



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine 1  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale

قسم : البيولوجيا و علم البيئة النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologies

Spécialité : *Biotechnologie et Génomique Végétales*

**Intitulé :**

---

**Etude de l'activité antifongique des huiles essentielles  
et hydrolats de deux variétés d'Ail (*Allium sativum* L.)  
sur deux champignons affectant le blé  
(*Fusarium* sp. et *Aspergillus niger*)**

---

Présenté et soutenu par : *DJERBOUA Romeissa*

Le : 08/07/2020

**Jury d'évaluation :**

**Présidente du jury :** *BENABDOUN F. M.* (MCB - UFM Constantine 1).

**Encadrante :** *LOUALI Y.* (MCB - UFM Constantine 1).

**Examinatrice :** *BENABDELHAFID Z.* (MCB - ENS Constantine 3).

*Année universitaire  
2019 – 2020*

## **Remerciements**

*Tout d'abord, je tiens à remercier Allah, le Tout Puissant, de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terminer ma formation de master.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance à ma promotrice, madame LOUALI YAMOUNA de m'avoir encadré, aidé et mis à ma disposition le temps pour la réalisation de ce travail.*

*Mes vifs remerciements vont aux membres du jury : Madame BENABDOUN F. M., d'avoir accepté la présidence de jury, par ses conseils éclairés elle ne fera qu'enrichir cette étude. Madame BENABDELHAFID Z., pour avoir accepté de faire partie du jury.*

*Sans oublier de remercier M. DJEKOUN, M<sup>me</sup> YKHLEF et tous les enseignants de la Filière de Biotechnologies et génomique végétale qui ont contribué à notre formation durant notre parcours universitaire.*

*Mes plus sincères remerciements vont à mes parents :*

*Pour mon père, qui a été à mes coté, m'a donné la force et a contribué en grande partie à l'aboutissement de ce travail*

*Et pour ma mère qui m'a toujours encouragé dans la poursuite de mes études, ainsi que pour son aide et compréhension. De plus, je remercie ma sœur ANFEL, mon frère AMINE, ma tante AIDA et mes oncles TOUFIK et SAMIR pour tout leur aide.*

*Je souhaite également présenter mes remerciements les plus chaleureux à l'équipe de l'INATAA, à Madame DJEGHIM FAIROUZ, pour son énorme aide et soutien.*

*À mon enseignante et chère amie SANAH IBTISSEM pour m'avoir fait profiter de ses compétences et orientations, pour la confiance qu'elle m'a accordée, pour ses conseils avisés, le temps consacré à me guider et à répondre à mes interrogations durant toute cette période.*

*Je tiens aussi à remercier :*

*Monsieur ABDEREZAK, REDA et toute l'équipe de la distillerie AROM'EST d'Annaba de m'avoir fourni la chance d'extraire mes huiles essentielles et hydrolats chez eux. Ainsi que l'équipe d'INRAA de Constantine particulièrement madame SIHEM et DJEMAA,*

*Monsieur BOUDERMINE directeur de la station I.T.C.M.I. d'Oum El Bouaghi d'avoir accepté mon accueil et pour son apport remarquable en matière d'information.*

*Madame ABDENNOUR C, pour l'acceptation de la réalisation d'une partie majeure de notre expérimentation au niveau de son laboratoire, Catalyse LAB.*

*Mes vifs remerciements vont aussi à toute l'équipe de la DSA et de la SRPV de Constantine d'avoir fourni les informations nécessaires.*

*A monsieur AIDI NOUREDDINE d'Alger, à toute la faculté SNV, à madame CHERFIA, R et à monsieur SADEK pour l'orientation et les conseils qui ont mis à disposition.*

*Je remercie tous mes collègues et amis pour leur aide durant toute cette période.*

*Merci à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## *Table des matières*

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
<b>Introduction</b> .....	1

### **Revue bibliographique**

#### **Chapitre I : Généralités sur le blé**

I. Origine et classification du blé .....	3
II. Importance de la filière blé en Algérie .....	3
III. Production du blé .....	4
IV. Maladies cryptogamiques du blé.....	6
IV.1. Septoriose .....	7
IV.2. Helminthosporiose.....	7
IV.3. Rouille .....	7
IV.4. Piétin échaudage.....	8
IV.5. Fusariose de l'épi .....	9
V. Méthode de lutte .....	9
V.1. Lutte par des pratiques culturales .....	9
V.2. Lutte génétique .....	9
V.3. Lutte chimique .....	10
V.4. Lutte biologique.....	10

#### **Chapitre II : Généralités sur l'Ail**

I. Origine et répartition géographique de l'Ail.....	11
II. Classification botanique d'Ail .....	11
III. Caractérisation de la plante d'Ail.....	12
III.1. Caractérisation morphologique.....	12
III.2. Caractérisation moléculaire .....	16
IV. Variétés d'Ail.....	16
V. Production d'Ail .....	18
VI. Différents types d'Ail commercialisé .....	20
VII. Utilisations et bienfaits d'Ail.....	21

#### **Chapitre III : Huiles essentielles et hydrolats**

I. Généralités sur les huiles essentielles .....	22
II. Généralités sur les hydrolats.....	24
III. Techniques d'extraction des huiles essentielles et hydrolats .....	25

III.1. Extraction par hydrodistillation .....	25
III.2. Extraction à la vapeur d'eau .....	26
III.3. Extraction par expression à froid .....	27
III.4. Extraction par solvant organique .....	27
IV. Qualité des huiles essentielles et hydrolats .....	27
V. Méthode d'évaluation de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles et hydrolats ...	28
V.1. Techniques d'aromatogramme .....	29
V.2. Technique de diffusion en puits.....	29
V.3. Méthode de dilution.....	29
V.4. Techniques de diffusion en phase vapeur (Technique des micro-atmosphères) .....	29
VI. Marché des huiles essentielles .....	30

## **Matériel et méthodes**

I. Matériel biologique.....	31
II. Méthodologie.....	33
1. Caractérisation morphologique du matériel végétal.....	33
2. Extraction des huiles essentielles et d'hydrolats d'Ail.....	33
3. Analyse physicochimique des huiles essentielles et d'hydrolats .....	36
3.1. Caractérisation organoleptique .....	36
3.2. Indice de réfraction .....	36
3.3. Taux d'humidité et matière volatile.....	37
3.4. Densité relative .....	38
3.5. Indice d'acide.....	38
3.6. pH.....	39
4. Etude de l'activité antifongique des huiles essentielles et d'hydrolats d'Ail.....	40
5. Analyse statistique.....	43

## **Résultats et Discussions**

I. Caractéristiques morphologiques des deux variétés d'Ail étudiées.....	45
II. Rendement en huiles essentielles et hydrolats.....	48
III. Analyse de la matrice de corrélation de (Pearson(n)) entre les paramètres morphologiques quantitatifs et le rendement d'huile et d'hydrolats.....	50
IV. Analyse en composantes principales (ACP) .....	52
V. Caractéristiques physicochimiques des huiles essentielles et hydrolats d'Ail .....	54
VI. Test de l'activité antifongique des huiles essentielles et hydrolats d'Ail sur les deux types de champignons.....	56
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>65</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>65</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Production et superficies récoltées en blé au niveau mondial durant les neuf dernières années. ....	4
Figure 2 : Production et superficies récoltées en blé en Algérie durant la période du 2013 à 2018. ....	5
Figure 3 : Superficies et production du blé au niveau de la wilaya de Constantine dans huit compagnes agricoles de 2011-2012 à 2018-2019. ....	5
Figure 4 : Septoriose sur les feuilles et épis du blé. ....	7
Figure 5 : Rouille jaune des feuilles du blé causé par <i>Puccinia striiformis</i> . ....	8
Figure 6 : Symptômes du piétin échaudage au niveau du pied et des racines. ....	8
Figure 7 : Fusariose sur épis de blé. ....	9
Figure 8 : Principales composantes de la plante d'Ail. ....	13
Figure 9 : Illustrations utilisées pour la description morphologique des bulbes d'Ail. ....	15
Figure 10 : Variétés d'Ail de la sous espèce <i>Allium sativum</i> var. <i>sativum</i> L. ....	17
Figure 11 : Collection variétales au niveau d'ITCMI OEB. ....	18
Figure 12 : Production d'Ail dans le monde durant les années 2009 - 2018. ....	19
Figure 13 : Superficies récoltées et production d'Ail en Algérie durant la période 2013 – 2018. ....	19
Figure 14 : Evolution des superficies et production d'Ail au niveau de la wilaya de Constantine pendant 5 compagnes agricoles de 2014-2015 à 2018-2019. ....	20
Figure 15 : Montage de processus de l'hydrodistillation. ....	26
Figure 16 : Montage de processus d'extraction à la vapeur d'eau. ....	26
Figure 17: Variété rouge locale d'Ail. ....	31
Figure 18 : Variété rouge chinoise d'Ail. ....	32
Figure 19 : Souches fongiques utilisées dans le travail expérimental. ....	32
Figure 20 : Préparation des échantillons pour l'hydrodistillation. ....	34
Figure 21 : Début d'opération d'hydrodistillation au niveau de la distillerie AROM'EST (Annaba). ....	34
Figure 22 : Récupération d'huile essentielle et hydrolat d'Ail (Distillerie AROM'EST). ....	35
Figure 23 : Conservation des huiles essentielles et d'hydrolats obtenues à partir des deux variétés d'Ail. ....	35
Figure 24 : Mesure de l'indice de réfraction de l'huile essentielle d'Ail. ....	37
Figure 25 : Etapes effectuées afin de déterminer le taux d'humidité. ....	38
Figure 26 : Mesure de la densité d'huile essentielle d'Ail avec densimètre électronique. ....	38
Figure 27 : Couleur rose claire observée après titration du mélange contenant l'huile essentielle d'Ail avec KOH alcoolique. ....	39
Figure 28 : Protocole adopté pour étudier l'effet antifongique des huiles essentielles et d'hydrolats d'Ail sur les deux champignons. ....	42
Figure 29 : Méthodologie adoptée afin d'étudier l'effet antifongique des huiles essentielles et d'hydrolats d'Ail sur les deux champignons pathogènes de blé. ....	44
Figure 30 : Principales étapes réalisées lors de l'identification morphologique des deux variétés d'Ail étudiées. ....	45

Figure 31 : Rendement d'huiles essentielles et hydrolats des deux variétés d'Ail. ....	48
Figure 32 : Carte factorielle des paramètres quantitatifs de la variété RL. ....	52
Figure 33 : Carte factorielle des paramètres quantitatifs de la variété RC. ....	53
Figure 34 : Caractérisation organoleptique par observation visuelle de la couleur des huiles essentielle et d'hydrolat des deux variétés d'Ail. ....	54
Figure 35 : Effet de l'huile essentielle d'Ail sur <i>Fusarium</i> sp. ....	58
Figure 36 : Effet de l'huile essentielle d'Ail sur <i>Aspergillus niger</i> . ....	60
Figure 37 : Effet d'hydrolat d'Ail sur <i>Fusarium</i> sp. ....	63
Figure 38 : Effet de l'hydrolat d'Ail sur <i>Aspergillus niger</i> . ....	64

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Fréquence des principales maladies cryptogamiques en Algérie. ....	6
Tableau 2 : Classification botanique de l'Ail selon Cronquist.....	12
Tableau 3 : Classification d'Ail selon les APG III 2009.....	12
Tableau 4 : Description de quelques paramètres utilisés lors d'une caractérisation morphologique des variétés d'Ail. ....	14
Tableau 5 : Variétés d'Ail les plus répandues au monde. ....	17
Tableau 6 : Gammes de concentrations préliminaires des huiles essentielles et hydrolats d'Ail. ....	41
Tableau 7 : Gammes de concentrations finales des huiles essentielles et hydrolats d'Ail.....	41
Tableau 8 : Description des caractéristiques morphologiques quantitatives des deux variétés d'Ail. ....	46
Tableau 9 : Notations descriptives des bulbes et caïeux d'Ail des deux variétés. ....	47
Tableau 10 : Comparaison des résultats du rendement (R%) en huile essentielle avec les autres travaux de recherche. ....	49
Tableau 11 : Matrice de corrélation entre les paramètres morphologiques quantitatifs et les rendements en huile essentielle et hydrolats de la variété RL.....	50
Tableau 12 : Matrice de corrélation entre les paramètres morphologiques quantitatifs et les rendements en huile essentielle et hydrolats de la variété RC. ....	51
Tableau 13 : Caractérisation organoleptique des huiles essentielles et hydrolats des deux variétés d'Ail. ....	54
Tableau 14 : Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles des deux variétés d'Ail. ....	55
Tableau 15 : Résumé des résultats des études évaluant l'effet de l'huile essentielle d'Ail vis-à-vis <i>Fusarium</i> sp. et <i>Aspergillus niger</i> .....	61

## *Liste des abréviations*

- ACP : Analyse en Composantes Principales .
- AFLP : Amplified Fragment-Length Polymorphism.
- AFNOR : Association Française de Normalisation.
- APG : Groupe de Phylogénie des Angiospermes.
- BP : Boîtes de Pétri.
- CMI : Concentration Minimale Inhibitrice.
- CPG : Chromatographie en Phase Gazeuse.
- DSA : Direction des Services Agricoles.
- FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
- GBBV : Génétique, Biochimie et Biotechnologies Végétales.
- HE : Huile Essentielle.
- INATAA : Institut de Nutrition, Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires.
- INPV : Institut National de la Protection des Végétaux.
- INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.
- IPGRI : Institut International des Ressources Phyto Génétiques.
- ISO : Organisation Internationale de Normalisation.
- ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles.
- OCDE : Organisation De Coopération Et De Développement Economiques.
- OEB : Oum El Bouaghi.
- PNDA : Programme National de Développement Agricole.
- PTS : Propyl Propane Thiosulfonate.
- PTSO : Propyl Propane Thiosulfinate.
- RAPD : Random Amplified Polymorphic DNA.
- RC : Rouge Chinoise.
- RL : Rouge Locale.
- SO : Solvant Organique.
- SRPV : Station Régionale de la Protection des Végétaux.
- SSR : Simple Sequence Repeats.
- UPOV : Union de Protection des Obtentions Végétales.

*Résumé*

**Etude de l'activité antifongique des huiles essentielles et hydrolats de deux variétés d'Ail  
(*Allium sativum L.*) sur deux champignons affectant le blé  
(*Fusarium sp.* et *Aspergillus niger*)**

Les huiles essentielles ont des propriétés marquées qui sont appréciées dans de nombreux domaines, notamment le biocontrôle des bio-agresseurs ; en effet, des qualités antimicrobiennes ont été attribuées à l'huile essentielle d'Ail *Allium sativum L.* La présente étude avait pour objectif principal, le test de l'effet antifongique des huiles essentielles (HE) et d'hydrolats extraits à partir de deux variétés d'Ail produites localement à savoir : la rouge locale (RL) et la rouge chinoise (RC) sur deux types de champignons pathogènes pour la culture de blé en Algérie : *Fusarium sp.* et *Aspergillus niger*. Pour atteindre notre objectif, une première étape de caractérisation morphologique a été réalisée. La comparaison statistique a révélé une différence hautement significative ( $p=0,00$ ) au seuil de 5% pour tous les paramètres quantitatifs, cependant, ceux qualitatifs montrent un polymorphisme phénotypique pour certains caractères et pour d'autres aucune différence n'a été observée. Ensuite l'extraction des HE et hydrolats à partir des deux variétés étudiées a été réalisée par hydrodistillation, le rendement enregistré en HE par la variété RC (0,21%) est important par rapport à la RL (0,18%). Tandis que, pour l'hydrolat le rendement le plus élevé a été obtenu par RL (1,69%). D'après les résultats de la recherche des corrélations entre les paramètres morphologiques quantitatifs et les rendements en HE et hydrolats, il ressort que le poids de bulbe est corrélé fortement et significativement au rendement ( $P<0,05$ ) pour les deux variétés. Alors que, les autres paramètres morphologiques sont faiblement corrélés. L'analyse en composantes principales entre ces paramètres morphologiques et les rendements. Pour la variété RL : le poids de bulbe et le nombre de caïeux présentent une corrélation avec le rendement en HE et hydrolat. Le poids de caïeu, diamètre et nombre de bulbe ne montre aucune corrélation. Pour la variété RC : le poids de bulbe, de caïeu et le diamètre présentent une corrélation avec le rendement en HE et hydrolat. Quant au nombre de caïeux et de bulbe ne montrent aucune corrélation. L'étude statistique des résultats de l'analyse physico-chimiques des HE et hydrolats d'Ail montrent une différence très significative ( $p=0,00$ ) pour la plupart des paramètres mesurés, tels que : l'analyse organoleptique, les tests d'indices d'acide... alors que, pour l'indice de réfraction et le pH aucune différence significative n'a été constatée. Enfin, les résultats de l'activité antifongique après analyse statistique entre les deux HE contre les deux souches fongiques étudiées, ont montré que les HE ont un effet inhibiteur dont il varie en fonction de la concentration et non pas en fonction de la variété. La présence de différence significative entre l'effet antifongique des HE a été observé aux concentrations :  $3\mu\text{l}/15\text{ml}$  avec la souche fongique *Fusarium sp.* et  $10\mu\text{l}/15\text{ml}$  pour *Aspergillus niger*. Ainsi que la comparaison entre l'effet des hydrolats, nous a permis de constater qu'ils ont aussi des activités antifongiques mais à des concentrations plus élevées que celle des HE. *Aspergillus niger* est la moisissure la plus sensible à l'hydrolat. Quant à l'espèce *Fusarium sp.* elle s'est révélée résistante.

**Mots clés :** Huile essentielle, Hydrolat, *Allium sativum L.*, *Triticum*, *Fusarium sp.*, *Aspergillus niger*.

**Study of the antifungal activity of essential oils and hydrosols of two varieties of  
Garlic (*Allium sativum* L.) on two fungi affecting wheat  
(*Fusarium* sp. and *Aspergillus niger*).**

Essential oils have marked properties that are valued in many areas including the biocontrol of bio-aggressors; indeed, antimicrobial qualities have been attributed to garlic essential oil. The main objective of this study, was to test the antifungal effect of essential oils (EO) and hydrosols extracted from two varieties of garlic *Allium sativum* L produced locally, namely local red variety (RL) and Chinese one (RC), applied on two types of pathogenic fungi for wheat in Algeria: *Fusarium* sp. and *Aspergillus niger*. To reach our objective, a first step of morphological characterization was carried out. The statistical comparison revealed a highly significant difference ( $p=0,00$ ) at the 5% threshold for all quantitative parameters, however, the qualitative ones show a phenotypic polymorphism for some traits and for others no difference was marked. Then the extraction of EO and hydrosols from the two varieties studied was carried out by hydro distillation, the yield recorded in EO by the variety RC (0.21%) is significant compared to the RL one (0.18%). While for hydrosol the highest yield was recorded by RL (1.69%). From the results of the search for correlation between quantitative morphological parameters and yields of EO and hydrosols, it appears that bulb weight is strongly and significantly correlated with yield ( $P<0,05$ ) for both varieties. Whereas, the others morphological parameters are weakly correlated. Principal component analysis between these morphological parameters and yields. For the variety RL: bulb weight and number of cloves correlate with the yield in EO and hydrosol. Cloves weight, diameter and number of bulbs show no correlation. For the variety RC : bulb weight, bulb diameter and clove weight correlate with the yield of EO and hydrosol. As for the number of bulbs and cloves, show no correlation. The statistical study of the results of physico-chemical analysis of the EO and hydrosols of Garlic show a very significant difference ( $P = 0, 00$ ) for most of the parameters measured, such as: organoleptic analysis, acid index tests... whereas for the refractive index and pH no significant difference was found. Finally, the results of the antifungal activity after statistical analysis between the two EOs against the two fungal strains studied, showed that EOs have an inhibitory effect which varies according to the concentration and not according to the variety. The presence of a significant difference between the antifungal effect of the EO was observed at concentrations:  $3\mu\text{l}/15\text{ml}$  with the fungal strain *Fusarium* sp. and  $10\mu\text{l}/15\text{ml}$  for *Aspergillus niger*. As well as comparison between the effect of hydrosols, we found that they also have antifungal activities but at higher concentrations than that of EO. *Aspergillus niger* is the most sensitive to hydrosols. As for *Fusarium* sp., it has proven to be resistant.

**Keywords:** Essential oil, Hydrosol, *Allium sativum* L. *Triticum*, *Fusarium* sp. *Aspergillus niger*.

دراسة النشاط المضاد للفطريات للزيوت الأساسية والهيدرولا لصنفين من الثوم  
(*Allium sativum L.*) على نوعين من الفطريات المضرّة بنبات القمح في الجزائر، ألا وهما:  
*Aspergillus niger* و *Fusarium sp.*

تتميز الزيوت الأساسية بخصائص ملحوظة تحظى بالتقدير في العديد من المجالات بما في ذلك التحكم البيولوجي للمعتدين الحيويين؛ في الواقع، تم إرجاع الصفات المضادة للميكروبات إلى زيت الثوم الأساسي. يهدف هذا البحث إلى دراسة مدى تأثير النشاط المضاد للفطريات للزيوت الأساسية والهيدرولا المستخرج من فصيلتين مختلفتين من نبات الثوم *Allium sativum L.* المنتج محليا: الثوم الحمراء المحلية والثوم الحمراء الصينية على نوعين من الفطريات المضرّة بنبات القمح في الجزائر، ألا وهما *Aspergillus niger* و *Fusarium sp.* للوصول إلى الأهداف المسطرة في البحث، قمنا بمرحلة أولية تتمثل في وصف مرفولوجي لنبات الثوم، الدراسة الإحصائية أثبتت وجود اختلاف واضح ( $p=0,00$ ) عند عتبة 5% بين الفصيلتين من حيث العوامل الكمية، غير أن النوعية منها أظهرت وجود تنوع شكلي في بعض الخصائص وغياب ذلك في العوامل الأخرى. بعد ذلك قمنا باستخراج كل من الزيوت الأساسية والهيدرولا من الفصيلتين محل الدراسة بطريقة التقطير. حيث تم ملاحظة أن كمية الزيوت الأساسية المستخرجة من الفصيلة الصينية 0.21% أكبر من قرينتها 0.18%، أما بالنسبة للهيدرولا فقد سجل أكبر مردود عند الفصيلة المحلية (1.69%). في نقطة أخرى، أثبتت نتائج البحث عن الارتباطات بين مختلف الخصائص الشكلية الكمية والمردود من الزيوت الأساسية والهيدرولا، أن وزن رأس الثوم مرتبط إيجابيا بقوة مع المردود ( $P<0,05$ ) بالنسبة للفصيلتين، في حين ترتبط باقي الخصائص الشكلية ارتباطا ضعيفا مع المردود. كشف التحليل الإحصائي للمكونات الرئيسية أنه فيما يخص الفصيلة المحلية، وزن رأس الثوم وعدد الفصوص يرتبط إيجابيا بالمردود المتحصل عليه، في حين وزن الفص، قطر الرأس ووزنه لم تظهر أي ارتباط. أما فيما يخص الفصيلة الصينية، فإن وزن الرأس وقطره ووزن الفص مرتبطا بالمردود، في حين عدد الرؤوس أو الفصوص لم تظهر أي ارتباط. أظهرت الدراسة الإحصائية لنتائج التحليل الفيزيائي والكيميائي للزيوت الأساسية والهيدرولا اختلافا كبيرا ( $P<0,00$ ) في أغلب العوامل المقاسة مثل: التحليل الحسي، مؤشر الحمض... غير أن مؤشر الانكسار و pH لم تظهر أي اختلاف. أخيرا، فقد كشفت الدراسة الإحصائية أن الزيوت الأساسية والهيدرولا، تملك نشاط مضاد للفطريات متعلق بالتركيز المستعمل وليس له علاقة بنوع الفصيلة. حيث لوحظ وجود فرق لفعالية الزيت الأساسي في التركيز 3مكل/15 مل بالنسبة لـ *Fusarium sp.* وفي التركيز 10 مكل/15 مل بالنسبة لـ *Aspergillus niger*. مقارنة تأثير الهيدرولا، أثبتت لنا وجود نشاط المضاد للفطريات لكن بتراكيز مرتفعة، *Aspergillus niger* هو الفطر الأكثر حساسية للهيدرولا بالمقارنة مع الفطر *Fusarium sp.* الذي أظهر مقاومة أكبر.

الكلمات المفتاحية: زيت الأساسي، هيدرولا، *Allium sativum L.*، *Fusarium sp.*، *Aspergillus niger*.

