA Algeria center INRA, 32p.

[14] Ghernaout kenza et Farhoum salima (2007) Analyse statistique des fractions minérales de quelques miels algérien. Mémoire de DEUA option : contrôle de qualité. DTA.FSI.UMBB.

[15] Labadie Cécile (2015) Analyse fine et stabilisation des hydrolats. Thèse de doctorat université de Montpellier, spécialité biochimie, chimie et technologie des aliments, INRA « sécurité et qualité des produits d'origine végétale ».

[16] Piochon Marianne (2008) Etude des huiles essentielles d'espèces végétales de la flore laurentienne : composition chimique, activité pharmacologiques et hémi-synthèse. Thèse de doctorat. Université du Québec (Chicoutimi).

[17] Hidous Karima (2017) Effet du profile en acide gras sur la diffusivité des caroténoïdes, cas du lycopène et β carotène de la poudre des pelures de tomate (PPT). Mémoire de master, DTA, option qualité et conservation des aliments, FSI, UMBB.

[18] Mnayer Dima (2014) Eco-extraction des huiles essentielles et des aromes alimentaires en vue d'une application comme agents antioxydants et antimicrobiens. Thèse de doctorat pour le grade de docteur en sciences, spécialité Chimie. Université d'Avignon et des pays de Vaucluse.

[19] Béchar Ghania et Belkacem Messaouda (2014) Extraction par hydrodistillation et l'évaluation de l'activité antimicrobienne et antioxydante des huiles essentielles de l'origan vulgaire (*Origanum vulgare*) et menthe pouliot (*Mentha pulegium*). Mémoire de master en Biologie option biotechnologie microbienne, FS, UMBB.

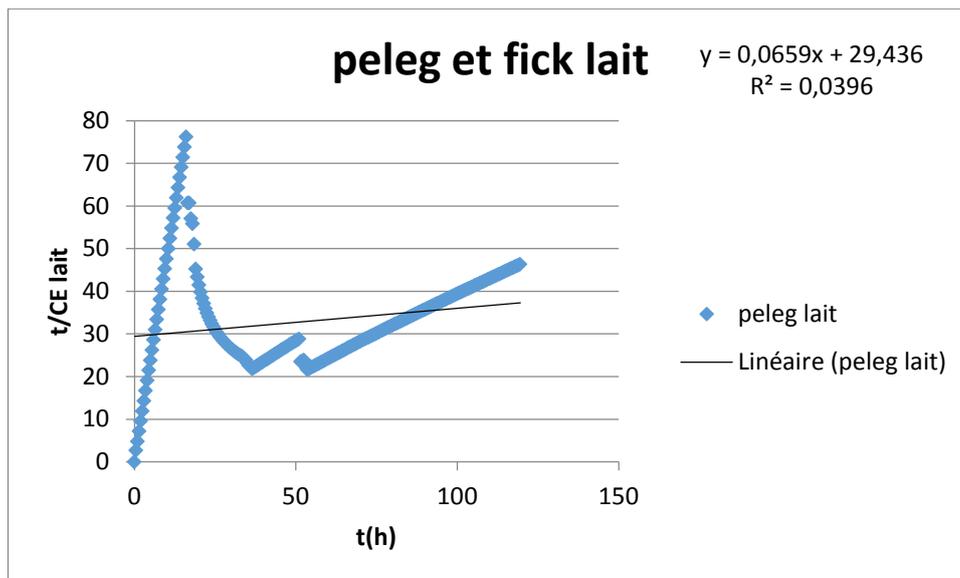
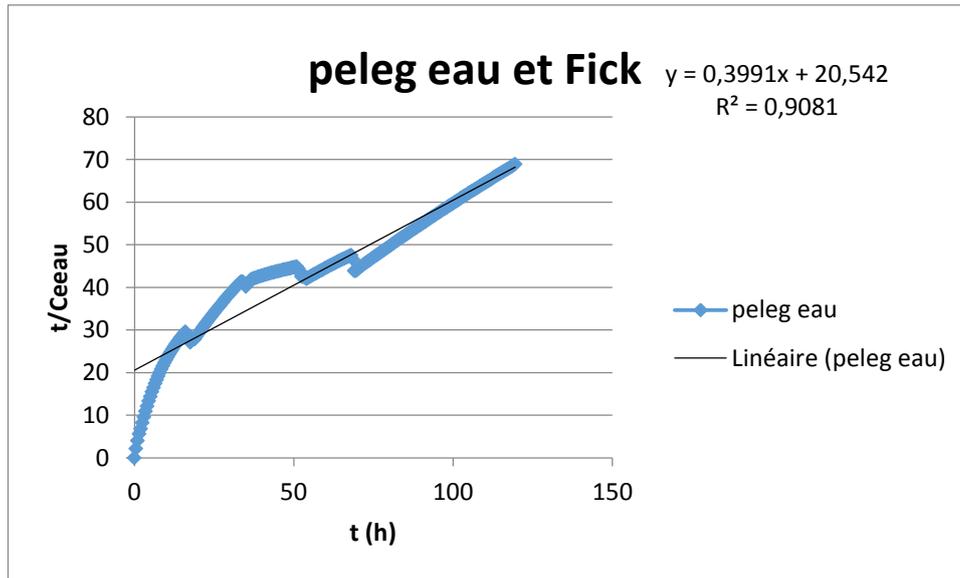
[20] El keria Hadjer et Bougaada Sihem(2013) mesure de l'activité antimicrobienne du miel entier et des fractions de deux espèces des régions semi-arides (Euphorbia et Ziziphus). Mémoire de master en génie des procédés option qualité et conservation des aliments, FSI, UMBB.

Bibliographie

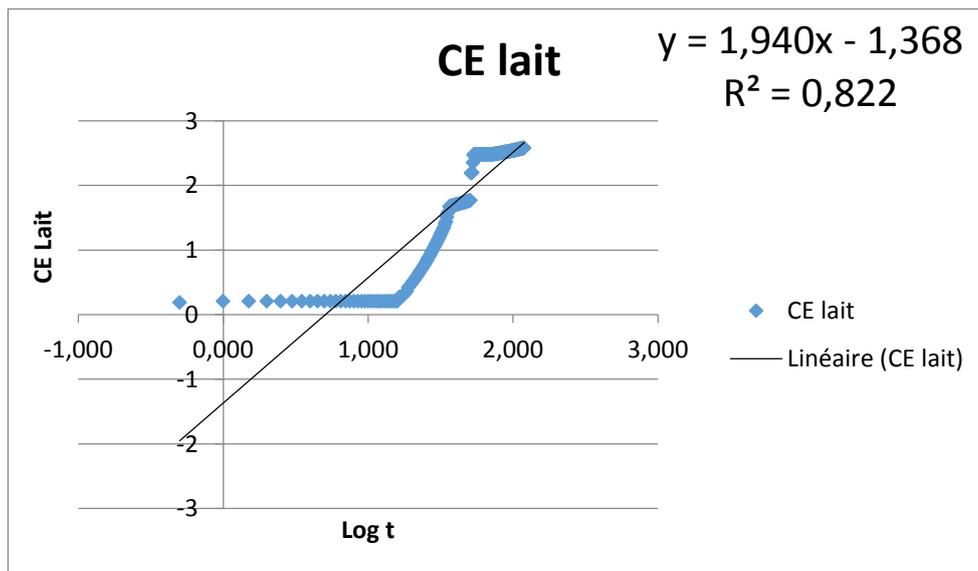
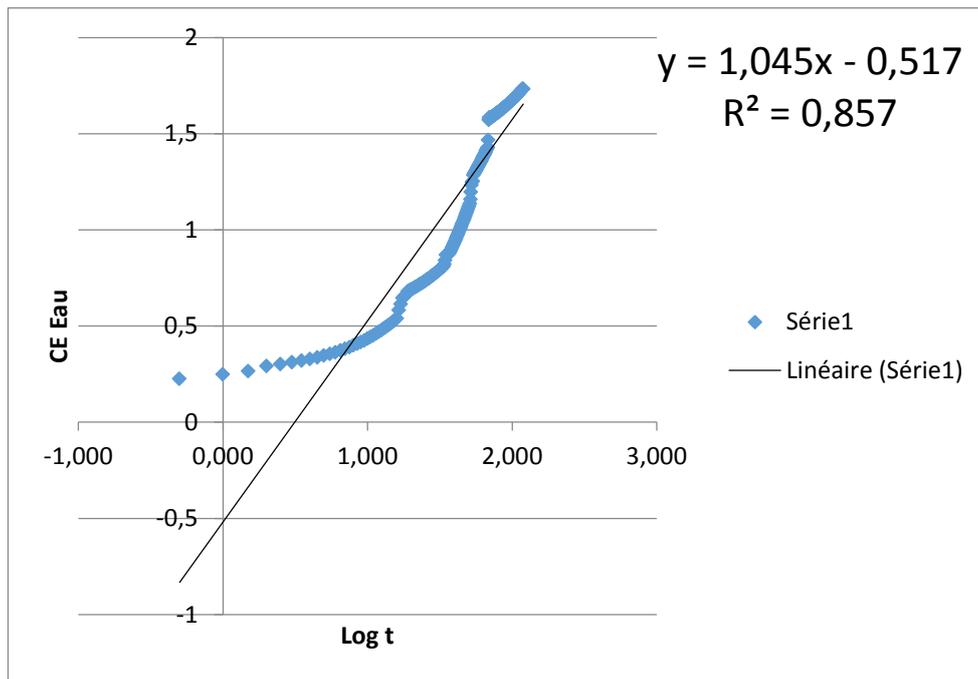
[21] Jokić Stela, Velić darko, Bilić Mate, Bucić-Kojić Ana, Planinić Mirela and Srećko Tomas (2010) Modeling of the process of solid-liquide extraction of total polyphenols from soybeans. Czech journal of food science, vol 28, N° 3: 206-212.

Annexe I

Linéarisation selon le modèle de PELEG et FICK



Linéarisation selon le modèle LOGARITHMIQUE



Linéarisation selon le modèle de PAGE