# *Introduction*

Les céréales ne cessent d'être au centre des préoccupations des gouvernements, nationaux et internationaux, elles constituent l'aliment de base des populations à travers le monde notamment pour les pays en voie de développement, comme l'Algérie. Cependant, la culture du blé est exposée à de nombreux ennemis et ravageurs. Plusieurs foyers de maladies cryptogamiques continuent à être décelés par le réseau de surveillance de l'Institut National de la Protection des Végétaux (INPV), dans la majorité des Wilayas céréalières du Centre, de l'Est et de l'Ouest Algérien. Ces maladies fongiques particulièrement : les septorioses, la tache auréolée, la rouille ainsi que la fusariose (INPV, 2018), affectent le rendement des cultures ainsi que leur qualité sanitaire. Au niveau mondial, un taux moyen de 42,54% de la production céréalières est perdue, due pratiquement aux maladies, ainsi, qu'en Algérie, environ 30% de la production agricole est perdue sous l'effet des agents nuisibles (Feddaoui et Bouchelaghem, 2018).

Afin de préserver ces cultures, une protection contre ces ravageurs est rendue nécessaire, dont la méthode la plus courante est assurée par le biais de pesticides. Ce qui a engendré en Algérie, une augmentation de la facture d'importation de ce produit, dont le montant en 2017 est estimé de 104 055 214\$ (FAO, 2017) (plus de 100 millions dollars) l'équivalent de plus de 1 billion de centime, pour une utilisation de 5983.19 tonnes pour la même année. Alors que, les pesticides de synthèse utilisés sont susceptibles d'être nuisible à l'homme, aux animaux et à l'environnement (Aprifel, 2004). Afin de créer une alternative pour la lutte biologique, plusieurs chercheurs ont remplacé les pesticides de synthèse par des préparations à base de bactéries, de virus, des algues ou de végétaux... qui sont des substances biologiques biodégradables et sans effets secondaires sur l'environnement (Al-Alam, 2017 ; Meksem, 2018 ; Lokbani, 2018).

Dans un autre créneau, plusieurs études ont été réalisées pour étudier les effets antibactériens et antifongiques *in vitro* des huiles essentielles de la plante d'Ail (*Allium sativum* L.) (Benmeddour *et al.*, 2015 ; Üstüner *et al.*, 2018 ; Krzyśko-Łupicka *et al.*, 2020). Ces liquides volatiles qui peuvent être accumulés dans toutes les parties d'organes végétaux avec des propriétés marquées : antiseptique, désintoxiquantes, revitalisantes... l'Ail est considéré comme une culture maraichère qui a connues récemment un développement considérable de la production nationale (DSA, 2017 ; ITCMI, 2017). Selon les statistiques les plus récentes de la FAO, l'Algérie est classée la 15<sup>ème</sup> productrice mondiale d'Ail durant la campagne 2016/2017 avec une production estimée de 123 730 tonnes, ce chiffre a été doublé durant la campagne 2017/2018 et a atteint 202 201 tonnes. Devant cette hausse de production, il est nécessaire de se doter d'infrastructures autant de stockage que de transformation.

Il a été affirmé en Octobre 2019 que la filière d'Ail est arrivée à l'autosuffisance cette année et à même connue une surproduction, donc pourquoi pas se doter d'infrastructures spécialisés pour la transformation de l'excès d'Ail en bio pesticide, et de valoriser les huiles essentielles afin de lutter contre les maladies cryptogamiques de blé et au même temps de réduire la facture d'importation de pesticides ainsi que tester l'effet antifongique des hydrolats d'Ail ?

Dans ce contexte, et afin de poursuivre notre travail bibliographique de licence qui a visé l'étude de l'Ail (*Allium sativum L.*), ainsi les méthodes de sa conservation et l'extraction de ses molécules actives, nous avons tracé pour ce travail de master un objectif principal :

- L'étude de l'effet antifongique des huiles essentielles et d'hydrolats de deux variétés d'Ail sur deux types de pathogènes de la culture de blé à savoir : *Aspergillus niger* et *Fusarium sp.*

D'autres objectifs secondaires ont été tracés :

- La caractérisation morphologique de deux variétés d'Ail, *Allium sativum L.* produites localement à savoir : la rouge locale et la rouge chinoise.
- Extraction des huiles essentielles et hydrolats à partir des deux variétés d'Ail.
- Analyse physicochimique des huiles essentielles et d'hydrolats.

De ce fait, notre document sera présenté comme suit :

- Revue bibliographique, dans laquelle, nous allons développer trois chapitres essentiels, le premier portant sur les informations des principales maladies cryptogamique du blé. Le deuxième volet, concernant les données de l'Ail, et enfin des généralités sur les huiles essentielles, les hydrolats et les méthodes d'extraction et d'évaluation des activités antimicrobiennes seront détaillés dans le troisième chapitre.
- Etude expérimentale, dans laquelle nous allons présenter la méthodologie et les différentes techniques adoptées pour la réalisation de ce travail, tout en discutant les résultats obtenus avant de conclure et présenter les éventuelles perspectives.

*Revue*

*bibliographique*

## Chapitre I : Généralités sur le blé

### I. Origine et classification du blé

Les premiers indices d'une agriculture apparaissent il y a 11000 ans, au moyen- orient, dans le « croissant fertile », c'est là que les premiers agriculteurs ont commencé à cultiver les blés que leurs ancêtres récoltaient dans la nature. Les blés ont après diffusé hors de leur centre d'origine (Azoui, 2015). Le blé est une monocotylédone de la famille des *Poaceae* appartenant au genre *Triticum*. Cette plante annuelle produit un fruit sec indéhiscant, le caryopse. Le blé tendre (*T. aestivum*) est constitué de trois génomes possédants chacun 7 paires de chromosomes, soit 42 chromosomes au total avec une structure génomique hexaploïde (AA BB DD) et le blé dur (*T. durum*) une structure tétraploïde (AA BB) (Feillet, 2000 ; Abdelaziz, 2019). Ces deux espèces sont les plus cultivées dans le monde (Abdelaziz, 2019). Selon la Direction des Services Agricoles (DSA) de Constantine (2020), les principales variétés produites en Algérie sont :

- Blé dur : GTA DUR, Cirta, Waha, Simeto, Vitron, BD 17, Wahbi, Core, Ciccio Bousselem, Cannizzo et Maghres.
- Blé tendre : HD 1220, As, Arz, Anapo, Hidab, Anforeta et Akhamokh.

### II. Importance de la filière blé en Algérie

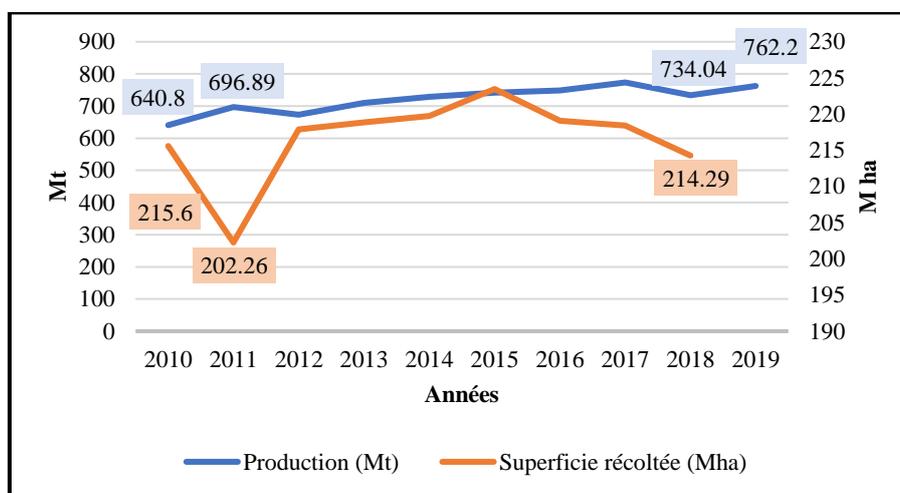
Les cultures dominantes en Algérie sont de nature annuelle et concernent principalement les grandes cultures telles que les céréales, les fourrages, légumineuses alimentaires et pommes de terre (Bonjean *et al.*, 2016). La filière céréales et dérivés constitue une des bases importantes de l'agro-alimentaire et dans l'économie nationale, ce qui résulte, notamment, de la place prépondérante qu'occupent ces dernières et leurs dérivés dans l'alimentation humaine, notamment la semoule (couscous et pâtes) et la farine (pain), comme dans l'alimentation animale (sons et farines basses) (Kherch Medjden et Bouchafaa, 2012).

La consommation de céréales représente 25% des dépenses alimentaires et 230 kg/an d'équivalent-grains. L'importance de la consommation fait du blé un produit stratégique du point de vue de la sécurité alimentaire, ce qui justifie les efforts considérables de l'état pour augmenter la production locale, à travers le programme national de développement agricole (PNDA) lancé au début des années 2000. Les céréales occupent 35% des terres arables (près de 3 millions d'ha cultivés par près de 600 000 producteurs (Rastoin et Benabderrazik, 2014), pour une production de 3,98 millions de tonnes en 2018 (FAO, 2018).

### III. Production du blé

#### III.1. Au niveau mondial

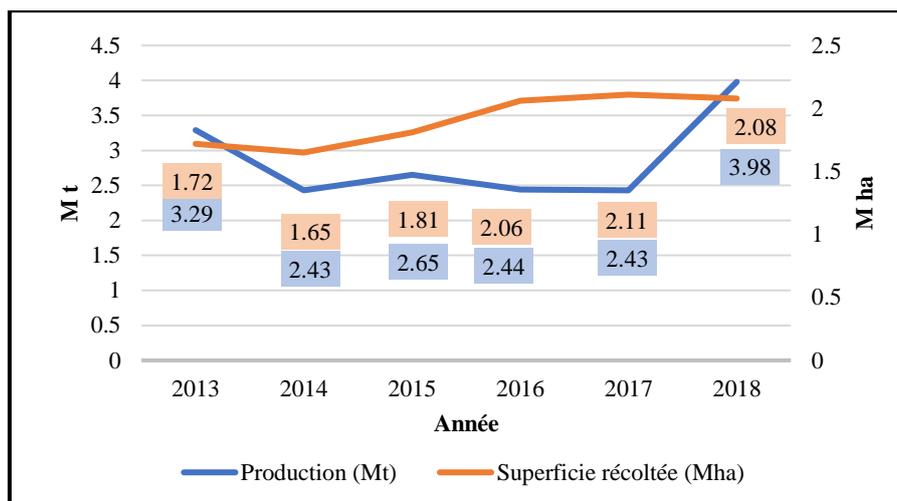
Selon les statistiques les plus récentes de la FAO (2020), la production mondiale du blé a connu une nette augmentation de la production dès l'année 2010. Cette croissance persistera dans le temps jusqu'à 2019 (**figure 1**) où on a enregistré plus de 762 millions de tonnes. Ceci est dû à l'amélioration des techniques culturales d'où une croissance constante des rendements à l'hectare plutôt qu'une augmentation des surfaces récoltées en blé, qui ont connu des variations où on a noté une baisse remarquable en 2011 avec 202 millions d'hectare.



**Figure 1** : Production et superficies récoltées en blé au niveau mondial durant les neuf dernières années (2010 jusqu'à 2019) (FAO, 2020).

#### III.2. Au niveau national

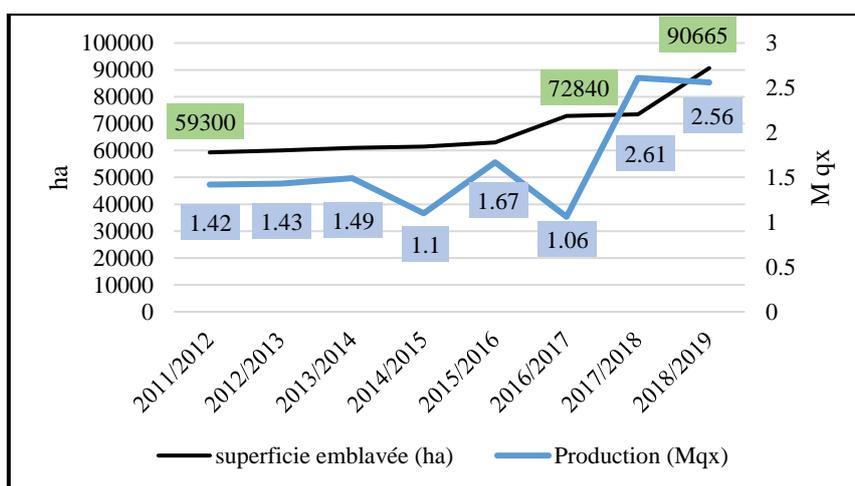
Les superficies récoltées de blé en Algérie selon la FAO (2020), en enregistrée une hausse sensible de 2013 à 2019, contrairement aux fluctuations de la production durant cette même durée. Où la plus faible valeur enregistrée en 2014 et en 2017 est égale à 2.43 millions de tonne, et la plus grande valeur noté est presque de quatre millions de tonne en 2018 (**figure 2**) avec un pourcentage de 13.6% de la production africaine.



**Figure 2 :** Production et superficies récoltées en blé en Algérie durant la période du 2013 à 2018 (FAO, 2018).

### III.3. Au niveau régional

La Wilaya de Constantine contribue avec un pourcentage significatif de la production nationale des céréales et notamment en blé avec ces communes Ain Abid, Ben badis, El Khroub et Ouled Rahmoune. Les superficies emblavées sur différentes compagnes ainsi que la production du blé (dur et tendre) sont représentées dans la **figure 3**, où on note une nette augmentation des superficies cependant que la production est en fluctuation d’une année à une autre.



**Figure 3 :** Superficies et production du blé au niveau de la wilaya de Constantine dans huit campagnes agricoles de 2011-2012 à 2018-2019 (DSA de Constantine, 2020).

#### IV. Maladies cryptogamiques du blé

Le blé est souvent sujet à de nombreux aléas de l'environnement et suivi par une multitude de stress abiotiques (sel, sécheresse, température...) que biotiques (champignons, bactéries, virus, ravageurs...), qui peuvent être les causes principales amputables à l'amélioration du blé (Abdelaziz, 2019).

Les maladies affectant les céréales peuvent être regroupées selon le symptôme qu'elles induisent et les parties affectées de la plante (Lacroix, 2002) :

- Maladies causant des symptômes localisés sur les feuilles (taches foliaires) ;
- Maladies causant des symptômes systémiques sur le feuillage (faible croissance, anomalie de coloration et dépérissement du feuillage) ;
- Maladies causant des symptômes sur les épis et les grains ;
- Maladies causant des pourritures racinaires.

Les genres les plus importants de point de vue économique sont les *Aspergillus*, les *Penicillium* et les *Fusarium* qui représentent les contaminants principalement dans les céréales, mais aussi dans de nombreux autres produits végétaux (Tabuc, 2007).

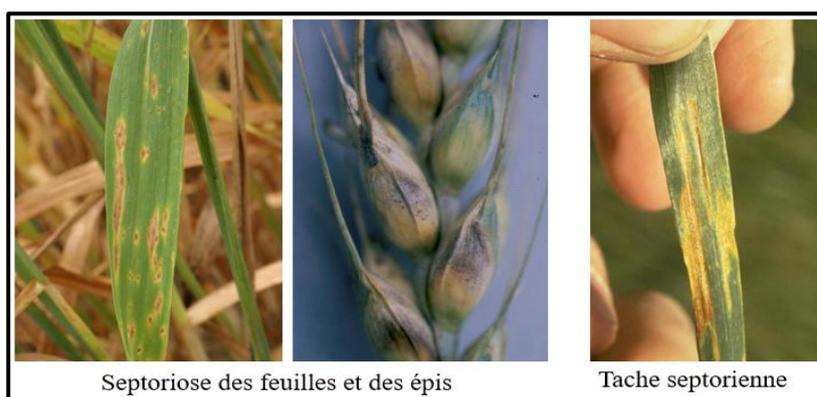
Selon la Station Régionale de la Protection des Végétaux (SRPV) de Constantine (2019) la fréquence des maladies en Algérie est représentée dans le **tableau 1**.

**Tableau 1:** Fréquence des principales maladies cryptogamiques en Algérie (SRPV de Constantine, 2019).

Maladie	Nom scientifique	(%)
Septoriose	<i>Septoria tritici</i>	10-70
Helminthosporiose	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>	5-70
Rouille brune	<i>Puccinia recondita</i>	5-60
Piétin échaudage	<i>Gaeumannomyces graminis</i>	2-20
Fusariose de l'épi	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>Fusarium culmorum</i>	1-7
Rouille jaune	<i>Puccinia striiformis</i>	1-10
Oïdium	<i>Blumeria graminis</i> f.sp. <i>tritici</i>	2-20
Piétin verse	<i>Tapesia yallundae</i> , <i>T. acuformis</i>	1-6

### IV.1. Septoriose

Deux espèces de septoriose s'attaquent au blé, à savoir la tache septorienne et la septoriose des feuilles et des épis (**figure 4**). Le pathogène *Septoria tritici*, responsable de la septoriose des feuilles, connue sous le nom de la tache septorienne, et *Septoria nodorum* responsable de septoriose des feuilles et des épis. Les attaques sont surtout observées dans les zones humides. C'est surtout la septoriose des feuilles qui est la plus abondante sur les blés. Les pertes de rendement peuvent aller jusqu'à 40 % (Abdi, 2015).



**Figure 4** : Septoriose sur les feuilles et épis du blé (SRPV de Constantine, 2019).

### IV.2. Helminthosporiose

La maladie se manifeste d'abord sur les feuilles du bas. Les taches sont elliptiques, brun, pouvant être bordées d'un halo jaune. La présence de petites nécroses de couleur brun foncé au centre des taches chlorotiques est un critère distinctif des lésions de *Pyrenophora tritici-repentis*. Les températures optimales pour l'infection se situent entre 18 et 28°C. La sporulation au niveau des taches foliaires est favorisée par des conditions humides (Attab, 2015).

### IV.3. Rouille

Des pustules orangées apparaissent sur les feuilles et les tiges. Ces pustules sont constituées de spores (urédospores). À la fin de la saison de croissance, ces pustules deviennent noires étant donné la formation de spores connues sous le nom de téléospores. Diverses rouilles sont présentes sur les blés (Lacroix, 2002) :

- Rouille noire, rouille des tiges (*Puccinia graminis*) ;
- Rouille des feuilles, rouille brune (*Puccinia recondita*);
- Rouille jaune *Puccinia striiformis* (**figure 5**).



**Figure 5 :** Rouille jaune des feuilles du blé causé par *Puccinia striiformis* (SRPV de Constantine, 2019).

#### **IV.4. Piétin échaudage**

Le piétin échaudage provoqué par le champignon *Gaeumannomyces graminis*, est une maladie des racines qui peut provoquer un échaudage des plantes en fin de saison (**figure 6**). La maladie se conserve surtout dans les sols (De proft et Duvivier, 2012) cultivés en blé et orge, plus particulièrement sur les parcelles de monoculture. Cette maladie est favorisée par les conditions humides du sol. Le parasite peut attaquer les racines dès la germination. Après ce stade, sa présence entraîne un arrêt de la montée de la sève brute et il s'ensuit une nécrose des racines, du pied et des tiges qui deviennent fragiles. Ces premiers symptômes sur les racines sont difficiles à identifier sur les plantes en début d'attaque. Pendant la phase végétative, un début de décoloration des feuilles qui tend au jaune et la présence de plantes chétives sont les premiers signes de la maladie (Abdi, 2015). À partir de la floraison, les signes de contamination deviennent visibles sur les épis qui devient blanc, desséchés et vides, des racines nécrosées et atrophiées et une base de tige noir (SRVP, 2019).



**Figure 6 :** Symptômes du piétin échaudage au niveau du pied et des racines (SRPV de Constantine, 2019).

#### IV.5. Fusariose de l'épi

Selon l'équipe Productions Végétales de la Chambre d'Agriculture des Deux Sèvres Siège (2013), la fusariose des épis est provoquée par un complexe composé de *Fusarium* (produisant des mycotoxines) et *Microdochium* (ne produisant pas de mycotoxines). Les épillets échaudés sont roses orangés par groupe, pouvant aller de quelques grains à l'épi complet selon l'intensité de la maladie. Un seul épi par plante peut être atteint, ce qui permet de la différencier du piétin échaudage où toute la plante est touchée. La fusariose se caractérise par une nécrose au niveau des épillets entraînant par la suite un échaudage de l'épi (**figure 7**).



**Figure 7** : Fusariose sur épis de blé (Equipe productions végétales, 2013).

#### V. Méthode de lutte

La lutte contre les maladies cryptogamiques du blé vise à minimiser et retarder le développement des maladies, où il y a plusieurs stratégies de lutte comprenant :

##### V.1. Lutte par des pratiques culturales

Il s'agit d'une incorporation rapide et soigneuse des résidus de récolte suivie d'un travail du sol pour détruire les repousses des céréales et réduire le taux d'inoculum dans le champ (Attab, 2015). C'est une pratique d'une rotation des cultures, une rotation avec une plante non-graminée est importante pour lutter contre la fonte des semis, le piétin échaudage et le piétin fusarien. La survie du champignon du piétin échaudage est reconnue pour être favorisée par des teneurs élevées en azote (Lacroix, 2002).

##### V.2. Lutte génétique

L'utilisation de cultivars résistants et peu sensibles aide à diminuer la progression d'une maladie dans un champ (Lacroix, 2002), cette résistance soit naturelle ou par modification

génétique. En effet, Cao *et al.* (2011) montrent que l'insertion du gène Pm21 (Powdery mildew 21) a augmenté la résistance à l'oïdium chez les variétés de blé génétiquement modifiées. De même, les résultats des recherches de Brunner *et al.*, (2012) confirment que l'utilisation du gène de résistance Pm3b (Powdery mildew 3b) a significativement amélioré la résistance à l'oïdium des variétés de blé génétiquement transformées, à la fois avec l'infection naturelle ou après inoculation artificielle et cela comparativement à leur lignées sœurs non transformées (Attab, 2015).

### **V.3. Lutte chimique**

Des fongicides sont utilisés pour lutter contre certaines maladies. Selon la gravité de la maladie, le producteur devra évaluer s'il est économiquement rentable de traiter en cas d'infections graves. L'utilisation de semences certifiées évite l'introduction de champignons phytopathogènes dans un champ. Les traitements de semences avec un fongicide peuvent limiter l'infection des plantules par les champignons responsables de pourriture (Lacroix, 2002). Les catégories de fongicides les plus classiquement utilisés sont les inhibiteurs de la biosynthèse des stérols (IBS) comme les triazoles et les inhibiteurs de la synthèse des acides nucléiques (Attab, 2015). En effet, certains fongicides agissent sur le système énergétique des cellules fongiques en inhibant les processus respiratoires. D'autres agissent sur la synthèse des constituants du champignon. Des substances ont encore pour but de désorganiser les cellules et leurs divisions au sein des tissus fongiques. Un classement de ces matières actives consiste à distinguer plusieurs catégories suivant leur pénétration dans la plante et leur fonction chimique (Rocher, 2004).

### **V.4. Lutte biologique**

La lutte biologique peut être définie comme étant l'introduction d'un ennemi naturel à un ravageur/pathogène donné pour réduire les dommages causés par ce dernier. Les ennemis naturels ainsi que les ravageurs/pathogènes sont de plusieurs natures : plantes, insectes, nématodes, champignons, bactéries, virus, etc. Un bio pesticide est composé d'un organisme vivant (Plante, nématode, bactérie, champignon ou virus) ou d'un produit dérivé de cet organisme, qui est utilisé pour supprimer ou réprimer un pathogène. Plusieurs bio pesticides ont pour principes actifs des microorganismes antagonistes (Benmehidi et Boukaabache, 2018).

## Chapitre II : Généralités sur l'Ail

### I. Origine et répartition géographique de l'Ail

L'Ail est l'une des plus anciennes plantes cultivées, on considère qu'il est originaire d'Asie centrale (Kazakhstan, Ouzbékistan et ouest de la Chine). Cela a été confirmé par des analyses phylogénétiques basées sur des marqueurs moléculaires et biochimiques, qui indiquent également un centre secondaire de diversité dans le Caucase (Région frontière entre l'Europe et l'Asie) (Grubben et Denton, 2004).

Il y a environ 10 000 ans l'Ail s'est répandu en Chine, au Proche-Orient et dans les régions méditerranéennes avant son introduction vers l'Ouest en Europe centrale et méridionale, en Afrique du Nord (Égypte) et au Mexique. Aujourd'hui, la culture de l'Ail est répartie dans la plupart des régions du monde tempéré (Pacurar et Krejci, 2010).

Son ancêtre possible semble être : *Allium longicuspis*, qui croît encore dans les steppes sauvages en Afghanistan et en Iran. L'Ail cultivé, *A. sativum* ne dérive pas directement des espèces sauvages, mais plutôt d'une très lente évolution génétique issue d'un travail de sélection par l'homme (Filière des plantes médicinales biologiques du Québec, 2010).

### II. Classification botanique d'Ail

L'Ail cultivé (*Allium sativum* L.) est une plante bulbeuse, vivace (Denis, 2010) du genre *Allium*, l'un des plus grands genres de monocotylédones avec plus de 900 espèces (Ekşi *et al.*, 2020), dont le terme *Allium* découlerait d'ailleurs d'un mot celtique décrivant les propriétés de l'Ail : âcre et brûlant (Minker, 2012). Sa formule chromosomique est  $2n = 16$  (Grubben et Denton, 2004).

De récentes révisions taxonomiques placent les plantes du genre *Allium* dans la famille des *Alliacées*, tandis que, dans certaines classifications plus anciennes il était inclus dans la famille des *Liliacées*. Mais le Groupe de Phylogénie des Angiospermes (APG III) a réévalué la position taxonomique de ce genre et finalement a été placé dans la famille des *Amaryllidacées* (Minker, 2012 ; Ekşi *et al.*, 2020).

La classification botanique de l'Ail selon le système d'Arthur Cronquist et les APG III sont représentées ci-dessous dans les **tableaux 2 et 3** respectivement.

**Tableau 2:** Classification botanique de l'Ail selon Cronquist (Ghesquiere, 2016).

Règne	<i>Plantae</i>
Sous règne	<i>Trachéobionta</i> (Végétaux vasculaires)
Embranchement	<i>Magnoliophyta</i> (Spermaphytes)
Sous embranchement	<i>Magnoliophytina</i> (Angiospermes)
Classe	<i>Liliopsida</i>
Sous classe	<i>Liliidae</i>
Ordre	<i>Liliales</i>
Famille	<i>Liliaceae</i>
Genre	<i>Allium</i>
Espèce	<i>Allium sativum L</i>

**Tableau 3 :** Classification d'Ail selon les APG III 2009 (Colin, 2016).

	Angiospermes
Clade	Monocotylédones
Ordre	<i>Aspargales</i>
Famille	<i>Amaryllidaceae</i>
Sous famille	<i>Allioideae</i>
Genre	<i>Allium</i>
Espèce	<i>Allium sativum</i>

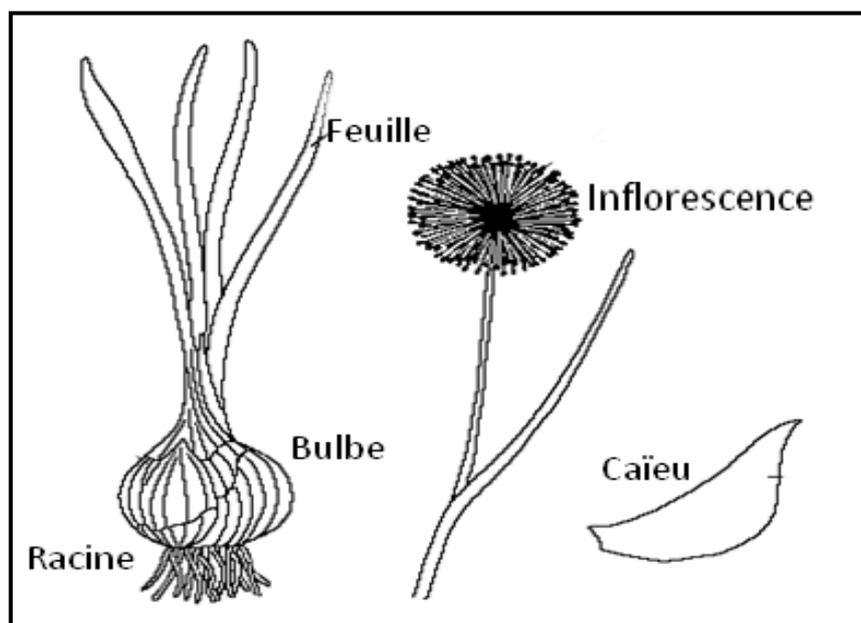
### III. Caractérisation de la plante d'Ail

#### III.1. Caractérisation morphologique

Il y a différents niveaux pour observer et décrire le matériel végétal : le niveau morphologique, biochimique et moléculaire. Quant à l'observation morphologique, c'est la base de description du matériel végétal, elle est simple et facile à pratiquer, mais elle peut manquer parfois de plus en plus de précision (Boukeria, 2016).

L'Ail est défini comme une plante herbacée et potagère (Denis, 2010). C'est une herbe dressée, robuste et pérenne, qui peut atteindre 60 cm de hauteur, avec un bulbe central (Gambogou *et al.*, 2019) qui est un organe de réserve souterrain représentant la partie consommée. Ce bulbe est constitué d'un seul ou plusieurs caïeux (gousses) (Rombi et Robert, 2015) enfermées dans une peau semblable (tunique).

Les feuilles sont longues, plates et lisses ; La hampe florale est située au centre du bulbe, formant un cylindre plein, terminée par une inflorescence qui est une ombelle souvent composée à la fois de fleurs (blanches ou rose-violacées) et de bulbilles (Aityoussef, 2006). Les principales parties de la plante d'Ail sont montrées dans la **figure 8** :



**Figure 8** : Principales composantes de la plante d'Ail (Ghesquiere, 2016).

L'Ail a été décrit comme une espèce stérile ou comme une plante apomictique obligatoire typique, se propageant de manière asexuée, au moyen de gousses ou de bulbilles (De Andrade Júnior *et al.*, 2019).

Avec l'existence d'une grande diversité de souches d'Ail, il est très difficile de généraliser leur physiologie, leur adaptation climatique et leur morphologie (Denis, 2010). On s'en tient donc pour leur description et leur regroupement à des critères fournis par le descripteur de l'Union de Protection des Obtentions Végétales (UPOV, 2001) pour l'espèce *Allium sativum* et du descripteur du genre *Allium* par l'Institut International des Ressources Phyto Génétiques (IPGRI, 2001) montrés dans les illustrations suivantes (**tableau 4 et figure 9**) :

**Tableau 4** : Description de quelques paramètres utilisés lors d'une caractérisation morphologique des variétés d'Ail (UPOV, 2001 ; IPGRI, 2001).

Paramètres	Notation
<b>Nombre de bulbe par kg</b>	Le nombre de bulbe est déterminé pour huit échantillons d'un même kg.
<b>Poids du bulbe</b>	À partir d'un échantillon représentatif de chaque kilo.
<b>Taille du bulbe</b>	Grande - Moyenne - Petite.
<b>Forme du bulbe en section longitudinale (figure 9)</b>	Elliptique étroite transverse - Elliptique large transverse – Arrondie.
<b>Forme du bulbe en section transversale</b>	Elliptique - Arrondie.
<b>Diamètre du bulbe</b>	Mesuré à l'aide d'une règle.
<b>Position des caïeux à l'extrémité supérieure du bulbe (figure 9)</b>	Insérée - Au même niveau – Extérieure.
<b>Position du plateau racinaire du bulbe</b>	Déprimée - Plane - En saillie.
<b>Forme de la base du bulbe (figure 9)</b>	Déprimée - Plate – Arrondie.
<b>Couleur de fond des tuniques des bulbes externes sèches</b>	Blanc - Blanc jaunâtre - Blanc rougeâtre.
<b>Striures anthocyaniques sur la tunique externe sèche du bulbe</b>	Absentes - Présentes.
<b>Épaisseur des tuniques externes sèches</b>	Minces - Moyennes - Épaisses.
<b>Nombre de caïeux par bulbe</b>	À partir d'un bulbe, le nombre de caïeux est déterminé par bulbe.
<b>Poids d'un caïeu</b>	À partir d'un échantillon représentatif d'un bulbe de chaque kilo.
<b>Distribution des caïeux (figure 9)</b>	Rayonnante - Non rayonnante.
<b>Caïeux externes (figure 9)</b>	Absentes - Présentes.
<b>Taille des caïeux</b>	Grande - Moyenne - Petite.
<b>Couleur de la tunique des caïeux</b>	Blanche - Crème - Rose - Violette - Brune.
<b>Striures anthocyaniques de la tunique des caïeux</b>	Absentes - Présentes.
<b>Couleur de la chair</b>	Blanche - Jaunâtre.

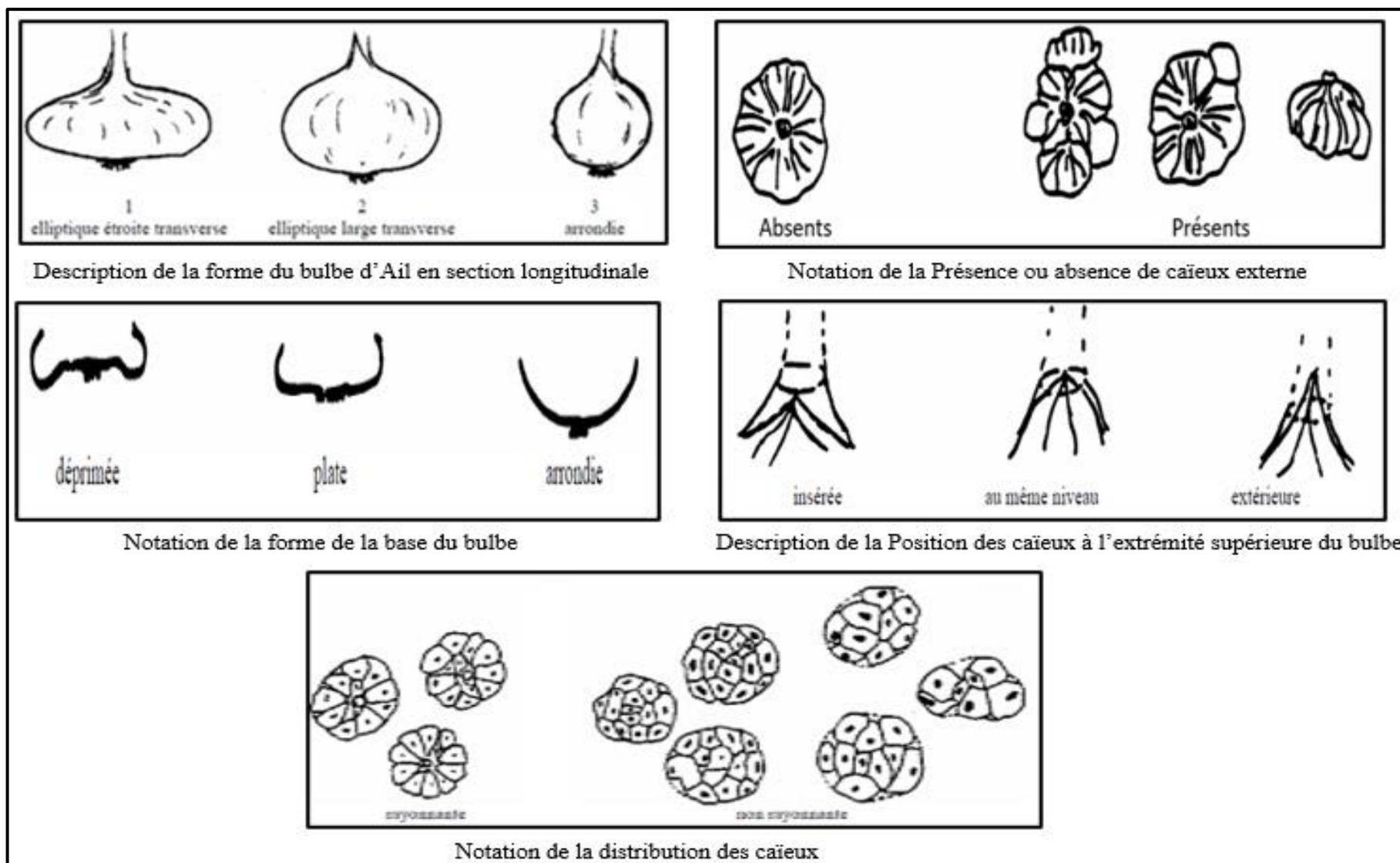


Figure 9 : Illustrations utilisées pour la description morphologique des bulbes d'Ail (UPOV, 2001).

### III.2. Caractérisation moléculaire

Comme les descriptions basées sur les caractéristiques anatomiques et morphologiques sont incomplètes et qu'elles peuvent être affectées par des facteurs environnementaux. Il est nécessaire d'évaluer et de caractériser la diversité génétique disponible de l'Ail par le polymorphisme de molécules telles que les isozymes et l'ADN peut être utilisé pour caractériser le gémoplasme (Génome) des plantes, pour les isozymes, le principal inconvénient est le faible nombre de systèmes enzymatiques disponibles dans l'Ail. En outre, ces marqueurs peuvent subir des modifications induites par le stade de développement du matériel végétal analysé et par l'environnement (Eddy, 2012).

L'utilisation de marqueurs basés sur l'ADN sont meilleurs et indispensable pour la constitution de collections. D'autre part, pour détecter les entrées doubles dans les collections. De plus, ils peuvent être utilisés pour la détection des variantes soma clonales générées par la culture *in vivo*, pour la détermination des clones fertiles (Eddy, 2012). Ces marqueurs ne sont pas spécifiques aux tissus et peuvent être détectés à n'importe quel stade de développement. Les marqueurs d'ADN tels que les RAPD, AFLP et les SSR ont été d'une grande utilité pour diverses études sur l'Ail par plusieurs chercheurs (Wang *et al.*, 2016).

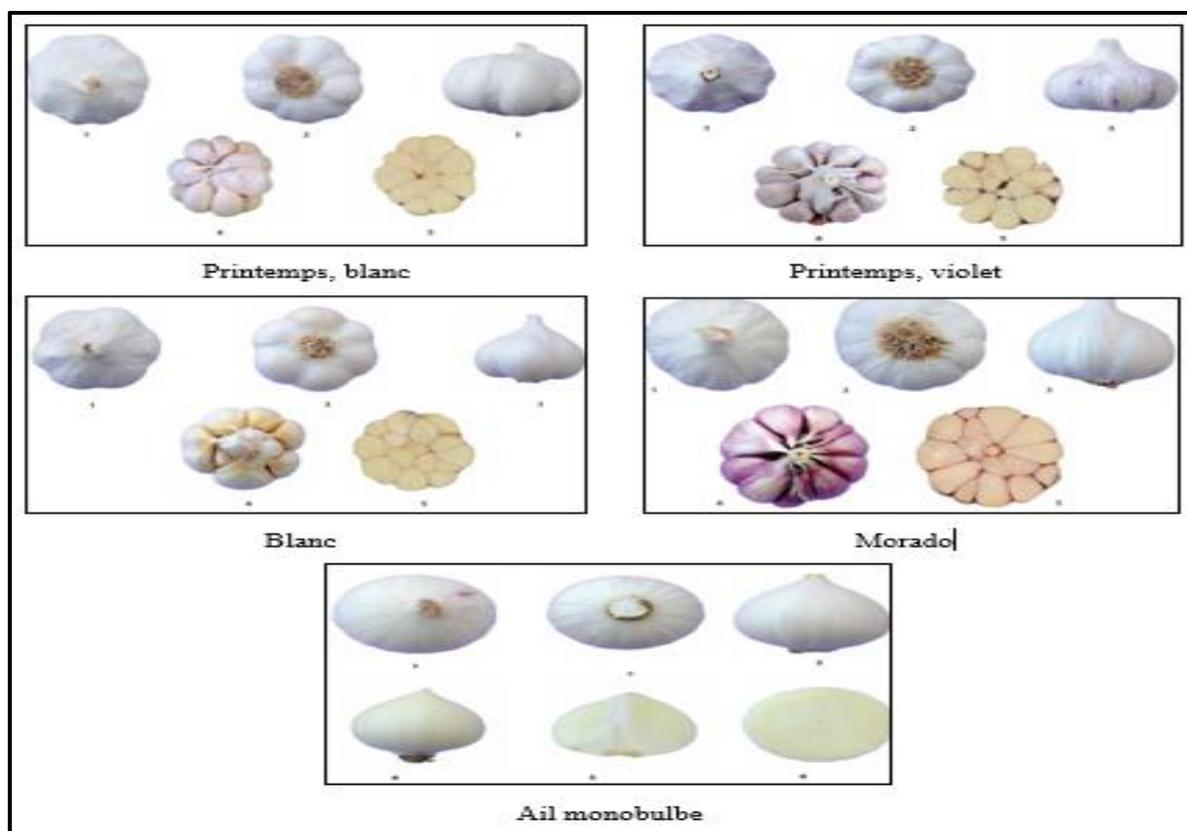
## IV. Variétés d'Ail

La classification botanique disponible actuellement regroupe les variétés d'Ail cultivé en deux sous-espèces : *A. sativum var. ophioscorodon*, (Ail à tige dure) et *A. sativum var. sativum*, (Ail à tige molle) et chaque espèce d'*Allium* se décline en plusieurs variétés. De nombreuses études portant ne précisent pas quelle sous-espèce est utilisée, mais on suppose que l'action chimique et biologique est similaire (Alam *et al.*, 2016).

**a. Au niveau mondial :** Selon l'Organisation De Coopération Et De Développement Economiques (OCDE) (2017) des Normes Internationales Pour Les Fruits Et Légumes, Aulx, elle vise des variétés issues de la sous espèce *Allium sativum var. sativum L.* (Ail à tige molle) qui est la plus courante et qui font l'objet d'une classification commerciale, en fonction de la couleur du bulbe et des caïeux, et couvre environ 95% de la production mondiale et qui sont montré dans le **tableau 5** et illustré par la **figure 10**.

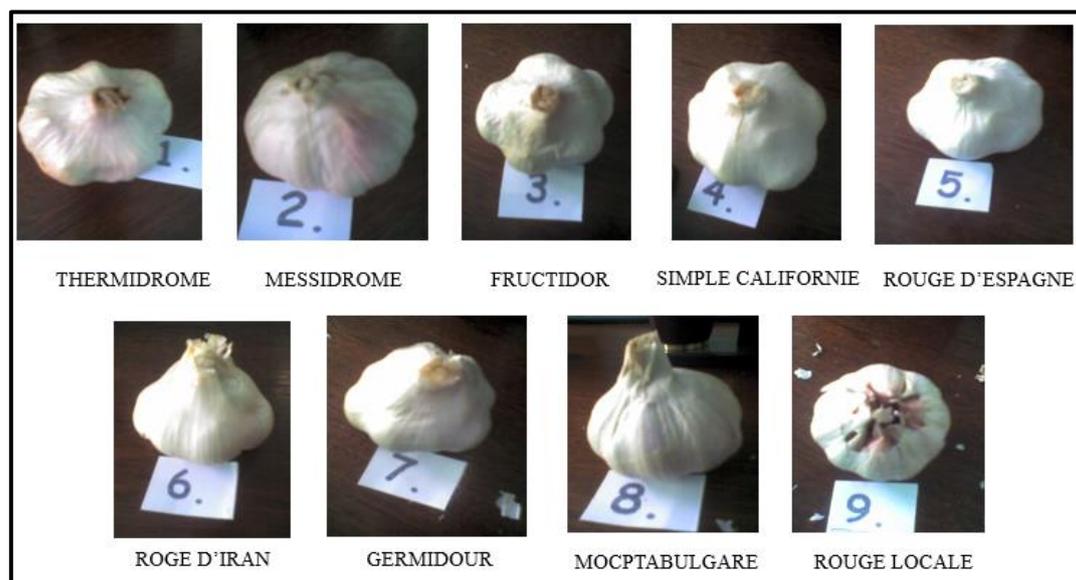
**Tableau 5** : Variétés d'Ail les plus répandus au monde (OCDE, 2017).

Type d'Ail	Description
1. Printemps, blanc	Variétés à bâton (hampe florale) dont la membrane extérieure du bulbe et des caïeux est de couleur blanche. Type précoce, avec un calibre compris entre 50 et 70 mm.
2. Printemps, violet	Variétés à bâton dont la membrane extérieure du bulbe présente des stries violacées (anthocyane) et celle des caïeux a une couleur rouge brun. Type précoce. Un calibre moyen 50 et 70 mm.
3. Blanc	Variétés sans bâton dont la membrane extérieure du bulbe de couleur blanche peut présenter des stries violacées, celle des caïeux est de couleur crème. La répartition des caïeux dans le bulbe est asymétrique. Type de mi-saison, de calibre 50 et 70 mm.
4. Morado	Variétés à bâton. La membrane extérieure du bulbe est de couleur blanche tandis que celle des caïeux est de couleur rouge. La répartition des caïeux dans le bulbe est radiale. Le calibre moyen du bulbe est compris entre 45 et 55 mm. Type tardif.
5. Ail monobulbe	Type sans bâton, aussi dénommé «Ail solo» ou «Ail à gousse unique». La membrane extérieure du bulbe est de couleur blanche et peut présenter des stries violacées. Le calibre moyen du bulbe est compris entre 35 et 45 mm

**Figure 10** : Variétés d'Ail de la sous espèce *Allium sativum* var. *sativum* L (OCDE, 2017).

**b. Au niveau national** : Lors de notre visite à l'institut technique des cultures maraichères et industrielles (ITCMI) d'Oum El Bouaghi (OEB) (2019) nous avons collecté les informations suivantes : les variétés d'Ail cultivés en Algérie actuellement sont diversifiées : La variété Rouge locale (RL) de l'est ; de Aougrou à Adrar ; de Ténès et d'OEB. Il existe aussi la variété rose de Kabylie, Rouge chinoise (RC) striées et RC non striés, variété Blanche de chine et enfin la Blanche locale d'Oued Souf qui a été introduite de la Tunisie.

Cependant parmi ces variétés, seule la RL de l'Est, la RC strié et en petite quantité la blanche chinoise sont commercialisées à grande échelle, tandis que les autres sont produites sur de petites superficies. Ces variétés sont quasiment toutes non identifiées. D'autre part la station ITCMI OEB veille sur une collection de neuf variétés pour leur sélection et multiplication (**figure 11**). Tandis qu'au niveau régional, deux variétés sont les plus cultivés et commercialisés, sont la RL et RC striés (ITCMI, 2019).

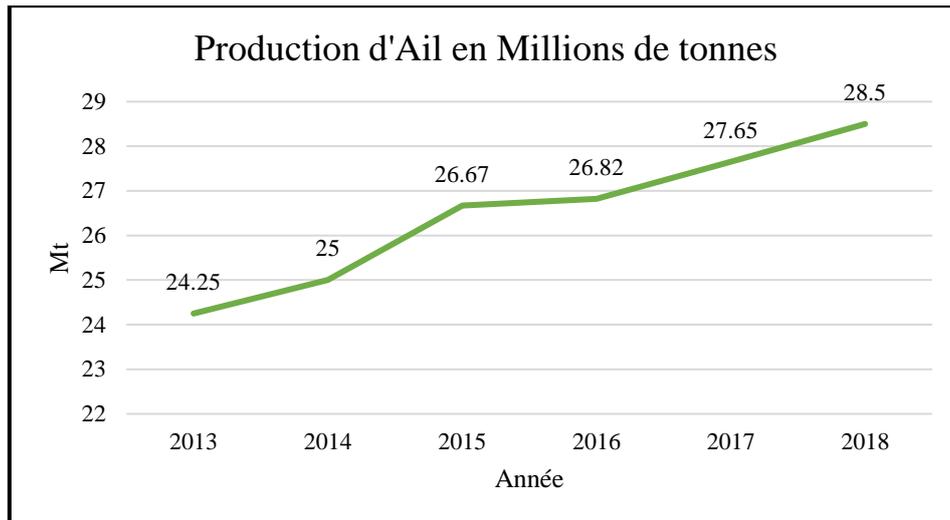


**Figure 11** : Collection variétale au niveau d'ITCMI OEB (ITCMI d'OEB, 2019).

## V. Production d'Ail

### V.1. Au niveau mondial

Selon les statistiques les plus récentes de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), la production mondiale d'Ail découle directement de la production chinoise avec plus de 22 millions de tonnes en 2018, ce qui est l'équivalent de 78% de la production mondiale, qui a dépassé un peu plus de 28 millions de tonnes pour la même année. Cette production a été élevée depuis le début de la décennie 2000 dont la hausse des valeurs de ces dernières années est exprimée dans la **figure 12**.

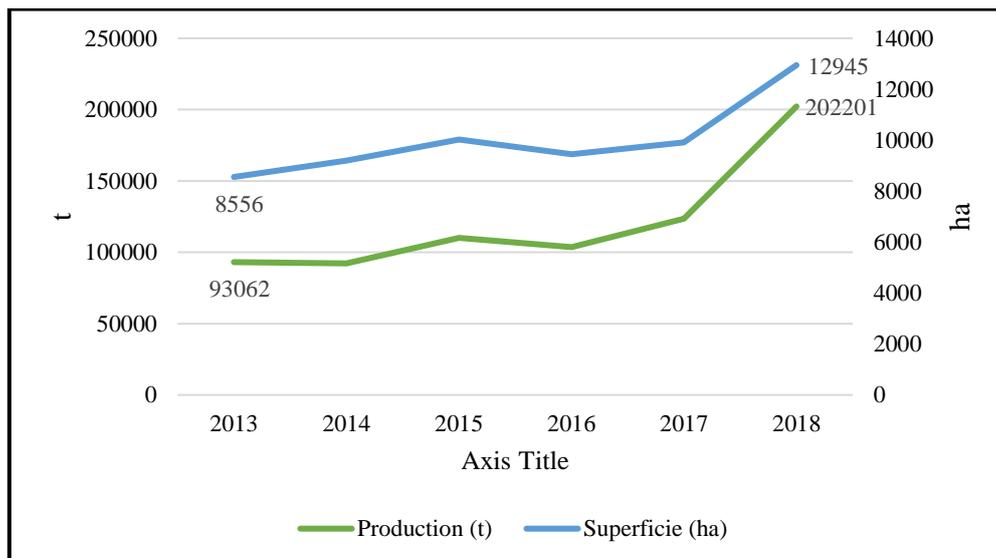


**Figure 12** : Production d'Ail dans le monde durant les années 2009 - 2018 (FAO, 2018).

## V.2. Au niveau National

La production nationale de l'Ail a connu au cours de ces dernières années, une nette augmentation des superficies plantées (**figure 13**). Elle est de 12 945 ha pour une production de 202 201 tonnes durant la campagne 2017/2018, valeur très importante par rapport au prévision mise auparavant pour cette année (128 753 tonnes). L'Algérie a accompli plus de 27% de la production africaine en Ail pour la même année (2018) (FAO, 2018), dont les plus grandes zones de production sont : Mila, Médéa, Skikda, Boumerdès, Batna et El Oued.

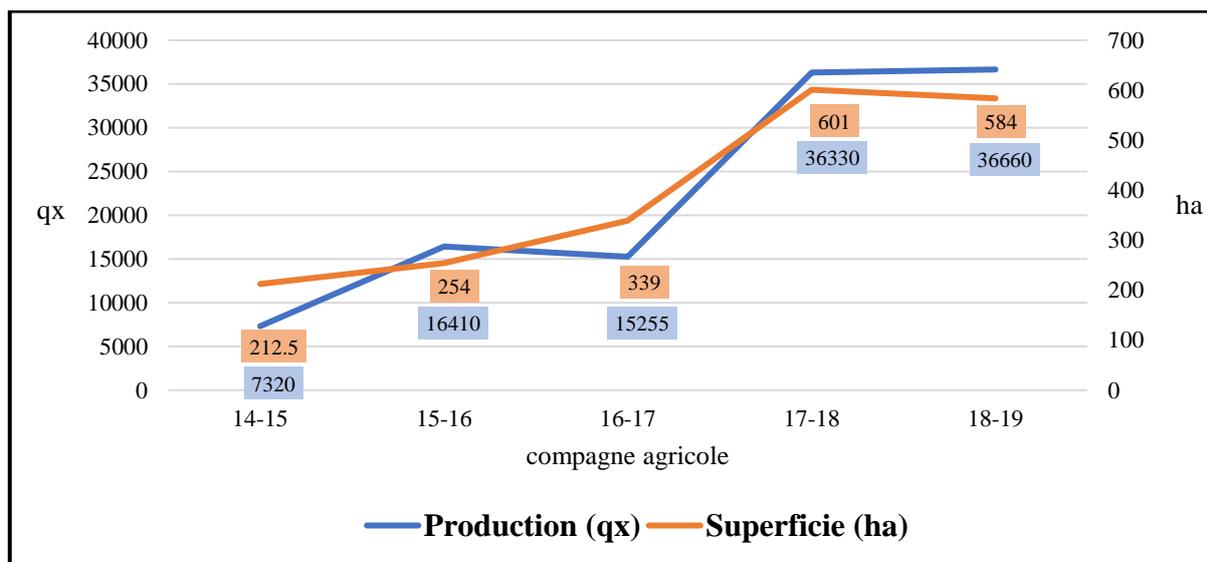
Il est à noter que la Wilaya de Mila vient en tête de liste dans la production de l'Ail et participent avec 27 à 30 % de la production nationale (ITCMI, 2018).



**Figure 13** : Superficies récoltées et production d'Ail en Algérie durant la période 2013 - 2018 (FAO, 2018).

### V.3. Au niveau régional

Selon les données rapportées par la direction des services agricoles de la Wilaya de Constantine, les superficies de la culture d'Ail sont en train de s'étendre d'année en année où elle est répartie dans presque toutes les communes de la Wilaya de Constantine, dont les plus grandes superficies sont localisées à la commune de Zighoud Youcef. Ainsi que la production de cette plante connaît un essor constant depuis la campagne 2014/2015 (**figure 14**) avec un pique de rendement de 64.66 qx/ha en 2015-2016.



**Figure 14** : Evolution des superficies et production d'Ail au niveau de la wilaya de Constantine pendant 5 campagnes agricoles de 2014-2015 à 2018-2019 (DSA de Constantine, 2020).

## VI. Différents types d'Ail commercialisé

Les produits commerciaux de l'Ail se présentent sous diverses formes :

**1. L'Ail frais** : L'Ail frais contient seulement de l'alliine avec une quantité de 4 à 12mg, cependant l'allicine est formée une fois l'Ail est broyé (Gambogou *et al.*, 2019).

**2. Poudre d'Ail** : Les gousses d'Ail doivent être pulvérisées, broyées et séchées pour en extraire la poudre qui contient les mêmes composés que l'Ail cru, dont le principal composé est l'alliine. Elle est généralement utilisée comme condiment dans les aliments (Costeplane, 2018).

**3. Macérât** : Le macérât d'huile est fait de mélanges de gousses d'Ail entièrement broyées encapsulées dans l'huile végétale. Pendant le processus de fabrication, l'alliine peut être convertie en allicine et les dérivés l'allicine principalement les ajoènes (Gambogou *et al.*, 2019).

**4. Huile essentielle d'Ail :** Une gousse d'Ail contient 0,2 à 0,5% d'huile essentielle. Des capsules d'Ail sont disponibles contenant de l'huile végétale avec une petite quantité d'huile essentielle, puisque l'odeur est très prenante (Costeplane, 2018 ; Gambogou *et al.*, 2019).

**5. Extrait d'Ail vieilli :** Cet extrait doit être âgé d'au moins 10 mois à température ambiante (Ide *et al.*, 2001). Ce stockage conduit à une altération de la composition de l'Ail (Qidwai *et al.*, 2013). Pendant ce processus, les composés irritants sont convertis en composés soufrés stables. Ces composés sont solubles dans l'eau et une petite quantité soluble dans l'huile (Costeplane, 2018).

## VII. Utilisations et bienfaits d'Ail

L'Ail connu et utilisé depuis l'antiquité, occupait une place centrale dans l'alimentation ; c'est l'un des condiments les plus populaires nettement utilisé dans la cuisine du monde entier (ANIAIL, 2007) et en phytothérapie, aujourd'hui, il fait toujours partie de la médecine traditionnelle et on pense qu'il a une action complexe (Abel, 2016).

Les scientifiques d'aujourd'hui ont validé nombre des anciennes affirmations sur l'Ail et ses dérivés, en essayant d'identifier les constituants bioactifs, d'établir leurs mécanismes d'action et décrypter leur rôle ultime dans la prévention et le traitement des maladies (Majewski, 2014). En effet, des qualités anti infectieuse (antibactérien et antivirus), antioxydantes, anti-inflammatoires, antitumorales et de prévention du cancer lui ont été reconnues. En outre, il aurait le pouvoir d'inhiber la coagulation, de réduire des risques de maladies cardiovasculaires, ou encore de faciliter la digestion (Rombi et Robert, 2015 ; Gergesgeagea, 2015).

L'Ail est utilisé également comme biopesticide. Les substances soufrées de l'extrait d'Ail montrent de multiples activités pesticides qui peuvent les destiner à de nombreuses applications phytosanitaires. Il a été démontré que ces composés ont des effets fongicides que nématocides et insecticides (Bernard *et al.*, 2002 ; Bourgoïn *et al.*, 2017).

De plus il est utilisé dans le domaine de beauté par sa composition riche en vitamines, minéraux et oligo-éléments. Il stimule le système immunitaire, fortifie les os, améliore l'état des cheveux, des ongles et lutte même contre la cellulite (amas de cellules adipeuses) (ANIAIL, 2007).

## Chapitre III : Huiles essentielles et hydrolats

### I. Généralités sur les huiles essentielles

#### I.1. Définition d'une huile essentielle

Pour la 8<sup>ème</sup> édition de la pharmacopée française (1965), les huiles essentielles (HE), essences ou huiles volatiles, étaient des produits de composition généralement assez complexe renfermant les principes volatils contenus dans les végétaux et plus ou moins modifiés au cours de la préparation (Bruneton, 2009).

#### I.2. Répartition des huiles essentielles

Les HE sont produites chez les végétaux supérieurs ; 17500 espèces aromatique appartenant à un nombre limité de familles, dont notamment les *Myrtacées*, les *Lauracées*, les *Lamiacées*, les *Astéracées*... (Regnault-roger *et al.*, 2008).

Les HE peuvent être accumulées dans tous les types d'organes végétaux : des fleurs (oranger) mais aussi des feuilles (citronnelle) et bien que cela soit moins habituel dans des écorces (cannelier), des bois (bois de rose), des racines (vétiver), des rhizomes (curcuma), des fruits secs (persil) et des graines (muscade). Si tous les organes d'une même espèce peuvent renfermer une HE, la composition de cette dernière (qualitative et quantitative) peut varier selon sa localisation dans la plante (Desmares *et al.*, 2008 ; Bruneton, 2009).

Les teneurs en huiles essentielles sont plutôt faibles, assez souvent inférieures à 10ml/kg (Bruneton, 2009). Leur synthèse et accumulation sont associées à la présence de structures histologiques spécialisées (cellules à essence, poches sécrétrices...) (Desmares *et al.*, 2008).

#### I.3. Composition chimique des huiles essentielles

Les HE sont des mélanges complexes de constituants variés en concentration variable, dans des limites définies. Ces constituants appartiennent principalement mais pas exclusivement à deux groupes : les terpénoïdes et les phénylpropanoïdes (Desmares *et al.*, 2008 ; Regnault-roger *et al.*, 2008).

- **Les terpénoïdes** : sont formés à partir d'unités isoprènes biochimiquement actives, de pyrophosphate d'isopentyle et de diphosphate de diméthylallyle par la voie de biosynthèse du mévalonate. On retrouve dans cette catégorie les monoterpènes et les sesquiterpènes (Bensouilah et Buck, 2006 ; Vangelder, 2017).

- **Les phénylpropanoïdes** : issus de la voie du shikimate, et leurs produits de biotransformation.

En plus de ces grands groupes, on trouve des composés spécifiques contenant du soufre et de l'azote et le métabolisme des acides gras et des acides aminés produit d'autres constituants (Bensouilah et Buck, 2006).

#### **I.4. Propriétés et utilisation des huiles essentielles**

Malgré l'hétérogénéité dans la composition chimique des HE, elles ont des propriétés marquées et sont toutes : antiseptiques (antimicrobiennes et anti-infectieuses), désintoxiquantes (solvantes, défloculantes et émonctorielles), revitalisantes (supports d'énergie vitale et régulatrices du système nerveux et des glandes hormonales) et électives (intelligentes, aimantées par l'organe déficient ou la fonction affaiblie à un moment donné). Tandis qu'elles ont chacune des propriétés spécifiques : calmante, anti-douleurs, respiratoire, digestive, régénératrice de la peau, amincissante, rafraîchissante ... (Grosjean, 2011).

Pour cela les HE sont valorisées dans de nombreux domaines. Elles trouvent des emplois dans trois secteurs principaux : En pharmacie pour l'aromatisation de certaines formes médicamenteuses, et constituent par ailleurs le support de l'aromathérapie (Bruneton, 2009). En parfumerie : c'est le débouché principal des HE. L'industrie des cosmétiques et le secteur des produits d'hygiène sont également des consommateurs. En industrie agroalimentaire où de nombreux facteurs conduisent à une augmentation rapide de la consommation de ces aromatisants naturels (Bruneton, 2009). Récemment, les HE sont utilisées pour le biocontrôle des bio-agresseurs (Regnault-roger *et al.*, 2008).

#### **I.5. Huile essentielle d'Ail**

L'HE d'Ail est extraite à partir des bulbes. Sa composition chimique montre qu'elle contient des composés organosoufrés dominants comme composants. Cependant le contenu est diversifié, entre les huiles d'Ail du Mexique, de France, d'Égypte, de Turquie et de Chine avec les composés suivants : sulfures d'allyle, de méthyle et de diallyle ; disulfures d'allyle, de méthyle et d'alkyle ; diméthyle, allyle, méthyle et les trisulfures de diallyle. Les différents types d'huiles peuvent donc avoir une teneur significative en trisulfures de diallyle, tant sur le plan qualitatif que sur le plan quantitatif (Krzyśko-Łupicka *et al.*, 2020).

HE d'Ail est une huile complémentaire, aux nombreuses propriétés, elle nécessite un usage en très petites quantités avec des grandes dilutions contre la colique et les infections intestinales... Elle est recommandée dans les cultures biologiques et entrant dans des compositions parasitocides. Cependant HE d'Ail reste peu ou pas utilisée dans les recettes de beauté ni en parfumerie et jamais de frictions avec elle-même si diluées (Grosjean, 2011).

## II. Généralités sur les hydrolats

### II.1. Définition d'un hydrolat

Selon l'organisation internationale de normalisation (ISO) (2013) l'hydrolat appelé aussi : distillât, eau florale ou hydrosol est un distillat aqueux qui résulte après l'entraînement à la vapeur d'eau et la séparation de l'HE et peut subir des traitements physiques (filtration, décantation, centrifugation) n'entraînant pas de changements significatifs de sa composition. Pour un hydrolat, on récupère uniquement le premier tiers des eaux de distillation. Toutes les plantes ne peuvent donner des HE. Cependant, même non aromatiques, elles peuvent faire l'objet d'une distillation pour en recueillir l'hydrolat, comme la fougère, l'ortie, le cassis pour lesquels on ne connaît pas d'HE (Grosjean et Barthéléry, 2016).

### II.2. Composition chimique des hydrolats

Les hydrolats sont des mélanges assez complexes contenant des traces des HE (généralement inférieure à 1g/L) et des métabolites secondaires volatils, solubles dans l'eau. Dans certains cas, leur composant coïncident avec ceux de leurs HE, alors que dans d'autres cas, ils sont complètement différents. En outre, les quantités étaient aussi différentes, et beaucoup plus faibles que celles des HE. Les hydrolats analysés par Inouye *et al.*, ont été divisés en sept groupes, en fonction du groupe fonctionnel du composant principal : groupes aldéhyde, alcool, phénol, cétone, ester et éther méthylique de phénol (D'Amato *et al.*, 2018).

### II.3. Utilisation des hydrolats

Les hydrolats sont faciles et peu coûteux à produire et semblent moins toxiques pour la santé humaine que les HE. Ils conservent de bénéfiques vertus thérapeutiques sur les plans physique et physiologique, émotionnel, psychologique et spirituel... Les hydrolats sont utilisés en hydrolathérapie et comme complément idéal des HE en aromathérapie et bien que leur activités antimicrobiennes et antifongiques ont été signalées par plusieurs chercheurs, les informations disponibles sont encore limitées (D'Amato *et al.*, 2018).

Les hydrolats ont aussi un large champ d'action dans l'alimentation quotidienne : en assaisonnement (salades, sauces) en boissons chaudes ou froides en cocktails ou thés aromatiques... en cure (détox) (Grosjean et Barthéléry, 2016). L'hydrolat est plus fragile que l'HE et ne se conserve en moyenne que trois à douze mois après sa distillation (Grosjean, 2011).

### II.4. Hydrolat d'Ail

Les hydrolats d'Ail ont été examinés par Al-Turki (2007) pour leur potentiel d'inhibition des bactéries couramment rencontrées dans les aliments comme pathogènes, à savoir *Bacillus*

*subtilis* et *Salmonella enteritidis*. Par conséquent, ces hydrolats sont considérés comme des additifs naturels pour l'alimentation humaine et/ou animale afin d'améliorer la santé intestinale des humains et des animaux.

### III. Techniques d'extraction des huiles essentielles et hydrolats

L'extraction d'une HE est une opération complexe, délicate et intervient de façon déterminante dans le rendement en huile et dans la composition de cette dernière (Benjilali, 2004). Elle a pour but, de capter et recueillir les produits les plus volatils et fragiles qu'élabore le végétal, et cela sans en altérer la qualité (Boukhatem *et al.*, 2019).

Selon la norme ISO (2013) l'HE est obtenue à partir d'une matière première naturelle d'origine végétale, soit par entraînement à la vapeur d'eau : entraînement directe ou par hydrodistillation, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe de fruits de citrus (agrumes), soit par distillation sèche. D'autres méthodes que l'entraînement à la vapeur d'eau, peuvent être utilisées pour l'extraction des substances volatiles et aromatiques.

#### III.1. Extraction par hydrodistillation

L'extraction par hydrodistillation consiste à immerger la matière première dans un bain d'eau et l'ensemble est porté à ébullition (**figure 15**). Elle est généralement conduite à pression atmosphérique (Boukhatem *et al.*, 2019). Pour ce qui est du principe de fonctionnement : l'eau chaude pénètre dans les tissus végétaux et dissout les constituants des HE présentes dans les cellules. Cette solution aqueuse diffuse à travers les parois cellulaires, c'est l'hydro diffusion. Quand ces composés, dissous dans l'eau chaude se trouvent à la surface du tissu végétal, ils s'évaporent ensuite passent par un réfrigérant où ils sont condensés et enfin récupérés dans un récipient (Benjilali, 2004).

L'hydrodistillation produit des substances volatiles facilement analysables par chromatographie en phase gazeuse (C.P.G.), elle exige une technologie relativement simple (Benjilali, 2004) et reste la méthode la plus ancienne et la plus utilisée (El Haib, 2011).

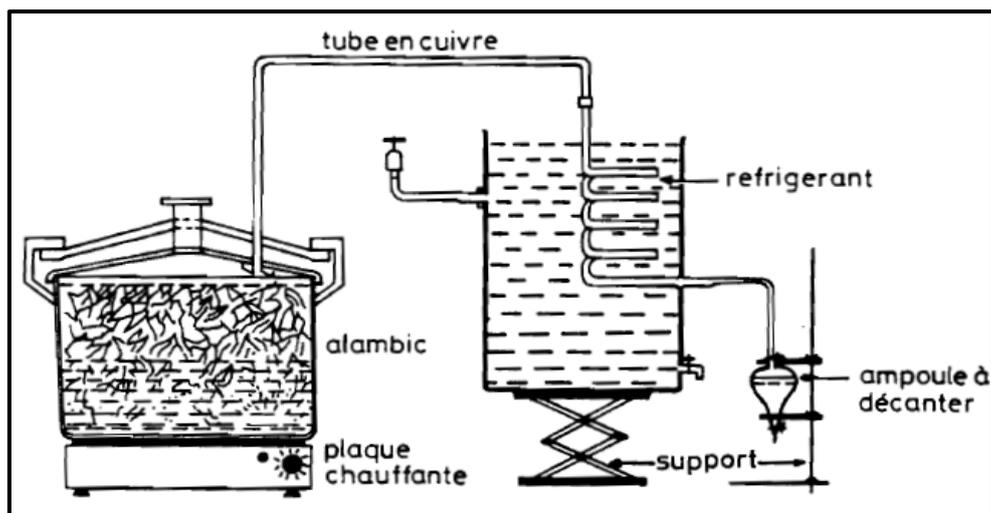


Figure 15: Montage de processus de l'hydrodistillation (Mehani, 2015).

### III.2. Extraction à la vapeur d'eau

Le matériel végétal, dans ce cas, se trouve supporté par une grille ou une plaque perforée placée à une distance adéquate du fond de l'alambic (figure 16). La partie inférieure de celui-ci est remplie d'eau. Le niveau de cette dernière doit permettre d'éviter tout contact entre l'eau et la plante. L'évaporation de l'eau peut être obtenue par chauffage direct. À l'intérieur de l'alambic, il y a production d'une vapeur d'eau saturée (humide) à pression faible qui traverse la masse du végétal de bas en haut les vapeurs saturées en composés volatils sont condensées puis décantées dans l'essencier, avant d'être séparées en une phase aqueuse et une phase organique (Benjilali, 2004).

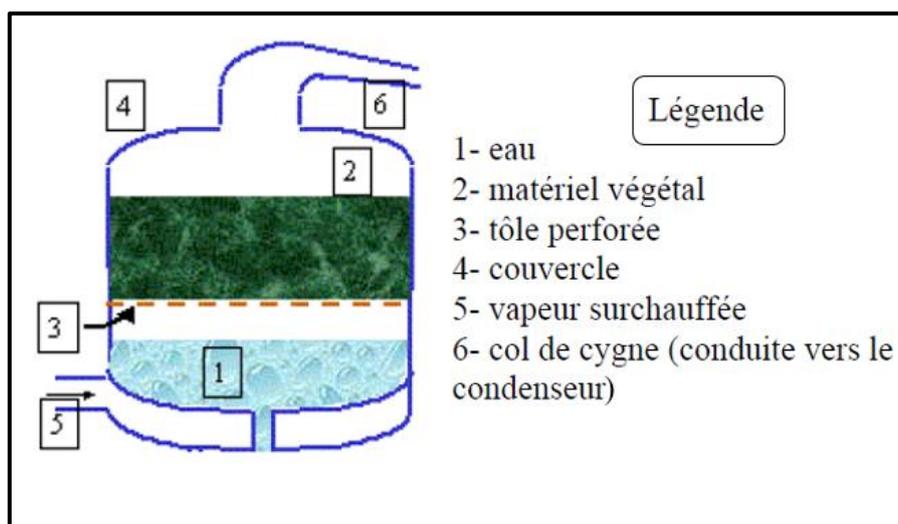


Figure 16 : Montage de processus d'extraction à la vapeur d'eau (Benjilali, 2004).

### III.3. Extraction par expression à froid

La technique est réservée à l'extraction des essences volatiles contenues dans les péricarpes d'agrumes en déchirant ces dernières par un traitement mécanique. Elle consiste à rompre ou dilacérer les parois des sacs oléifères contenus dans le mésocarpe situé juste sous l'écorce du fruit, l'épicarpe, pour en recueillir le contenu qui n'a subi aucune modification. Les essences de *Citrus* ont longtemps été extraites manuellement, la mécanisation et l'industrialisation de la technique d'expression à froid ne s'étant effectuées qu'au début du XX<sup>e</sup> siècle. L'expression à froid est la méthode de choix pour extraire ces essences, d'autant que la distillation n'est plus une technique très appropriée (Boukhatem *et al.*, 2019).

### III.4. Extraction par solvant organique

La technique d'extraction « classique » par solvant, consiste à placer, dans un extracteur, un solvant volatil et la matière végétale à traiter. Grâce à des lavages successifs, le solvant va se charger en molécules aromatiques, avant d'être envoyé au concentrateur pour y être distillé à pression atmosphérique. Les solvants les plus utilisés sont l'hexane, cyclohexane, l'éthanol, moins fréquemment le dichlorométhane et l'acétone. Le solvant ne devra pas réagir chimiquement avec l'extrait. L'extraction est réalisée avec un appareil de Soxhlet (Boukhatem *et al.*, 2019). Cette méthode est utilisée en particulier pour le matériel végétal qui est trop fragile et ne supportent pas les traitements par entraînement à la vapeur ou l'hydrodistillation (Bousbia, 2011).

D'autres techniques d'extraction ont été mises au point, ces dernières années, pour la distillation des substances d'arômes à partir des plantes, tels que l'extraction assistée par micro-ondes ou par ultra-sons et l'extraction par le CO<sub>2</sub> supercritique... (Ouis, 2015).

## IV. Qualité des huiles essentielles et hydrolats

### IV.1. Critères d'évaluation de la qualité des huiles essentielles et hydrolats

Pour garantir leur qualité, les HE devront être obtenues à partir de matières premières précisément identifiées, contrôlées selon des procédés définis, présentant des caractères physico-chimiques précis, être conservées de façon appropriée.

En routine et selon les référentiels classiques : La Pharmacopée Européenne, ISO et l'Association française de normalisation (AFNOR), L'analyse des HE, l'identification des constituants, la recherche d'éventuelles falsifications peuvent se faire à l'aide de critères physiques, organoleptiques, chimiques et chromatographiques (Desmares *et al.*, 2008) :

- **Indices physiques** : densité relative, indice de réfraction, angle de rotation optique, point de solidification, résidu d'évaporation, solubilité dans l'alcool, teneur en eau ...
- **Indices chimiques** : indice d'acide, indice d'esters, indice de peroxyde indice d'iode, indice de saponification ...
- **Analyses chromatographiques** : chromatographie sur couche mince, chromatographie en phase liquide à haute performance dans le cas des furocoumarines dans les HE de *Citrus*, chromatographie en phase gazeuse : c'est la méthode de choix qui permet de réaliser le profil chromatographique de l'HE (Normes ISO, normes AFNOR et normes NF ISO, 2006).

#### IV.2. Facteurs de variabilité des profils phytochimiques des huiles essentielles

La composition chimique des HE est éminemment variable. Plusieurs facteurs influencent leurs profils phytochimiques :

- **Génétique** : La composition en molécules allélochimique varie d'une espèce à l'autre, mais aussi au sein d'une même espèce, en raison de l'existence de chimiotypes très fréquents chez les plantes à HE.
- **Physiologique** : le métabolisme secondaire de la plante n'est pas identique à tous les stades de son développement.
- **Pédologique et climatique** : ces paramètres influencent aussi directement le métabolisme secondaire de la plante (acidité du sol, chaleur, photopériode...) ainsi la teneur en HE.
- **Analytiques** : Les différentes procédés d'obtention des HE interfèrent sur les constituants extraits (Regnault-roger *et al.*, 2008).

#### V. Méthode d'évaluation de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles et hydrolats

La détermination du pouvoir antimicrobien des HE fait appel à plusieurs techniques expérimentales, dont les différents protocoles peuvent ainsi être classés selon :

- Le milieu dans lequel se fait la diffusion de HE : soit liquide, solide ou gazeux.
- La nature du contact de HE avec le germe : diffusion sur disque, en puits, en solution alcoolique ou dispersion dans un émulsifiant (Lakhdar, 2015).

### **V.1. Techniques d'aromatogramme**

L'aromatogramme est basé sur une technique utilisée en bactériologie médicale, appelée antibiogramme, méthode par diffusion en milieu gélosé ou encore méthode des disques dont les antibiotiques sont remplacés par des essences. Il s'agit d'une méthode en milieu gélosé réalisée dans une boîte de Pétri. Le contact se fait par l'intermédiaire d'un disque de papier sur lequel on dépose une quantité donnée d'HE (Randrianarivelo, 2010).

### **V.2. Technique de diffusion en puits**

Un puits (d'environ 6mm) est creusé au centre de la gélose dans lequel sera coulée une quantité d'HE pure ou diluée. Après incubation, des zones d'inhibition de croissance bactérienne sont obtenues (pour les huiles actives) et mesurées. La sensibilité du germe testé peut être évaluée selon le diamètre d'inhibition obtenu (Lakhdar, 2015).

### **V.3. Méthode de dilution**

Les méthodes de dilution sont effectuées en milieu liquide ou en milieu solide. Elles consistent à mettre un inoculum au contact de concentrations croissantes d'HE.

- **En milieu liquide** : l'inoculum est distribué dans une série de tubes ou en microplaques contenant l'agent antimicrobien. Après incubation, la CMI est indiquée par le tube ou la cupule qui contient la plus faible concentration de produit et où aucune croissance n'est visible (Randrianarivelo, 2010).
- **En milieu solide** : l'HE est incorporé dans un milieu gélosé coulé en boîtes de Pétri. La surface de la gélose estensemencée avec une des souches à étudier. Après incubation, la CMI de chaque souche est déterminée par l'inhibition de la croissance sur le milieu contenant la plus faible concentration d'HE (Randrianarivelo, 2010). Quant aux hydrolats la même méthode est utilisée par Boyraz et Özcan (2005) et Merad Boussalah (2020).

### **V.4. Techniques de diffusion en phase vapeur (Technique des micro-atmosphères)**

Cette méthode consiste à déposer un disque de papier filtre imprégné de l'HE au centre du couvercle d'une boîte de pétri, sans que HE entre en contact avec la géloseensemencée par les micro-organismes. La boîte est hermétiquement fermée et placée à l'envers dans l'étuve. Il se produit une évaporation des substances volatiles dans l'enceinte de la boîte et les cellules sensibles de l'inoculum sont inhibées (Lamamra, 2018). Cette méthode ne quantifie pas

l'activité antimicrobienne réelle des huiles essentielles, elle met en évidence seulement la sensibilité du microorganisme testé aux constituants volatils à la température d'incubation (Lakhdar, 2015).

## VI. Marché des huiles essentielles

Dans le contexte actuel, la production et la commercialisation des HE sont caractérisées par une compétitivité des produits provenant de pays en voie de développement et les pays industrialisés (Kabera *et al.*, 2005). La demande en huiles essentielles évolue année après année pour plusieurs raisons : une demande croissante de la part des consommateurs de produits naturels, si bien que les HE deviennent aujourd'hui un produit « tendance » ; la croissance continue des différents marchés (Krausz, 2015).

La production mondiale d'HE a récemment été estimée à plus de 110 000 tonnes (Krausz, 2015), dont la première HE mondiale en tonnage est l'HE d'orange (*Citrus sinensis*), vient ensuite l'HE de menthe « des champs » (*Mentha arvensis*) avec 32 000 tonnes, soit 29,1% de la production mondiale. En troisième position, on retrouve le citron (*Citrus limonum* ; 9 200 tonnes ; 8,4%), puis l'eucalyptus (*Eucalyptus globulus et Eucalyptus radiata* ; 4 000 tonnes ; 3,6%), la menthe poivrée (*Mentha piperita* ; 3 300 tonnes ; 3%) et la citronnelle (*Cymbopogon winterianus* ; 1 800 tonnes ; 1,6%) (FranceAgriMer, 2018).

Le Brésil est le premier producteur mondial d'huiles essentielles en termes de volumes, le deuxième étant vraisemblablement l'Inde qui a d'ailleurs repris le leadership de cette production au détriment de la Chine (Krausz, 2015) l'Europe ne représente pas une région de grande production. Il en est de même pour l'Océanie. Quelques pays d'Afrique, comme le Maroc, l'Egypte les Comores, Madagascar, la Côte D'Ivoire, le Burkina Faso, l'Algérie sont producteurs d'huiles essentielles (Kabera *et al.*, 2005).

*Matériel et  
méthodes*

## Matériel et méthodes

### I. Matériel biologique

#### 1. Matériel végétal

Notre étude a porté sur deux variétés d'Ail, *Allium sativum L.* : la rouge locale et la rouge chinoise, ce choix a été fait suite à une recherche bibliographique approfondie accompagnée d'une visite à l'institut technique des cultures maraichères et industrielles (ITCMI) d'Oum El Bouaghi au niveau duquel nous avons confirmé la présence de plusieurs variétés d'Ail, mais celles qui sont commercialisées en grande quantité se limite au nombre de deux à savoir :

- **Variété rouge locale (RL)** : c'est un génotype végétal algérien provenant d'une culture non irriguée et récoltée en mois de Juin 2019 selon l'enquête effectuée sur terrain entretenue auprès des vendeurs et des agriculteurs de la région et avec les cadres techniques de l'ITCMI (**figure 17**). La quantité nécessaire pour le travail expérimental de cette variété a été achetée au niveau de sa source de production à Ain Ben'sbaa, la commune de Hamma Bouziane (Constantine).



**Figure 17:** Variété rouge locale d'Ail.

- **Variété rouge chinoise (RC)** : c'est un génotype d'origine chinoise provenant d'une culture algérienne (**figure18**), cette variété est généralement récoltée à partir du mois de Juin jusqu'à Juillet 2019. Les quantités nécessaires ont été achetées aussi au niveau de sa source de production à Oued Athmania commune de la wilaya de Mila.

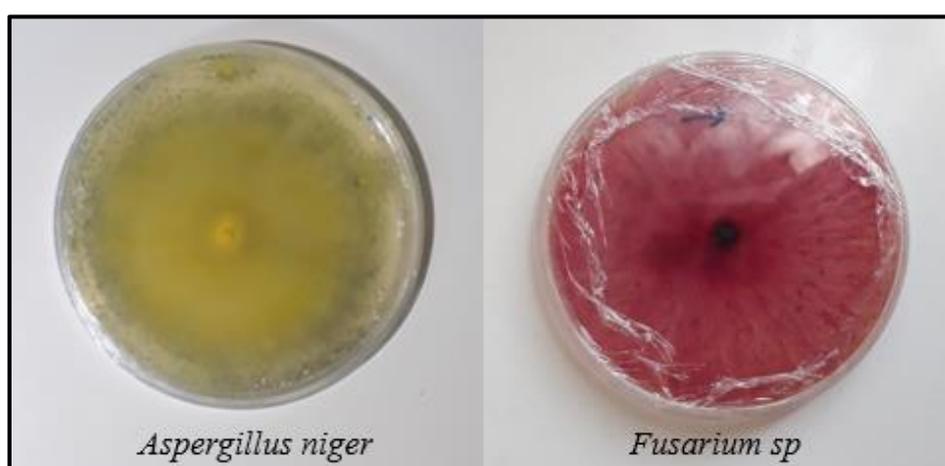


**Figure 18 : Variété rouge chinoise d'Ail.**

Les deux variétés choisies ont été achetées au mois de Novembre 2019, puis conservées dans un endroit propre, aéré, à température ambiante et loin de l'humidité jusqu'à son utilisation.

## 2. Souches fongiques

Le choix des espèces fongiques est basé également sur une recherche bibliographique, ainsi les informations collectées auprès des institutions étatiques techniques à Constantine tels que : l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) et la station régionale de la protection des végétaux (SRPV). Donc deux souches de champignons pathogènes de blé ont été utilisées (**figure 19**), il s'agit d'*Aspergillus niger* et de *Fusarium* sp. Ces dernières ont été aimablement fournies par l'INRAA de Constantine.



**Figure 19 : Souches fongiques utilisées dans le travail expérimental (INRAA de Constantine).**

## II. Méthodologie

### 1. Caractérisation morphologique du matériel végétal

Afin d'utiliser une HE dans les meilleures conditions, il faut réaliser une identification exacte de l'espèce végétale et respecter la période de récolte. L'utilisation des HE nécessite en effet une origine géographique, botanique et chimique précise (Rivière *et al.*, 2005), pour cette raison notre démarche expérimentale a été précédée par une description morphologique du matériel végétal, qui a eu lieu au niveau de laboratoire de Génétique, Biochimie et Biotechnologies Végétales (GBBV) à l'université des Frères Mentouri Constantine 1.

L'observation morphologique est la base de la description du matériel végétal (bulbes d'Ail) et la comparaison phénotypique entre les deux variétés d'Ail, dont les principaux paramètres utilisés ont été inspirés du descripteur de l'Union de Protection des Obtentions Végétales (UPOV, 2001) pour l'espèce *Allium sativum* et du descripteur du genre *Allium* par l'Institut International des Ressources Phyto Génétiques (IPGRI, 2001) décrit dans la partie bibliographique (voir les pages 14 et 15).

### 2. Extraction des huiles essentielles et d'hydrolats d'Ail

Selon la norme ISO (2013) l'HE est obtenue à partir d'une matière première naturelle d'origine végétale, par plusieurs méthodes d'extraction. Dans le cadre de notre étude et afin d'extraire les HE des deux variétés d'Ail, la méthode d'hydrodistillation a été utilisée. Le choix de cette dernière n'est pas aléatoire, nous nous sommes référés de plusieurs travaux de recherche scientifique, notamment celui de ; Boukeria (2016), Satyal *et al.*, (2017), Üstüner *et al.*, (2018) et Merad Boussalah (2020) ce qui a permis de renforcer nos connaissances et informations sur la méthode en question.

Pour notre étude l'extraction des HE et hydrolat provenant des bulbes d'Ail des deux variétés, a été réalisée par hydrodistillation durant le mois de Décembre au niveau d'une distillerie privé « AROM'EST » spécialisée dans la production des HE et végétales, située à la Wilaya d'Annaba.

#### 2.1. Etapes de l'hydrodistillation

*Préparation des échantillons* : les bulbes d'Ail ont été séparés manuellement et coupés à l'aide d'un mixeur (**figure 20**), cette étape a pour but d'éclater les cellules végétales et faciliter la récupération d'huile.



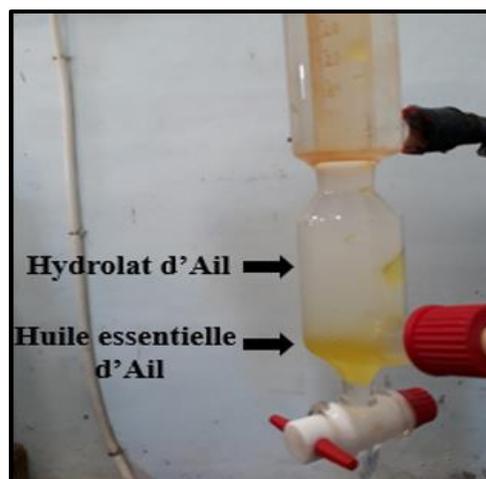
**Figure 20** : Préparation des échantillons pour l'hydrodistillation.

*Hydrodistillation proprement dite* : une quantité de 7.5 kg pour chaque variété des gousses d'Ail préalablement coupés sont introduites dans un alambic en acier inoxydable (inox) 316 pharmaceutique de 62L (**figure 21**), mélangés avec 19L d'eau, le mélange a été porté à ébullition à pression atmosphérique. Les vapeurs d'eau chargées d'essences ont été condensées au niveau du réfrigérant et elles sont redevenues donc liquide sous forme d'HE et d'hydrolat.



**Figure 21** : Début d'opération d'hydrodistillation au niveau de la distillerie AROM'EST (Annaba).

*Séparation d'HE* : à la fin de l'opération, l'HE est séparée de l'hydrolat par différence de densité (**figure 22**) à l'aide d'une ampoule à décanter. L'opération d'extraction a duré deux heures à partir du début d'ébullition.



**Figure 22** : Récupération d'huile essentielle et hydrolat d'Ail (Distillerie AROM'EST).

Les HE ainsi que les hydrolats obtenus ont été conservés à 4°C dans des flacons opaques en verre (**figure 23**) jusqu'à leur utilisation (Grosjean, 2011 ; Boukeria, 2016).



**Figure 23** : Conservation des huiles essentielles et d'hydrolats obtenues à partir des deux variétés d'Ail.

## 2.2. Détermination du rendement en huile essentielle et hydrolats

Selon Boukeria (2016), le rendement en HE est défini comme étant le rapport entre la masse d'HE obtenues et la masse du matériel végétal sec utilisé. Il est exprimé en pourcentage (%) par la formule suivante :

$$R\% = \frac{M_{HE}}{M_V} \times 100$$

R (%) : rendement en huile essentielle.

M HE (g) : quantité d'extrait récupérée.

M V (g) : quantité de la matière végétale utilisée pour l'extraction.

Pour calculer le rendement en hydrolat on a utilisé la même formule.

### 3. Analyse physicochimique des huiles essentielles et d'hydrolats

Selon les référentiels classiques de la Pharmacopée Européenne, l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) et l'Association Française de Normalisation (AFNOR), l'évaluation de la qualité des HE est réalisée par la mesure d'un certain nombre d'indices et des analyses chromatographiques (Desmares *et al.*, 2008). Dans notre étude l'ensemble des analyses physicochimiques des HE extraites ont été réalisées au niveau de : l'institut de nutrition, alimentation et des technologies agro-alimentaires (INATAA) et un laboratoire privé (Catalyse LAB) spécialisé au contrôle de qualité des produits alimentaires et industriels situé à Ali Mendjeli, Constantine et sont les suivants :

- **Indices physiques** : Caractérisation organoleptique, la densité relative, l'indice de réfraction et le taux d'humidité et de la matière volatile.
- **Indice chimique** : L'indice d'acide et le pH.

#### 3.1. Caractérisation organoleptique

Selon la norme française NF ISO 5492 l'analyse sensorielle est définie comme étant : l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens (vue, ouïe, odorat, goût, toucher). Elle constitue généralement une partie des études visant à analyser les facteurs qui affectent la qualité de l'HE (Thomas, 2016).

L'analyse a été effectuée en observant visuellement et en inhalant directement l'HE et l'hydrolat sur le plan : Aspect, couleur et odeur.

#### 3.2. Indice de réfraction

L'indice de réfraction est mesuré afin de pouvoir identifier une HE, déterminé sa pureté ainsi pour vérifier la qualité de la distillation : une distillation trop rapide, à température trop élevée ou trop lente abaisse l'indice de réfraction qui est généralement élevé (Attou, 2017).

Selon NF ISO 280 : 1999 (75-112), l'indice de réfraction des deux HE pour les deux variétés RL et RC a été mesuré à 20°C avec le réfractomètre " REICHERT AR6 SERIES Automatic Refractometer " qui a été réglé en mesurant les indices de réfraction des produits étalonnés (Eau distillée avec un indice de réfraction égale à 1.3356 à la température fixée à 20°C), ensuite, le prisme de l'appareil a été nettoyé et une goutte d'HE a été déposée au milieu entre les deux faces des prismes. Enfin les résultats s'affichent directement sur l'écran de l'appareil (**figure 24**).

Trois répétitions ont été effectuées pour chaque HE et entre chacune, une opération de nettoyage avec l'acétone a été réalisée, afin d'éliminer les résidus d'huile de la mesure précédente.



**Figure 24** : Mesure de l'indice de réfraction de l'huile essentielle d'Ail.

### 3.3. Taux d'humidité et matière volatile

Le taux d'humidité, correspond à la détermination de la teneur en eau (sous forme liquide ou vapeur) et en substances volatiles de notre HE.

Le taux d'humidité a été mesuré en déposant une quantité de 1g d'HE de chaque variété dans une capsule en verre, elle-même a été placée dans l'étuve pendant 2 heures (**figure 25**). Une fois le temps écoulé, les capsules ont été refroidies à température ambiante dans un dessiccateur contenant le gel de silice. Enfin, les capsules en été pesées et la perte en masse a été calculée selon la formule suivante :

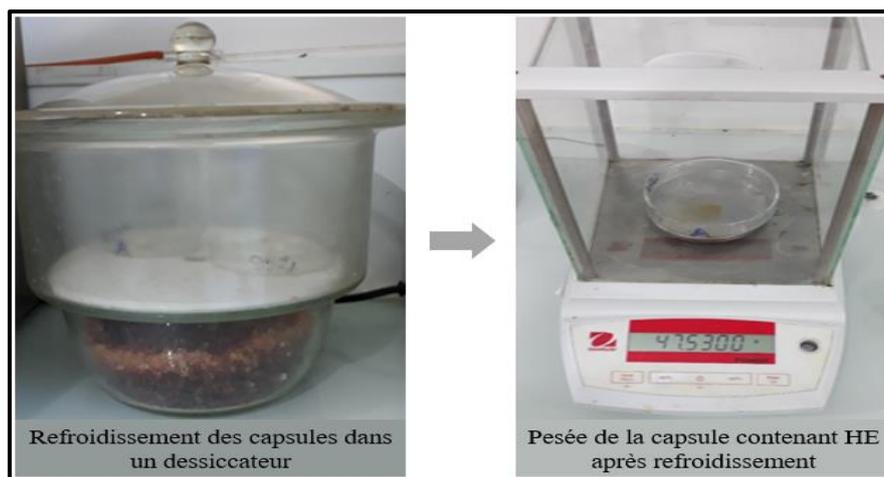
$$H \% = \frac{PV + PE}{PF \times 100}$$

PV (g) : Poids vide de la capsule.

PE (g) : Prise d'essai de l'échantillon.

PF (g) : Poids final.

Le taux d'humidité et la matière volatile d'huile sera donc la moyenne de trois mesures.



**Figure 25** : Etapes effectuées afin de déterminer le taux d'humidité.

### 3.4. Densité relative

La densité relative de l'HE est le rapport de la masse d'un certain volume de l'huile à 20°C et la masse d'un égal volume d'eau distillée à 20°C.

- Si la densité de l'HE est inférieure à celle d'eau, l'huile flotte au-dessus.
- Si la densité d'huile est supérieure à celle d'eau, la couche huileuse sera sous la surface d'eau.

Selon NF ISO 279 : 1999 (T 75-111), la mesure de densité des deux HE a été effectuée à l'aide d'un densimètre électronique de type " METTLER TOLEDO Densito 30PX " (**figure 26**), l'appareil a absorbé une quantité d'HE, ensuite le résultat est affiché directement sur l'écran. La mesure a été effectuée en triplicate.



**Figure 26** : Mesure de la densité d'huile essentielle d'Ail avec densimètre électronique.

### 3.5. Indice d'acide

L'indice d'acide permet de vérifier la qualité d'une HE, notamment en ce qui concerne sa dégradation avec le temps durant le stockage. Par définition, c'est le nombre de milligrammes

d'hydroxyde de potassium nécessaire à la neutralisation des acides libres contenus dans 1g d'HE (Attou, 2017).

Selon NF ISO 1242 : 1999 (T 75-103), le test a été effectué en introduisant 1g d'échantillon d'HE d'Ail de chaque variété dans un erlenmeyer, en présence de quelques gouttes de phénolphaléine (indicateur coloré). Ensuite, un mélange d'éther diéthylique et d'éthanol a été ajouté afin de dissoudre l'huile. Après homogénéisation, le mélange a été titré avec une solution de KOH alcoolique (0,05N) à l'aide d'une burette sous agitation, jusqu'à ce qu'une couleur rose clair sera observée. À la fin de titration, le volume de KOH alcoolique consommé sera lu sur la burette. L'indice d'acide a été calculé selon la formule suivante :

$$IA = \frac{M \times C \times V}{m \times 10}$$

IA (mg/g) : Indice d'acide.

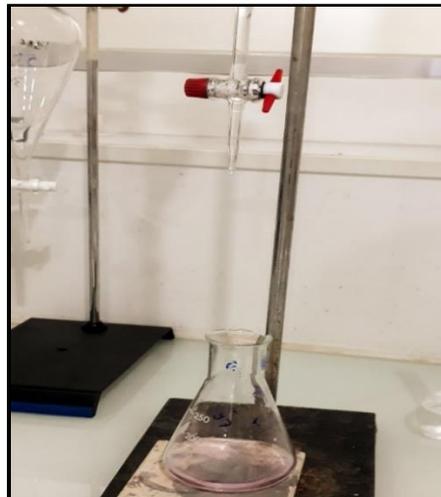
M : Poids moléculaire de l'acide oléique (282).

C (N) : Concentration de la solution KOH.

V (ml) : Volume de KOH utilisée.

m (g) : Masse de la prise d'essais d'HE

L'opération est répétée trois fois et les résultats sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart type.



**Figure 27:** Couleur rose claire observée après titration du mélange contenant l'huile essentielle d'Ail avec KOH alcoolique.

### 3.6. pH

Le pH est l'abréviation de potentiel d'hydrogène, mesure l'activité chimique des ions hydrogènes (H<sup>+</sup>) (Appelés aussi couramment protons) en solution. Plus couramment, le pH

mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Il s'agit d'un coefficient permettant de savoir si une solution est acide, basique ou neutre : elle est acide si son pH est inférieur à 7, neutre s'il est égal à 7, basique s'il est supérieur à 7 (Mehani, 2015).

Le pH des HE et d'hydrolats a été mesuré à température ambiante à l'aide du papier pH, on a plongé la bandelette dans la solution. Après 30 secondes, on a comparé alors la couleur de la zone réactive avec l'échelle de teintes pour déterminer la valeur du pH.

#### **4. Etude de l'activité antifongique des huiles essentielles et d'hydrolats d'Ail**

Après avoir accomplie la caractérisation morphologique des deux variétés d'Ail, l'extraction des HE et d'hydrolats ainsi que leur analyse physicochimique, vient l'étape principale de notre travail qui consiste à étudier leur l'effet antifongique sur les deux types de champignons : *Aspergillus niger* et *Fusarium* sp. L'ensemble des essais a été réalisé au niveau du laboratoire privé (Catalyse LAB).

##### **4.1. Préparation du milieu de culture et repiquage des souches fongiques**

La préparation du milieu de culture Potato Dextrose Agar (PDA) (annexe 1) et le repiquage des souches fongiques ont été effectués selon le protocole expérimental de Li *et al.*, (2013) ainsi qu'à partir des notions acquises lors d'un stage à l'INRAA de Constantine.

##### **4.2. Essais de l'activité antifongique**

Dans notre travail, l'étude de l'activité antifongique des HE et celle d'hydrolats, des deux variétés d'Ail vis à vis les différentes souches fongiques, a été réalisée par la méthode de dilution en milieu solide, appelé aussi méthode de contact direct. Cette dernière est rapportée par plusieurs auteurs notamment ; Ting-Ting *et al.*, (2011), Tabti *et al.*, (2014), et Krzyśko-Łupicka *et al.*, (2020).

Le principe de cette méthode est basé sur le fait que, l'extrait végétal (HE, hydrolat...) préparé est mélangé avec le milieu de culture, afin d'obtenir les concentrations voulues. Par la suite un disque de souche fongique est prélevé d'une culture âgée en générale de sept (7) jours et transféré au centre de chaque BP. Les boîtes ainsi inoculées sont incubées.

##### **4.2.1 Détermination des concentrations des huiles essentielles et hydrolats**

Le choix de concentrations, a été adopté suite aux essais préliminaires réalisé avec l'HE et l'hydrolat extraites à partir de la variété RL, afin d'avoir une idée préalable sur leur efficacité. Nous nous sommes référés de la bibliographie et des travaux de recherche scientifique de Khebbab et Bouanaka (2018) et de Krzyśko-Łupicka *et al.*, (2020). Les concentrations sont montrées dans le **tableau 6** ci-dessous :

**Tableau 6** : Gammes de concentrations préliminaires des huiles essentielles et hydrolats d'Ail.

Souche fongique	<i>Fusarium sp</i>							<i>Aspergillus niger</i>						
Type d'extrait végétale	HE			Hydrolat				HE			Hydrolat			
Concentration ( $\mu\text{l}/15\text{ml}$ )	75	150	3000	75	300	600	3000	75	100	125	75	125	250	3000

En se basant sur les résultats de ces essais, la gamme de concentrations finale des HE et d'hydrolats d'Ail pour les deux souches fongiques (**tableau 7**) est la suivante :

**Tableau 7** : Gammes de concentrations finale des huiles essentielles et hydrolats d'Ail.

Type d'extrait végétale	HE						Hydrolat			
Concentration ( $\mu\text{l}/15\text{ml}$ )	1	3	5	10	25	50	100	150	200	250

#### 4.2.2 Préparation des dilutions

Quinze (15) ml de PDA fondus, ont été mis dans un bécher en lui rajoutant à chaque fois, la quantité appropriée de l'HE d'Ail (1, 3, 5, 10, 25 et 50 $\mu\text{l}$ ) ensuite celle d'hydrolat (100, 150, 200 et 250 $\mu\text{l}$ ). Chaque mélange est homogénéisé par agitation manuelle puis son contenu est versé dans une boîte de Pétri de 90mm de diamètre. Le mélange ainsi versé et laissé jusqu'à refroidissement et solidification.

En parallèle, nous avons utilisé des témoins négatifs (PDA sans ajout d'HE) afin de vérifier la bonne croissance des deux souches et des témoins positifs pour prouver la sensibilité des souches et pour pouvoir effectuer une étude comparative entre l'activité des extraits et celle des antifongiques classiques. Pour cela on a utilisé des médicaments antifongiques qui sont le fluconazole incorporés dans le milieu PDA de la même façon que pour les extraits végétaux, avec une concentration de 10 $\mu\text{l}/15\text{ml}$ . Trois répétitions ont été effectuées pour chaque essais.

#### 4.2.3 Ensemencement

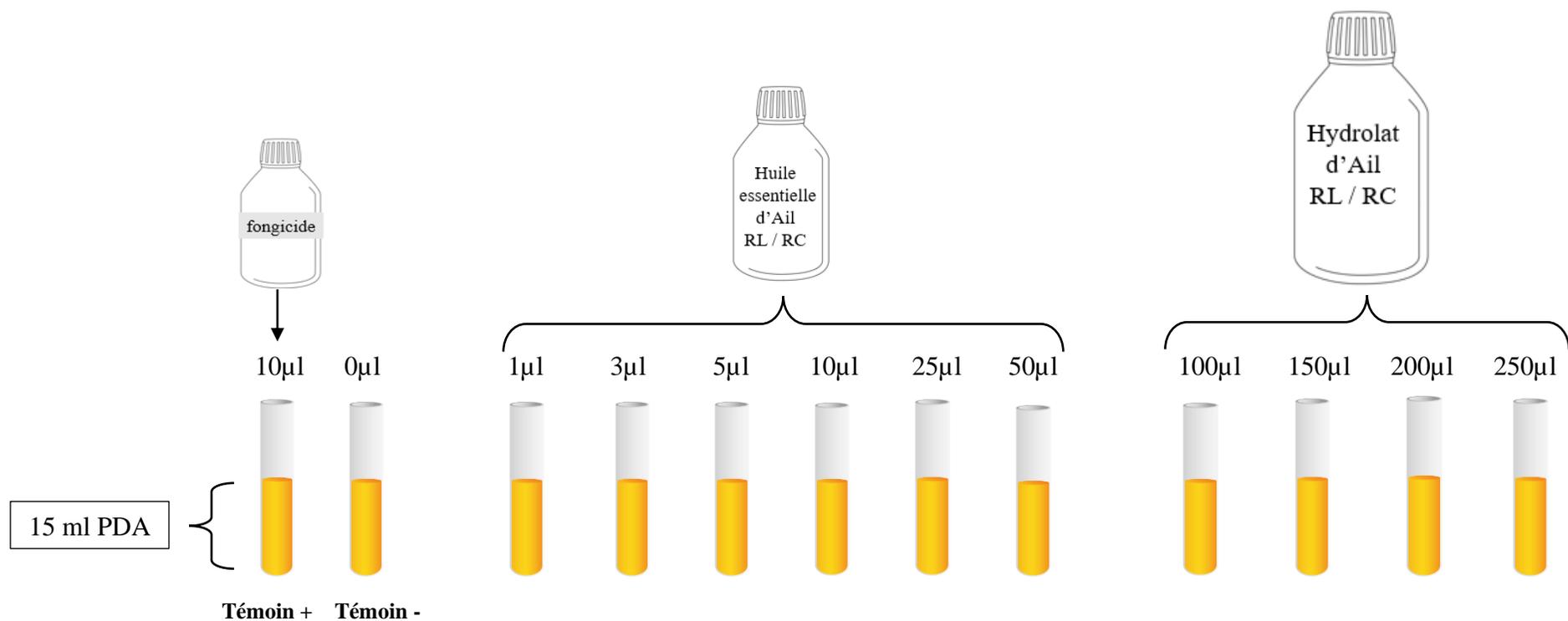
Après solidification du milieu, l'ensemencement est fait par dépôt des morceaux d'à peu près 5mm de souches fongiques, enlevées des cultures précédentes âgée de 7 jours, et ont été déposés au centre de chaque boîte de Pétri.

#### 4.2.4 Incubation

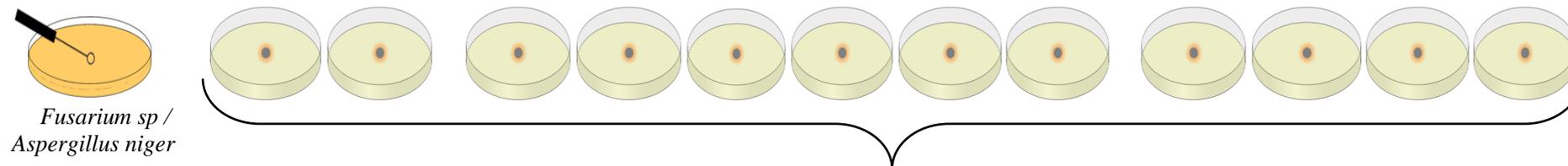
Les BP (témoins et essais) ont été incubées à 23°C pendant 7 jours (Mallet *et al.*, 2014) jusqu'à ce que la croissance dans les boîtes de contrôle atteigne les bords des BP.

L'ensemble de de tous ces étapes sont résumées dans la **figure 28** ci-après :

**Préparation des dilutions**



**Ensemencement**



**Incubation**

**Figure 28** : Protocole adopté pour étudier l'effet antifongique des huiles essentielles et d'hydrolats d'Ail sur les deux champignons.

#### 4.2.5 Lecture des résultats

À la fin du temps approprié d'incubation, on a mesuré les diamètres de différentes colonies de champignons et comparée aux échantillons témoins, pour calculer le taux d'inhibition (I%). Ce taux est calculé par la formule rapportée par Üstüner *et al.*, (2018) comme suit :

$$I\% = \frac{Dt - De}{Dt} \times 100$$

I (%) : Pourcentage d'inhibition.

Dt (cm) : Diamètre de la colonie de champignons sur la boîte du témoin négatif.

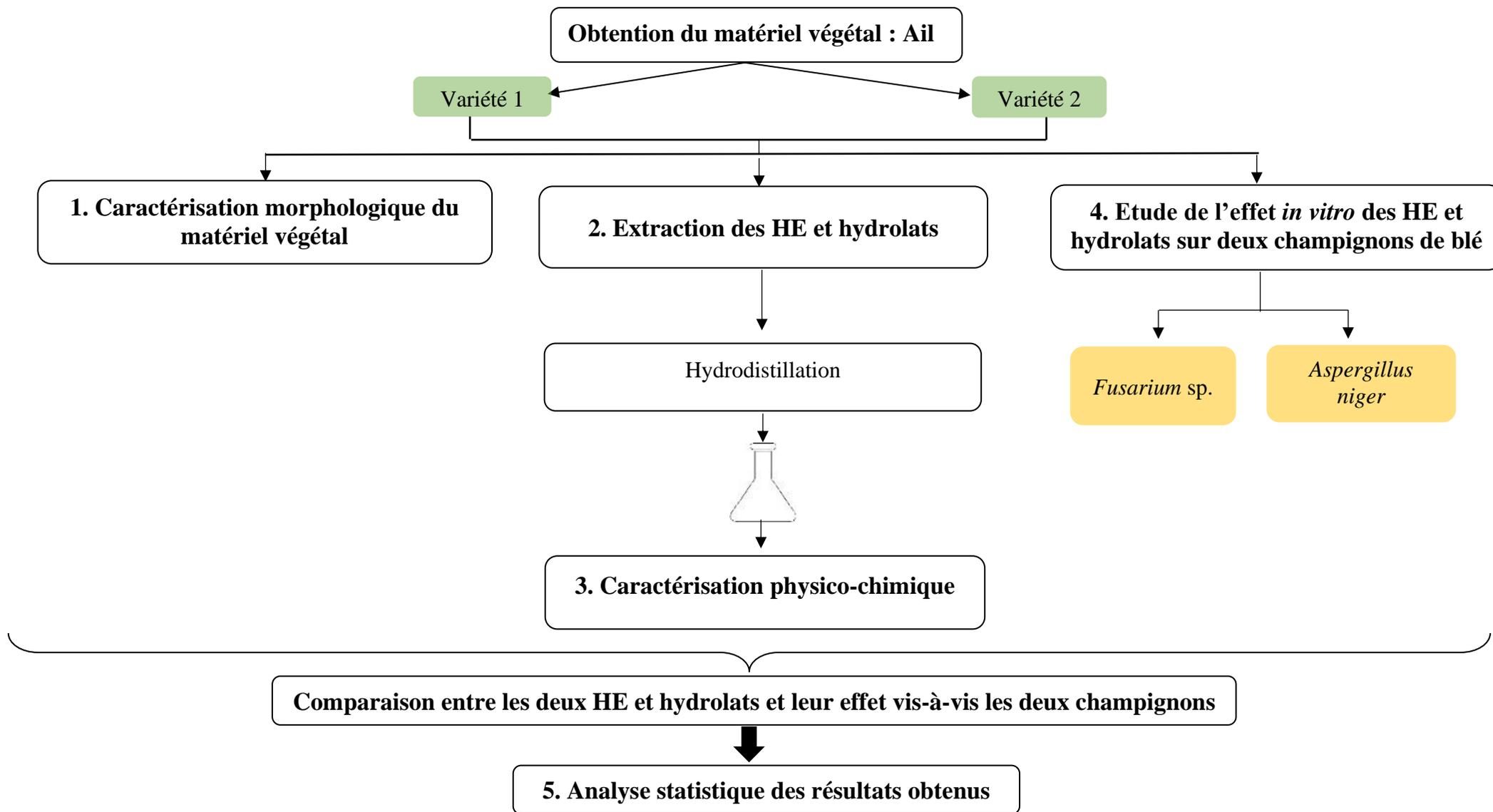
De (cm) : Diamètre de la colonie de champignons sur la boîte de l'échantions contenant l'huile / hydrolat.

Ces mesures ont été utilisées pour déterminer la concentration minimale inhibitrice (CMI) ; qui correspond à la plus petite concentration à partir de laquelle aucune croissance fongique n'est observée (une inhibition de la croissance mycélienne à 100 %) (Tabti *et al.*, 2014 ; Labiod, 2016).

### 5. Analyse statistique

Pour répondre aux objectifs fixés et exploiter nos données, nous avons effectué une analyse statistique au seuil de signification 5%, la comparaison entre deux moyennes a été réalisée à l'aide du test de *student*, alors que, l'analyse de variances (ANOVA) a été adoptée pour la comparaison multiple de plusieurs moyennes afin de déceler les variations dues à l'effet variété. Ensuite, une série d'analyses de corrélations de (pearson (n)), et en composantes principales (ACP) ont été effectuées dans le but de révéler et de visualiser les relations entre quelques paramètres. Le logiciel XlStat (Version 2020.3.1) a été employé pour l'ensemble des analyses statistiques.

La méthodologie a été récapitulée et présentée dans la **figure 29**



**Figure 29** : Méthodologie adoptée afin d'étudier l'effet antifongique des huiles essentielles et d'hydrolats d'Ail sur les deux champignons pathogènes de blé.

*Résultats et  
discussion*

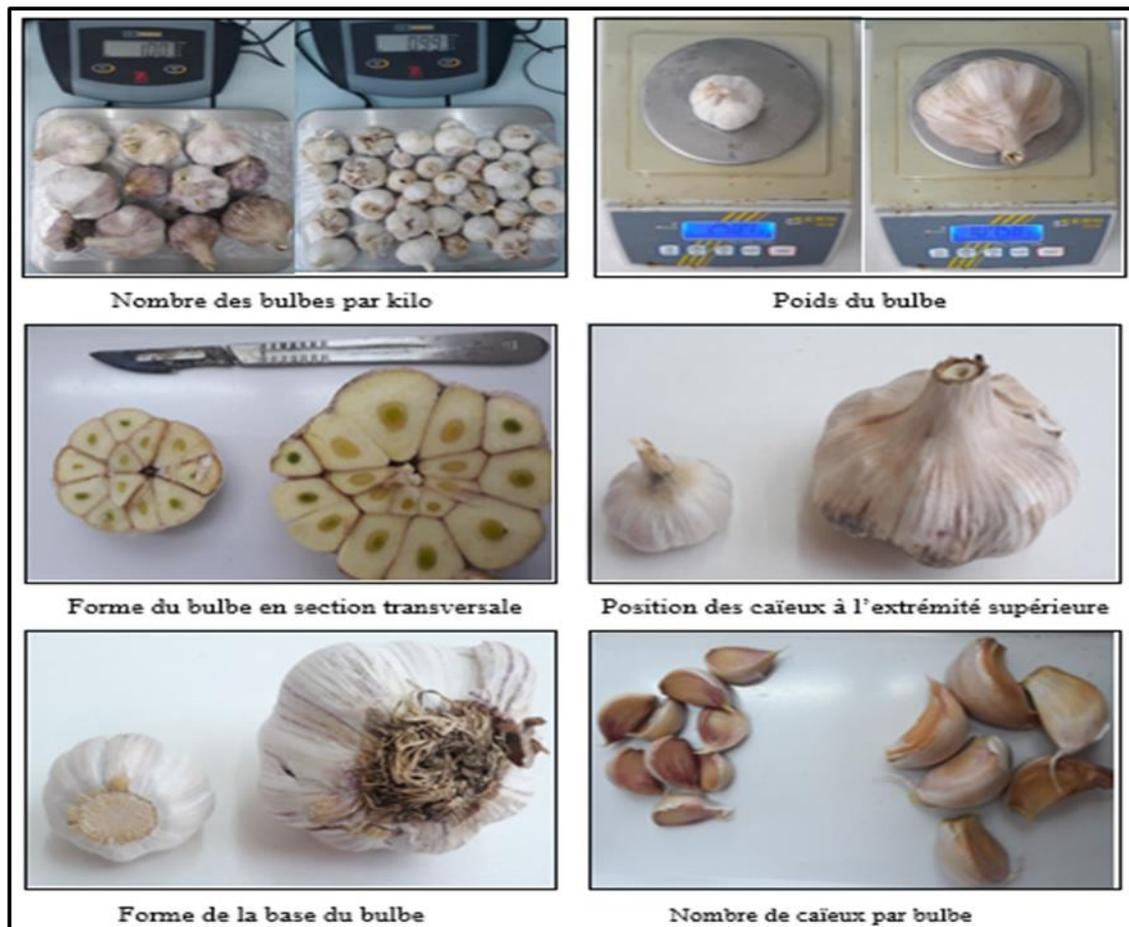
## Résultats et Discussions

Les résultats obtenus pour les paramètres morphologiques, physico-chimiques et pour l'activité antifongique des deux variétés d'Ail étudiées seront présentés comme suit :

- ✓ Caractéristiques morphologiques du matériel végétal étudié ;
- ✓ Rendement en huiles essentielles et hydrolats ;
- ✓ Caractéristiques physicochimiques des paramètres mesurés à savoir : pH, indice de réfraction, taux d'humidité et de la matière volatile, densité relative, et l'indice d'acide ;
- ✓ Test de l'activité antifongique des huiles essentielles et hydrolats d'Ail sur deux types de champignons.

### I. Caractéristiques morphologiques des deux variétés d'Ail étudiées

L'ensemble des résultats obtenus pour les paramètres morphologiques quantitatifs et qualitatifs sont présentés dans la **figure 30** et les **tableaux 8 et 9** respectivement.



**Figure 30** : Principales étapes réalisées lors de l'identification morphologique des deux variétés d'Ail étudiées.

**Tableau 8** : Description des caractéristiques morphologiques quantitatives des deux variétés d'Ail (RL et RC).

Paramètres Quantitatives	Variété RL (moy±ET)	Min	Max	CV %	Variété RC (moy±ET)	Min	Max	CV %	P	Sig
<b>NB / KG</b>	42,87 ± 5,41	37	52	12,61	10,87 ± 0,83	10	12	7,67	0,00	***
<b>PB (g)</b>	24,41 ± 8,79	7.77	33.78	36,02	106, 69 ± 20,80	67.1	129.77	19,4 9	0,00	***
<b>DB (Cm)</b>	4,23 ± 0.65	3.2	5	15,44	7,4 ± 0,10	7.3	7.5	1,35	0,00	***
<b>NC/ BULBE</b>	11,25 ± 1,5	9	13	13,48	14,37 ± 0,92	13	15	6,37	0,00	***
<b>PC(g)</b>	2,29 ± 0,81	1.36	3.75	35,41	7,78 ± 1,72	5.62	11.26	22,1 5	0,00	***

**NB** : nombre de bulbe, **PB** : poids de bulbe, **DB** : diamètre de bulbe, **NC** : nombre de caïeux, **PC** : poids de caïeux, **Min** : minimum, **Max** : maximum, **CV%** : coefficient de variation, **Sig** : signification : \* $P < 0,05$  (significatif) ; \*\* $P < 0,01$  (très significatif) ; \*\*\*  $P < 0,001$  : (hautement significatif) ; NS (non significative).

Les résultats des mesures morphologiques pour le caractère nombre de bulbe par kg, montrent que la variété RL présentent un nombre important de bulbe avec une moyenne de 42,87 comparativement à la variété RC (10,87). Contrairement, pour le caractère poids de bulbe la valeur la plus élevée est notée chez de la variété RC.

Ainsi pour le diamètre de bulbe qui été plus grand chez la variété RC que celle de la RL ( $7,4 \pm 0,10$  vs  $4,23 \pm 0,65$ ) cm respectivement. Quant au nombre de caïeux par bulbe et le poids de caïeux, les valeurs les plus faibles sont observées chez la variété RL (11,25 et 2,29) g respectivement, tandis que, la variété RC a été caractérisée par des moyennes plus grandes pour ces mêmes paramètres (14,37 et 7,78) g respectivement.

Nos valeurs obtenues pour la variété RL concordent avec celles enregistrées par Boukeria (2016) à travers une étude portant sur quatre variétés d'Ail fournies par ITCMI d'OEB. Cette étude a montré des valeurs proches pour la même variété RL, à savoir : nombre de bulbe par kg : 37,67 ; poids de bulbe : 27,38g ; nombre de caïeux par bulbe : 13,67 ; poids de caïeux : 2,56g. La comparaison avec les autres variétés : Messedrom, Germidour et Mocpta Bulgare, elles présentent toutes une allure semblable avec nos résultats pour la variété RL concernant le poids de caïeux et leur nombre par bulbe. Pour le poids de bulbe et leur nombre par Kg, les résultats sont à proximité de la RL sauf pour la variété Mocta Bulgare qui présente des valeurs différentes a noté respectivement : 17,67g et 58.

Pour ces mêmes paramètres, les résultats d'étude de Hirata *et al.*, (2016) sur une collection de variétés d'Ail provenant des régions très diversifiée du monde (Région sud-est

méditerranéenne, Asie centrale...) rapporte des moyennes relativement proches à notre variété RL pour leurs variétés de la zone méditerranéenne. Contrairement au nombre de caïeux qui a été similaire à celle de la variété RC. Medine et Yessaad (2017) dans leur travail concernant les variétés : rouge d'Espagne, rouge d'Iran et une variété chinoise, le nombre de caïeux qu'elles ont rapporté a des valeurs inférieures qui sont respectivement pour les trois variétés : 10,24 ; 10,38 ; 7,37.

D'une autre part, l'expérimentation de Ayed *et al.*, (2019) sur une collection de 36 variétés d'Ail tunisienne locale a montré un intervalle de valeurs très proches pour le diamètre de bulbe en comparaison avec nos résultats pour la variété RL, de même pour le poids de bulbe où on a noté des valeurs adjacentes mais aussi d'autres inférieurs à l'entour de 13,43g. En revanche, pour le nombre de caïeux un intervalle important allant de 4,67 à 27,81 a été enregistré, ce dernier inclus des résultats similaire à nos résultats pour les deux variétés RL et RC mais aussi d'autres qui sont très éloignés. Enfin des valeurs voisines à nos résultats ont été enregistrés pour les deux variétés concernant le poids des caïeux.

La comparaison statistique des deux lots révèle une différence hautement significative au seuil de 5% pour tous les paramètres morphologiques quantitatifs, avec des valeurs de coefficient de variation très élevées (supérieur à 5) sauf pour de diamètre du bulbe de la variétés RC qui est égale à 1,35%. Ce qui peut être expliqué par une variabilité inter-variétés.

**Tableau 9** : Notations descriptives des bulbes et caïeux d'Ail des deux variétés RL et RC.

Paramètres	Variétés	
	RL	RC
Taille du bulbe	Moyenne	Grande
Forme du bulbe en section longitudinale	Elliptique large	Elliptique large
Forme du bulbe en section transversale	Arrondie	Arrondie
Position des caïeux à l'extrémité supérieure du bulbe	Au même niveau	Extérieure
Position du plateau racinaire du bulbe	Plane	Plane
Forme de la base du bulbe	Plate	Plate
Couleur de fond des tuniques des bulbes externes	Blanche	Blanche
Striures anthocyaniques sur la tunique du bulbe	Absentes	Présentes
Épaisseur des tuniques externes sèches	Moyennes	Épaisses
Distribution des caïeux	Rayonnante	Rayonnante
Caïeux externes	Absentes	Absentes
Taille des caïeux	Petite	Grande
Couleur de la tunique des caïeux	Rose violette	Brune
Striures anthocyaniques de la tunique des caïeux	Absentes	Présentes
Couleur de la chair	Crémeuse	Crémeuse

En ce qui concerne les paramètres qualitatifs basés sur les observations phénotypiques : la variété RL se caractérise par sa taille petite à moyenne et ses petits caïeux positionnés au même niveau à l'extrémité supérieure du bulbe. Elle se caractérise également par des tuniques externes moyennement épaisses, où les striures anthocyaniques sont absentes pour les tuniques de bulbe ainsi pour celles des caïeux qui prennent la couleur rose violette. Les mêmes observations sont notées par Boukeria (2016) concernant les notations descriptives des caïeux, tandis que, pour celle des bulbes, des observations différentes ont été rapportées : les tuniques externes des bulbes étaient épaisses avec la présence des striures anthocyaniques.

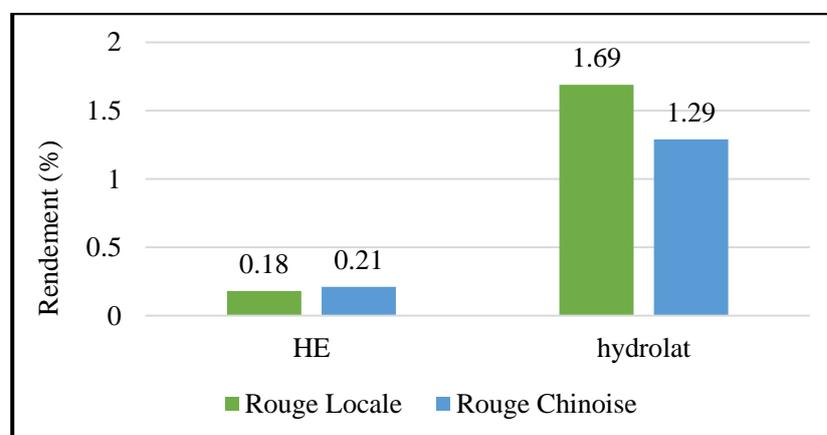
À l'opposition de ces paramètres mentionnés pour la variété RL, la variété RC se caractérise par une grande taille, marquée pour le bulbe ainsi que pour les caïeux positionnés à l'extérieur de l'extrémité supérieure du bulbe. Concernant la tunique externe, elle est épaisse présentant des striures anthocyaniques. Ces dernières sont ainsi présentes sur les caïeux colorés en brun.

Pour le reste des paramètres observés (forme du bulbe en section longitudinale et en section transversale, distribution des caïeux, couleur de la chair...) chez les deux variétés étudiées locale et chinoise, elles ne présentent aucune différence.

Sur la base des différents paramètres morphologiques étudiées sur les deux variétés, un polymorphisme phénotypique plus au moins important est mis en évidence où certains caractères telles que : la taille de bulbe, la couleur de la tunique des caïeux ... sont spécifiques pour la variété d'où la présence des effets génotypes significatifs.

## II. Rendement en huiles essentielles et hydrolats

L'extraction des HE et hydrolats par hydrodistillation à partir d'une masse végétale de 7.5kg des deux variétés d'Ail a permis d'obtenir les rendements représentés dans la **figure 31**.



**Figure 31** : Rendement d'huiles essentielles et hydrolats des deux variétés d'Ail : RL et RC.

Les résultats obtenus montrent un rendement en HE plus important pour la variété RC que celui de la RL. Les valeurs sont respectivement : 0,21% et 0,18%. Inversement le rendement en hydrolat la valeur la plus importante a été notée chez la variété RL (1,69%). Ainsi, nous remarquons clairement que le rendement en HE est très minime en comparant avec l'hydrolats.

Les valeurs observées dans notre étude concernant le rendement en HE de la variété RL sont inférieure par rapport à l'étude de Boukeria (2016) malgré l'utilisation de la même variété et la même méthode d'extraction. Nos valeurs sont toujours inférieures par rapport aux autres variétés utilisées par cette même étude et en comparaison avec les expérimentations de : Li *et al.*, (2010) et Yang *et al.*, (2012), cependant, la méthode d'extraction n'était pas la même. Les valeurs voisines aux notre sont rapportées par Ait ammar et Bel guelleoui (2017) ; Khan *et al.*, (2017), tandis que, Khadri (2009) a marqué un rendement très minime égale à 0,09%. Le **tableau 10** résume les différents résultats.

**Tableau 10** : Comparaison des résultats du rendement (R%) en huile essentielle avec les autres travaux de recherche.

Source	Provenance du MV	Espèce / variété étudiée	Méthode d'extraction	R (%)
La présente étude Djerboua (2020)	Constantine, Algérie	Rouge locale	Hydrodistillation	0,18
	Mila, Algérie	Rouge chinoise		0,21
Khadri (2009)	El Harouche wilaya de Skikda, Algérie	<i>Allium sativum</i>	Hydrodistillation	0,09
Boukeria (2016)	ITCM d'OEB, Algérie	Rouges locale	Hydrodistillation	0,72
		Messedrom		0,46
		Germidour		0,61
		Mocpta-Bulguar		0,51
Ait ammar et Bel guelleoui (2017)	Boumerdès, Algérie	<i>Allium sativum</i>	Hydrodistillation	0,15
Li <i>et al.</i> , (2010)	Suzhou City, Chine	<i>Allium sativum</i>	Par solvant organique : éthanol	0,7
			S.O : éthyle acétate	0,69
			S.O : ligarine	0,75
			S.O : n-pentane	0,76
Yang <i>et al.</i> , (2012)	Changzhou City, Chine	<i>Allium sativum</i>	Par micro-ondes	0,478
Khan <i>et al.</i> , (2017)	IIT de Kharagpur	<i>Allium sativum</i>	Hydrodistillation	0,18

MV : matériel végétal ; S.O : Solvant Organique ; IIT : Institut Indien de Technologie.

D'après la recherche bibliographique effectuée, nous avons remarqué un manque des travaux concernant l'utilisation d'hydrolat d'Ail ce qui a engendré des difficultés de comparaison qui n'as pas permis de tirer des conclusions claires.

Nous constatons que la variété RC présente un rendement élevé en HE par rapport à la RL. Tandis que, pour l'hydrolat le rendement le plus élevé a été enregistré par la variété locale. L'Ail présente un rendement faible en HE par rapport aux autres espèces végétales, notant le rendement en HE d'oignon qui varie entre 0,40 à 0,64 (Boukeria, 2016).

La teneur en huile essentielle par rapport à la matière fraîche, varie en fonction de la variété. Cette variation, peut-être expliquée d'une part par le comportement génétique de la plante ou encore due à la période de récolte, la méthode de séchage et protocole d'extraction...

### III. Analyse de la matrice de corrélation de (Pearson(n)) entre les paramètres morphologiques quantitatifs et le rendement d'huile et d'hydrolats

La recherche des corrélations entre les paramètres morphologiques quantitatifs d'une part et d'autres part leurs relation avec les rendements en HE et hydrolats, a été réalisé dans le but d'une meilleure exploitation statistique des résultats pratique obtenus.

Des matrices de corrélation ont été générées en utilisant les coefficients de corrélation de Pearson. Les corrélations sont considérées significatives pour  $P < 0.05$ . Pour chaque variété nous avons établi la matrice de corrélation des différents paramètres.

#### ➤ Variété RL

La détermination du coefficient de corrélation permet de mesurer l'intensité de la corrélation entre deux caractères quantitatifs. La matrice de corrélation entre les variables de la variété RL sont montrées dans le **tableau 11** ci-dessous.

**Tableau 11** : Matrice de corrélation entre les paramètres morphologiques quantitatifs et les rendements en huile essentielle et hydrolats de la variété RL.

Variables	NB	PB	D	NC	PC	R HE	R Hyd
NB	<b>1</b>	-0,281	0,301	0,631	0,229	-0,368	-0,385
PB		<b>1</b>	0,050	-0,402	0,444	<b>0,912*</b>	<b>0,879*</b>
DB			<b>1</b>	0,088	0,286	0,028	0,031
NC				<b>1</b>	-0,137	-0,642	-0,691
PC					<b>1</b>	0,258	0,271
R HE						<b>1</b>	<b>0,989*</b>
R Hyd							<b>1</b>

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$ , \* $P < 0,05$  (significatif) ; \*\* $P < 0,01$  (très significatif) ; \*\*\*  $P < 0,001$  : (hautement significatif).

D'après ces résultats, il ressort que le poids de bulbe est corrélé fortement et significativement au rendement en HE avec un coefficient  $r = 0.912$  ( $P < 0.05$ ) et avec le

rendement en hydrolat (Hyd) :  $r = 0.879$  ( $P < 0.05$ ) : plus le poids de bulbe est élevé plus les rendements en HE et hydrolat sont plus importants.

On constate aussi qu'il existe une très forte corrélation positive et significative entre les rendements en HE et hydrolat, au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ .

En revanche, le rendement n'est plus corrélé significativement avec le reste des paramètres morphologiques.

➤ **Variété RC**

La matrice de corrélation de la variété RC (**tableau 12**), montre des corrélations très importantes, positive et significatives pour le poids de bulbe avec le rendement en HE ( $r = 0.99$  pour  $P < 0.05$ ) et hydrolat ( $r = 0.88$  pour  $P < 0.05$ ). Ainsi il existe une forte corrélation positive entre les rendements en HE et hydrolats.

On note une corrélation négative significative ( $r = -0.74$  pour  $P < 0.05$ ) entre le poids de caïeux et le diamètre, ce résultat n'a pas été enregistré pour la variété RL.

**Tableau 12** : Matrice de corrélation entre les paramètres morphologiques quantitatifs et les rendements en huile essentielle et hydrolats de la variété RC.

Variables	NB	PB	D	NC	PC	R HE	R Hyd
NB	<b>1</b>	0,395	0,301	-0,677	0,011	0,380	0,394
PB		<b>1</b>	-0,543	0,258	0,553	<b>0,993*</b>	<b>0,886*</b>
DB			<b>1</b>	-0,578	<b>-0,740*</b>	-0,494	-0,288
NC				<b>1</b>	0,132	0,264	0,231
PC					<b>1</b>	0,517	0,345
R HE						<b>1</b>	<b>0,908*</b>
R Hyd							<b>1</b>

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha = 0,05$ , \* $P < 0,05$  (significatif) ; \*\* $P < 0,01$  (très significatif) ; \*\*\* $P < 0,001$  : (hautement significatif).

L'ensemble des résultats obtenues pour les matrices de corrélation entre les deux variétés sont différents à celui de Boukeria (2016) ; Ayed *et al.*, (2019) qui montre des corrélations significatives entre plusieurs couples de variables quantitatifs. Les coefficients de corrélation indiquent, en effet, qu'il existe une forte corrélation positive avec le poids de bulbe et avec le nombre de caïeux par bulbe.

Dans le même contexte, nos résultats n'était pas similaire à celui de Wang *et al.*, (2014) pour une variété de Chine, où il y avait une forte corrélation positive ( $r = 0,87$ ) entre le poids et

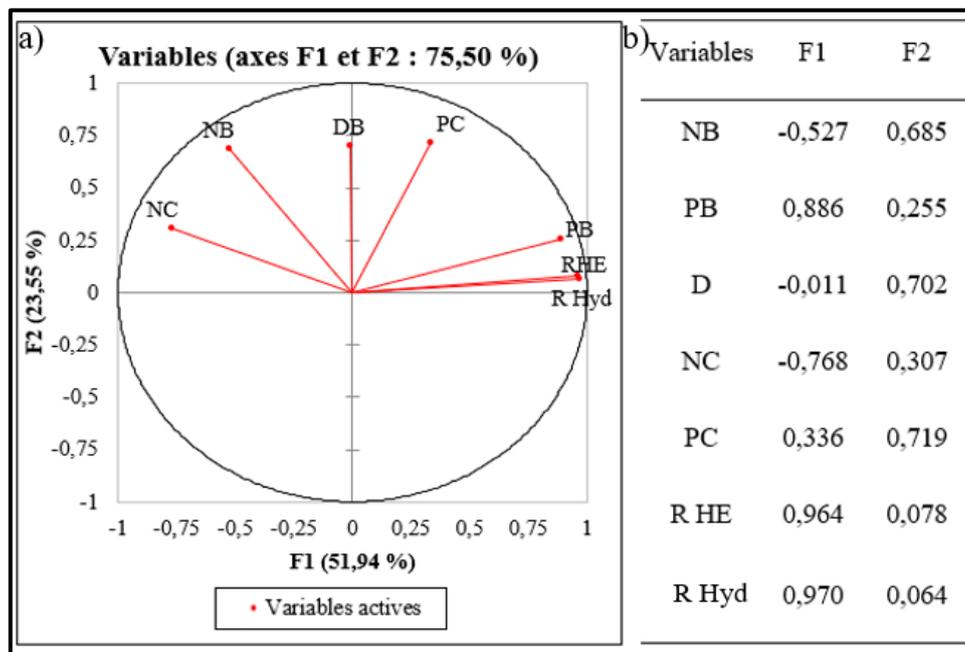
le diamètre des bulbes et le nombre de caïeux était modérément négativement corrélé ( $r = -0,4$ ) avec le poids des caïeux.

#### IV. Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique statistique permettant de réduire un système complexe de corrélations en un plus petit nombre de dimensions. Le but ici est de visualiser la corrélation entre les caractéristiques morphologiques quantitatives et les rendements en huiles essentiels et hydrolats.

##### ➤ Variété RL

La projection sur les deux premiers axes de l'ACP de l'ensemble des variables étudiées sur les sept (7) paramètres de la variété RL est illustrée dans la **figure 32**.



**Figure 32** : Carte factorielle des paramètres quantitatifs de la variété RL.

a) Projection des variables étudiées dans les deux premiers axes. b) Coordonnées des variables sur les deux premiers axes

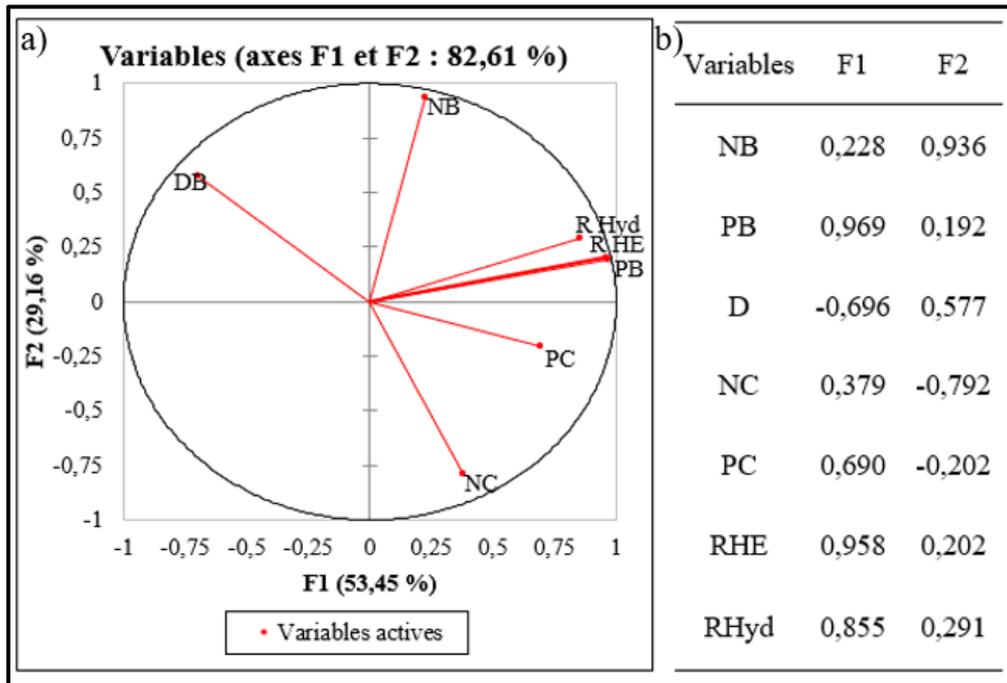
Les deux premiers axes expliquent 75.5% de la variabilité. La première composante expliquant un important pourcentage de variabilité (51.94%) se caractérise principalement par le poids de bulbe, le rendement en HE et hydrolat positivement liées à cet axe. Le caractère nombre de caïeux sur le côté négatif. La deuxième composante expliquant 23.55% de la variabilité était principalement caractérisée par le diamètre du bulbe, poids de caïeu et nombre de bulbe sur le côté positif.

L'analyse en composantes principales montre donc que le poids de bulbe est corrélé fortement avec les rendements en HE et hydrolats de la variété RL, tandis que le nombre de

caïeux est corrélé négativement. Quant aux : diamètre du bulbe, poids de caïeu et nombre de bulbe ne sont pas du tout corrélés avec le rendement.

➤ **Variété RC**

Les résultats de l'analyse en composantes principales pour la variété RC montrent que, les deux premiers axes expliquent 82.61% de la variation totale disponible dans la matrice des données soumises à l'analyse (53.45% axe1, 29.16% axe2) (**figure 33**).



**Figure 33:** Carte factorielle des paramètres quantitatifs de la variété RC.

a) Projection des variables étudiées dans les deux premiers axes. b) Cordonnées des variables sur les deux premiers axes.

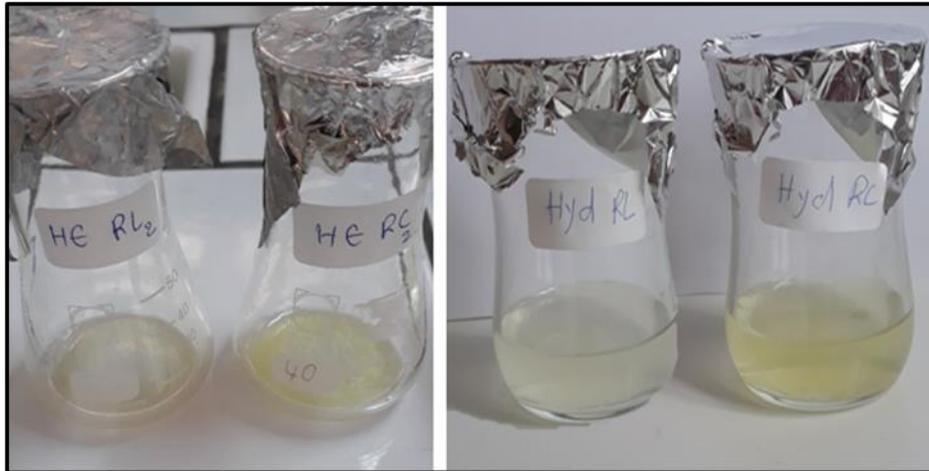
Cinq variables sont bien représentées par l'axe1, ils se définie du côté positif par : les rendements en HE et hydrolats, le poids de bulbe et de caïeux et du côté négatif par le diamètre du bulbe. La variable nombre de bulbe par kilogramme est positivement corrélée à l'axe2 et le nombre de caïeux par bulbe est négativement corrélée à ce même axe.

L'analyse en composantes principales montre donc que le poids de bulbe est corrélé fortement avec les rendements en HE et hydrolats pour les deux variétés d'Ail.

En comparant avec le travail de Boukeria (2016) Pour l'espèce *Allium sativum*, l'ensemble des analyses portant sur les caractères quantitatifs ont permis d'identifier une importante variabilité entre les variétés d'Ail à partir du rendement en bulbe, du nombre de bulbe par kilogramme et du poids d'un Bulbe.

## V. Caractéristiques physicochimiques des huiles essentielles et hydrolats d'Ail

L'ensemble des résultats des tests physico-chimiques des HE et hydrolats d'Ail des deux variétés sont regroupés dans la **figure 34** et les **tableaux 13 et 14**.



**Figure 34:** Caractérisation organoleptique par observation visuelle de la couleur des huiles essentielles et d'hydrolat des deux variétés d'Ail.

**Tableau 13 :** Caractérisation organoleptique des huiles essentielles et hydrolats des deux variétés d'Ail.

Variété	RL		RC	
Extrait	HE	Hydrolat	HE	Hydrolat
Aspect	Liquide	Liquide	Liquide	Liquide
Couleur	Jaune claire	Incolore à jaune pâle très claire	Jaune	Jaune claire
Odeur	Forte et désagréable	Légèrement forte et désagréable	Très forte et désagréable	Moins forte et désagréable

- Les résultats de l'analyse **organoleptique** montrent que les HE et hydrolat ont un aspect liquide, par contre ils diffèrent au niveau de la coloration et de l'odeur, elles sont moins marquées chez les hydrolats que chez les HE, car l'hydrolats sont plus au moins dilués. En ce qui concerne l'odeur était désagréable et caractéristique des *Alliacées*. L'HE de la variété RC avait une coloration plus intense et une odeur plus puissante que celle de la variété locale. À ce niveau on remarque que les deux variétés montrent une grande variation.

Nos observations concernant les résultats des caractéristiques organoleptiques correspondant à ceux de Boukeria (2016), Ait ammar et Bel guelleoui (2017) montrent un

aspect liquide pour l'HE d'Ail, une couleur qui varie dans les dégradations du jaune et une odeur aromatique très forte et persistantes des *Alliacées*.

L'ensemble des caractéristiques physico-chimiques des HE extraites à partir des 2 variétés sont présentées dans le **tableau 14** ci-après :

**Tableau 14** : Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles des deux variétés d'Ail.

Paramètres	Variété RL	CV%	Variété RC	CV%	P	SIG
<b>IR A 20°C</b>	1,51 ± 0,002	0,11	1,51 ± 0,02	1,13	0,00	NS
<b>Indice d'acide mg/g</b>	6,7 ± 0,00	1,49	5,9 ± 0,00	1,69	0,00	**
<b>Humidité %</b>	95,74 ± 0,00	0,01	95,84 ± 0,00	0,01	0,00	**
<b>Densité</b>	1,04 ± 0,001	0,09	1,06 ± 0,00	0,09	0,00	***
<b>PH</b>	6 ± 0	0	6,67 ± 0,58	8,66	0,00	NS

**CV%** : coefficient de variation, **Sig** : signification : \*  $P < 0,05$  (significatif) ; \*\*  $P < 0,01$  (très significatif) ; \*\*\*  $P < 0,001$  : (hautement significatif) ; NS (non significative) ; **IR** : Indice de réfraction

- Les valeurs des mesures de **l'indice de réfraction** à 20°C obtenus pour les HE des deux variétés étaient les mêmes et ne montrent aucune différence significative au seuil de 5%, la même valeur a été enregistrées par Oliveira *et al.*, (2019) (1,51 ± 0,01), tandis que, celles de Rafe et Nadjafi (2014) égale à 1.43 et l'étude de Boukeria (2016) pour les quatre variétés étudiées égale à 1,46, étaient inférieur par rapport à notre résultat. L'indice de réfraction dépend de la composition chimique de l'échantillon et varie essentiellement en fonction du contenu oxygéné et les monoterpènes, dont un niveau élevé de ces derniers donne un indice élevé. Un faible indice de réfraction des huiles essentielles indique une faible réfraction de la lumière (Boukeria, 2016).

- Les résultats des tests **d'indices d'acide** ne sont pas similaires pour les huiles des deux variétés RL et RC qui sont respectivement (6,7 ± 0,00 vs 5,9 ± 0,00). Nos valeurs, sont similaire à celles obtenues par Boukeria (2016) pour les trois variétés : RL (6,63) ; Germidour (6,78) et Mocpta-Bulguar (7.68), par contre elles sont inférieures à la valeur mentionnée pour la variété Messedrom (10.35). Dans le même contexte, Nos résultats sont inférieurs à ceux enregistrés par Ait ammar et Bel guelleoui (2017) (1,68 mg/g) et par Rafe et Nadjafi (2014) qui a obtenue en fonction de la méthode d'extraction trois valeurs différentes pour la même variété (2,80±0,20 ; 2,70±0,20 ; 2,50±0,15) mg/g.

- Ainsi, pour le **taux d'humidité et la matière volatile**, le terme « taux d'humidité » ici mesure en fait la teneur en substances se volatilisant par chauffage. Les pourcentages enregistrés d'humidité chez la variété RL et RC sont très élevés ( $95,74 \pm 0,00$  vs  $95,84 \pm 0,00$ ) ce qui confirme que notre huile est un liquide constituer principalement de matière volatile. Une différence très significative  $P < 0,01$  a été observé entre les deux variétés.

- On remarque que la densité des deux huiles est supérieure à celle de l'eau (1) ce qui explique le fait que la phase huileuse était au-dessous de la phase aqueuse lors de l'extraction, **la densité** d'HE présente une importante variabilité variétale, elle est de 1,04 pour la variété RL et de 1,06 pour la variété chinoise, cette différence est hautement significative. Les valeurs obtenues dans notre étude pour la variété RL sont à proximités de celles trouvées par Boukeria (2016) pour la même variété ainsi que pour les autres variétés, où la densité était aux alentours de 1,02. Dans le même contexte, Khadri (2009) ; Ait ammar et Bel guelleoui, (2017) ; Oliveira *et al.*, (2019) ont rapporté respectivement des valeurs inférieures : 1,028 ; 1,036 ; 0,9114.

La densité des huiles essentielles est très souvent inférieure à 1 (densité de l'eau) et varie en fonction de leur composition chimique. La valeur de 0,92 peut être considérée comme une moyenne. Elle en est parfois très proche. Quelques huiles essentielles ont même une densité très supérieure à l'eau, le cas de notre huile d'Ail ainsi que celle d'oignon *Allium cepa L.* : 1,54 à 1,58 (Deschepper, 2017).

- Les valeurs obtenues dans notre étude pour le **pH** des HE sont légèrement acide à l'ordre de 6 et 6,76 respectivement pour les deux variétés RL et RC. Ainsi que, pour les hydrolats nous avons obtenu une valeur de 7 pour les deux variétés. Aucune différence significative n'a été constatée pour ce paramètre.

Les valeurs des coefficients de variations calculées sont relativement faibles (inférieurs à 5%), ceci montre que les échantillons étudiés sont homogènes. L'étude statistique des deux variétés d'Ail concernant les paramètres physico-chimiques montre une différence significative pour la plupart des paramètres mesurés au seuil de 5 %, sauf pour l'indice de réfraction et le pH.

## **VI. Test de l'activité antifongique des huiles essentielles et hydrolats d'Ail sur les deux types de champignons**

Le test de l'activité antifongique des HE et hydrolats des deux variétés d'Ail, réalisé par la méthode de contact direct est montré exprimé en termes de taux d'inhibition (I%). Ce dernier

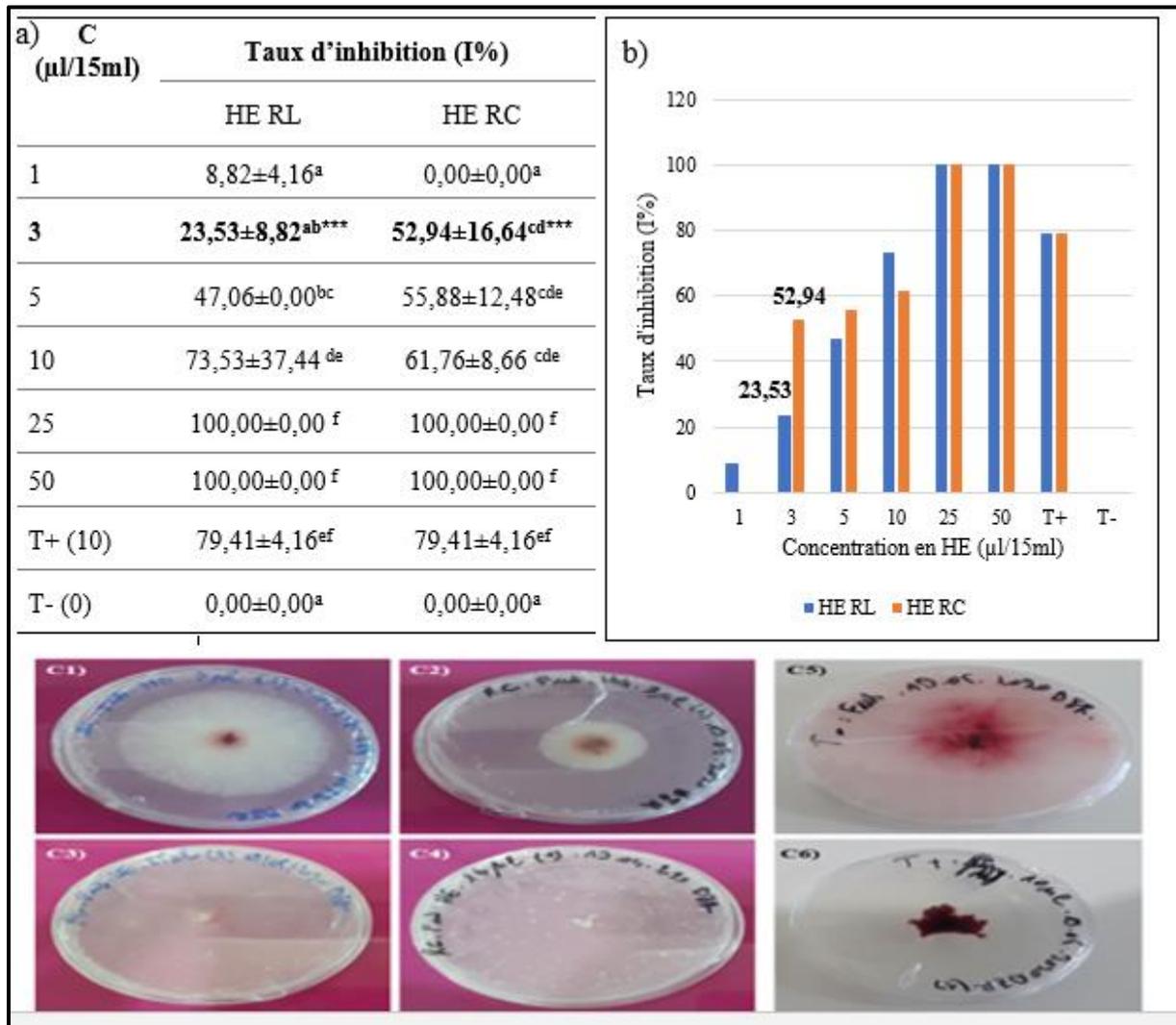
permettra d'estimer le caractère de sensibilité ou de résistance vis-à-vis les deux souches fongiques étudiées (*Fusarium* sp. et *Aspergillus niger*).

### 1) Effet de l'huile essentielle d'Ail sur la souche fongique *Fusarium* sp.

La croissance du *Fusarium* sp. a été inhibée à partir de la plus petite concentration (1 $\mu$ l/15ml) (**figure 35**) par HE de la variété RL en comparaison au témoin négatif (T-). Tandis que, l'effet de l'HE de la RC a commencé avec la concentration de 3 $\mu$ l/15ml. Les zones d'inhibition par les deux HE augmentent considérablement avec la concentration en huile.

L'étude statistique effectuée a révélé que la concentration utilisée pour le témoin positif (T+) (10 $\mu$ l/15ml) montre des taux d'inhibition (79,41%) identique avec ceux d'HE de la variété RL (73,53%) à cette même concentration. Alors que, l'effet d'HE de la variété RC a montré une activité similaire, mais à une concentration moins faible (5 $\mu$ L/15ml) avec un taux d'inhibition égale à 55,88%.

En parallèle, la comparaison statistique entre l'effet des deux HE vis-à-vis la souche fongique *Fusarium* sp. ne montre aucune différence sauf pour la concentration 3 $\mu$ l/15ml, elle est hautement significative ( $P < 0,001$ ) dont le pouvoir inhibiteur de HE de la variété RC est plus fort (52,94 $\pm$ 16,64) que celui de la RL (23,53 $\pm$ 8,32).



**Figure 35:** Effet de l'huile essentielle d'Ail sur *Fusarium* sp.

- a) Cordonnées des taux d'inhibition sur la souche fongique. b) Représentation graphique de l'effet d'HE. C1) et C2) Effet de l'HE (3 $\mu\text{l}/5\text{ml}$ ) de la variété RC et RC respectivement sur *Fusarium* sp. C3) et C4) Effet de la CMI (25 $\mu\text{l}/15\text{ml}$ ) de l'HE de la variété RL et RC respectivement sur *Fusarium* sp. C5) Témoin -. C6) Témoin+.

<sup>a,b,c,d,e,f</sup> signifie sur la même ligne ou la même colonne avec des exposants lettres différents ( $p < 0.05$ ).  
**C** : Concentration, **T+** : Témoins positif (fongicide), **T-** : Témoins négatif (sans HE).

Ces mesures ont été aussi utilisées pour déterminer la concentration minimale inhibitrice (CMI) qui est égale à 25 $\mu\text{l}/15\text{ml}$  pour les deux HE d'Ail contre *Fusarium* sp., rappelant que la CMI correspond à la plus petite concentration à partir de laquelle aucune croissance fongique n'est observée (inhibition totale 100%). La souche testée a montré une sensibilité à HE d'Ail ce qui confirme son effet inhibiteur.

En comparant nos résultats avec ceux des autres chercheurs (**tableau 15**), on remarque que par rapport à Benkeblia (2004) qui a testé l'effet de l'HE d'Ail contre *F. oxysporum* par la

méthode du contact direct, les concentrations utilisées étaient trop élevées (200, 300 et 500 ml/l) et ont révélé une activité inhibitrice importante pour une durée d'incubation qui est arrivé à 12 jours. Alors que, Üstüner *et al.*, (2018) ont utilisé la même méthode ainsi que des concentrations proches à nos valeurs. Cependant, un effet inhibiteur à 100% a été démontré pour toutes ces concentrations. Enfin Krzyśko-Łupicka *et al.*, (2020) a utilisé des concentrations trop faibles mais elles ont démontré qui ont eu un effet antifongique près de 100%.

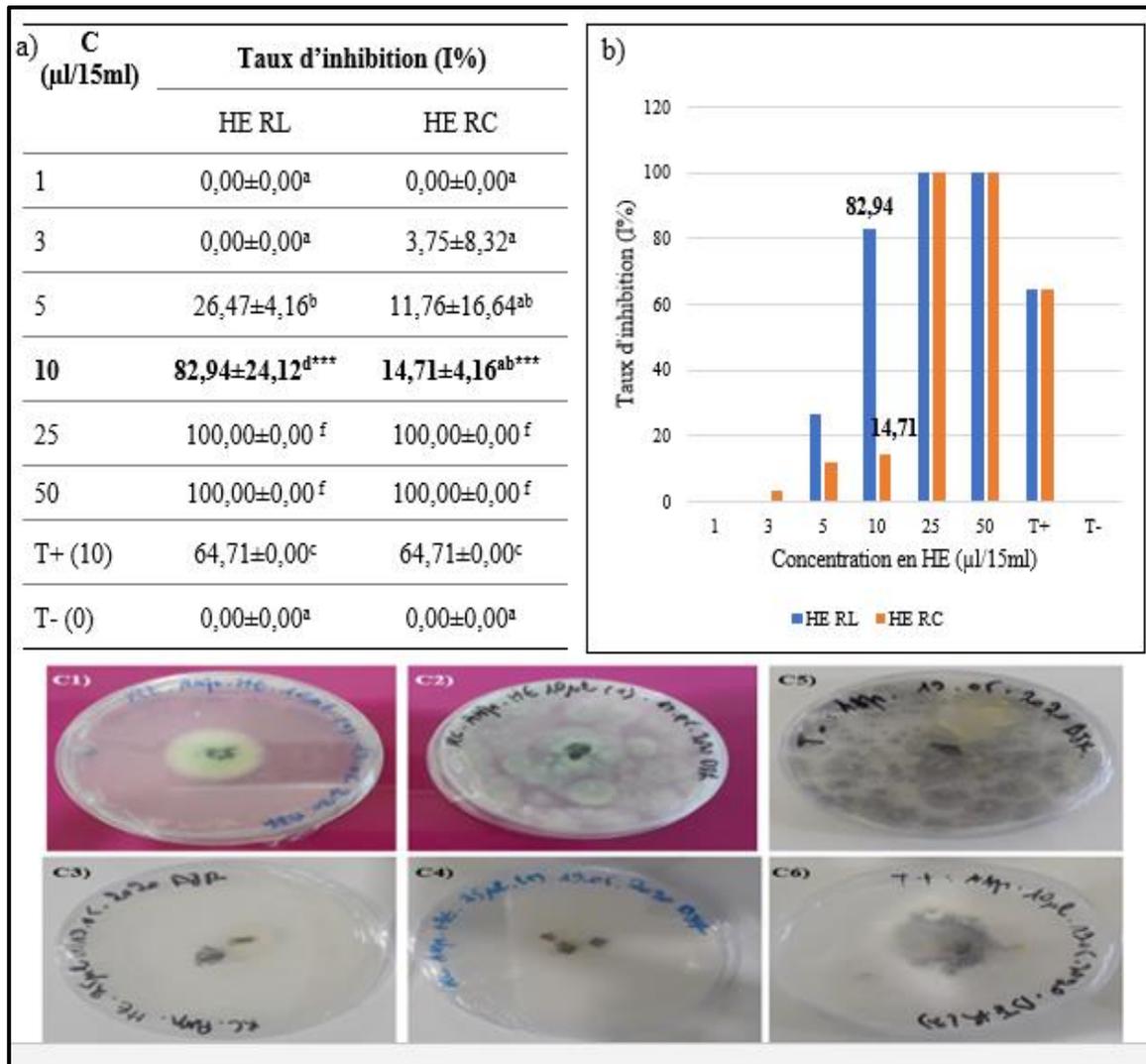
## 2) Effet de l'huile essentielle d'Ail sur la souche fongique *Aspergillus niger*

L'effet d'HE d'Ail sur la croissance d'*Aspergillus niger* est démontré dans la **figure 36**. Cet effet a commencé à partir de la concentration 5µl/15ml pour la variété RL et à 10µl/15ml pour HE de la RC.

Pour HE de la variété RL, le taux d'inhibition a augmenté proportionnellement avec les concentrations, jusqu'à inhibition totale (I= 100%). Tandis que, l'effet de l'HE de la RC reste non significatif en le comparant avec T-, à des concentrations allant de 1µl jusqu'à 10µl/15ml et c'est à la concentration : 25µl/15ml que cette HE s'est révélée efficace et montrée une inhibition totale de l'*Aspergillus niger*.

Après la comparaison de l'effet des deux HE RL et RC avec les T+ à la concentration de 10µl/15ml, l'étude statistique a montré que HE RL a un effet supérieur et plus important (82,94% ±24,12) que celui du fongicide (64,71% ±0,00), néanmoins, l'effet de l'HE de la variété RC était trop faible à minime avec un taux d'inhibition égale à 14,71%. C'est à cette concentration que nous avons noté une différence hautement significative ( $P < 0.00$ ) entre les deux HE d'Ail vis-à-vis *Aspergillus niger*.

La souche étudiée était totalement sensible à l'HE d'Ail des deux variétés à des concentrations de 25µl/15ml (CMI).



**Figure 36:** Effet de l’huile essentielle d’Ail sur *Aspergillus niger*.

a) Cordonnées des taux d’inhibition sur la souche fongique. b) Représentation graphique de l’effet d’HE. C1) et C2) Effet de l’HE (10 $\mu\text{l}/15\text{ml}$ ) de la variété RC et RC respectivement sur *Aspergillus niger*. C3) et C4) Effet de la CMI (25 $\mu\text{l}/15\text{ml}$ ) de l’HE de la variété RL et RC respectivement sur *Aspergillus niger*. C5) Témoin -. C6) Témoin+.

<sup>a,b,c,d,e,f</sup> signifie sur la même ligne ou la même colonne avec des exposants différents ( $p < 0.05$ )

**C** : Concentration, **T+** : Témoins positif (fongicide), **T-** : Témoins négatif (sans HE).

L’activité inhibitrice de l’HE d’Ail contre l’*Aspergillus niger* a été signalée par de nombreux auteurs (**tableau 15**), nos résultats obtenus sont similaires avec ceux de Benkeblia (2004) ; Khebbeb et Bouanaka (2018), mais ces auteurs ont utilisé des concentrations plus élevées en HE. Tandis que, Kocić-Tanackov *et al.*, (2012) a adopté des concentrations très faibles par rapport à tous les autres travaux, cependant, il a eu toujours le même effet. Cet effet est probablement expliqué par la faible résistance de *Aspergillus versicolor* par rapport aux autres souches fongiques.

**Tableau 15** : Résumé des résultats des études évaluant l'effet de l'huile essentielle d'Ail vis-à-vis *Fusarium* sp. et *Aspergillus niger*.

Source	Méthode du test antifongique	Durée d'incubation	Souche fongique	Concentration en HE	I (%)
<b>La présente étude Djerboua (2020)</b>	Contact direct	7 jours	<i>Fusarium</i> sp.	10µl/15ml	73,53
				25µl/15ml	100
			<i>Aspergillus niger</i>	5µl/15ml	26,47
				10µl/15ml	82,94
<b>Benkeblia (2004)</b>	Contact direct	12 jours	<i>F. oxysporum</i>	200, 300 et 500ml/l	Forte activité inhibitrice
<b>Üstüner et al., (2018)</b>	Contact direct	7 jours	<i>F.oxysporum</i>	5, 10, 15 et 20µg/cm <sup>2</sup>	100
<b>Krzyško-Łupicka et al., (2020)</b>	Contact direct	10 jours	<i>F. avenaceum</i>	2%	89,41
			<i>F. culmorum</i>	0,05%	100
			<i>F. graminearum</i>	1%	100
			<i>F. oxysporum</i>	2%	89,41
<b>Benkeblia (2004)</b>	Contact direct	10 jours	<i>A. niger</i>	50, 100, 200, 300 et 500ml/l	Un fort effet inhibiteur
<b>Kocić-Tanackov et al., (2012)</b>	Contact direct	7 jours	<i>A. versicolor</i>	0,01µg/mL	9,09
				0,02µg/mL	85,68
				0,05µg/mL	100
				0,11µg/mL	100
<b>Khebbeb et Bouanaka (2018)</b>	Diffusion par puits	3jours	<i>A. niger</i>	75µl	99,97
				100µl	100
				125µl	100

*F* : *Fusarium*, *I* : Taux d'inhibition.

En récapitulant, les conclusions suivantes ont été tirées suite à la différence de l'activité antifongique entre les deux HE : RL et RC contre les deux souches fongiques étudiées : *Fusarium sp.* et *Aspergillus niger* :

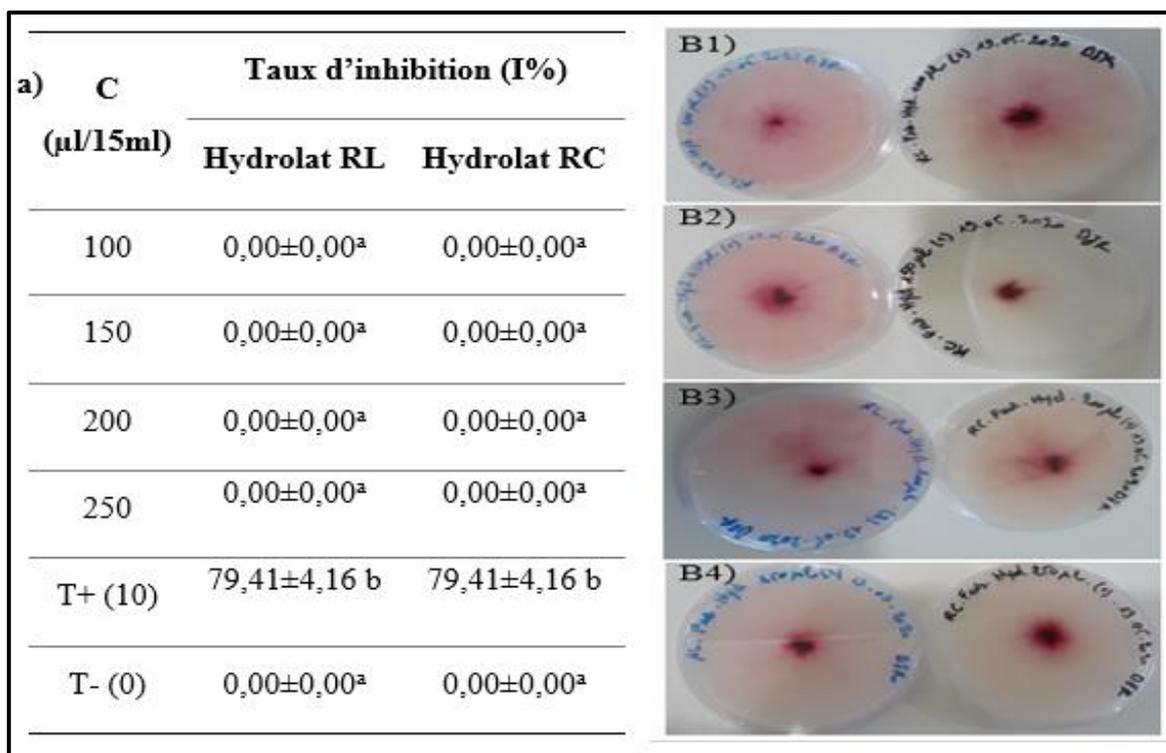
- Les HE des deux variétés d'Ail : la RL et la RC ont un effet inhibiteur et une activité antifongique contre les deux souches testées.
- L'effet des HE d'Ail sur les souches fongiques varie en fonction de la concentration et non pas en fonction de la variété d'HE utilisée.
- Absence de différence significative entre l'effet antifongique des HE, sauf pour les concentrations : 3µl/15ml avec la souche fongique *Fusarium sp.* et 10µl/15ml pour *Aspergillus niger*.
- La comparaison de l'activité antifongique entre HE utilisée dans notre étude et les fongicides à la même concentration sur la croissance des souches fongiques testées, nous a permis de constater un effet similaire pour les deux HE contre *Fusarium sp.*, cet effet est plus fort pour la variété RL que le fongicide vis-à-vis *Aspergillus niger*, et à l'exception HE RC n'avait pas cet effet pour cette concentration.
- Absence de différences significatives entre les CMI pour les HE d'Ail des deux variétés RL et RC contre les deux souches fongiques *Fusarium sp.* et *Aspergillus niger*.
- La souche fongique *Aspergillus niger* s'est révélée plus résistante que la *Fusarium sp.* face à l'effet inhibiteur des deux HE à des concentrations allant de 1 jusqu'à 10µl/15ml.
- Les deux souches fongiques *Aspergillus niger* et *Fusarium sp.* sont sensibles vis-à-vis nos deux HE.

Plusieurs méthodes d'étude de l'activité antifongique des HE sont disponibles, mais puisqu'elles ne se basent pas sur le même principe, les résultats peuvent être profondément influencés par la méthode. La capacité antifongique des extraits d'*Allium* est due à la présence de substances chimiques à différentes concentrations. L'activité antimicrobienne des HE peut être expliquée par les interactions de ces composés avec les biomembranes. Pour les mycéliums fongiques, l'action inhibitrice sur les champignons peut être due à la formation de liaisons d'hydrogène entre le groupe hydroxyle des composés phénoliques et les sites actifs des enzymes cibles. Ou bien elle est causée par les monoterpènes qui sont des composants des HE. L'HE agit sur les hyphes du mycélium, provoquant la perte de rigidité et l'intégrité de la paroi cellulaire, entraînant son effondrement et la mort du mycélium (Benmeddour *et al.*, 2015).

L'activité des HE d'Ail peut être également due à des composés dérivés de l'Ail, et qui seront probablement présent dans HE. Ces composés sont : Propyl Propane Thiosulfonate (PTS) et Propyl Propane Thiosulfinate (PTSO), qui ont été examinés pour leur efficacité et le contrôle de la croissance fongique et de la production de mycotoxines par des isolats de trois espèces importantes de *Fusarium* mycotoxigènes *in vitro*. L'étude a montré que les solutions de PTS ou de PTSO étaient efficaces pour inhiber la croissance *in vitro* de chaque isolat des trois espèces de *Fusarium* étudiées. L'effet inhibiteur a été augmenté avec la concentration en général, le niveau d'inhibition dépend de l'espèce *Fusarium* étudiée (Mylona *et al.*, 2019).

### 3) Effet de l'hydrolat d'Ail sur la souche fongique *Fusarium* sp.

Les résultats de l'activité antifongique des hydrolats d'Ail sur la croissance du *Fusarium* sp. sont représentés dans le la **figure 37** suivante :



**Figure 37** : Effet d'hydrolat d'Ail sur *Fusarium* sp.

a) Cordonnées des taux d'inhibition sur la souche fongique. B1) B2) B3) et B4) Effet d'hydrolats à des concentration de (100 ; 150 ; 200 ; 250)  $\mu$ l/15ml respectivement sur *Fusarium* sp. (bleu : la variété RL, noir : la RC).

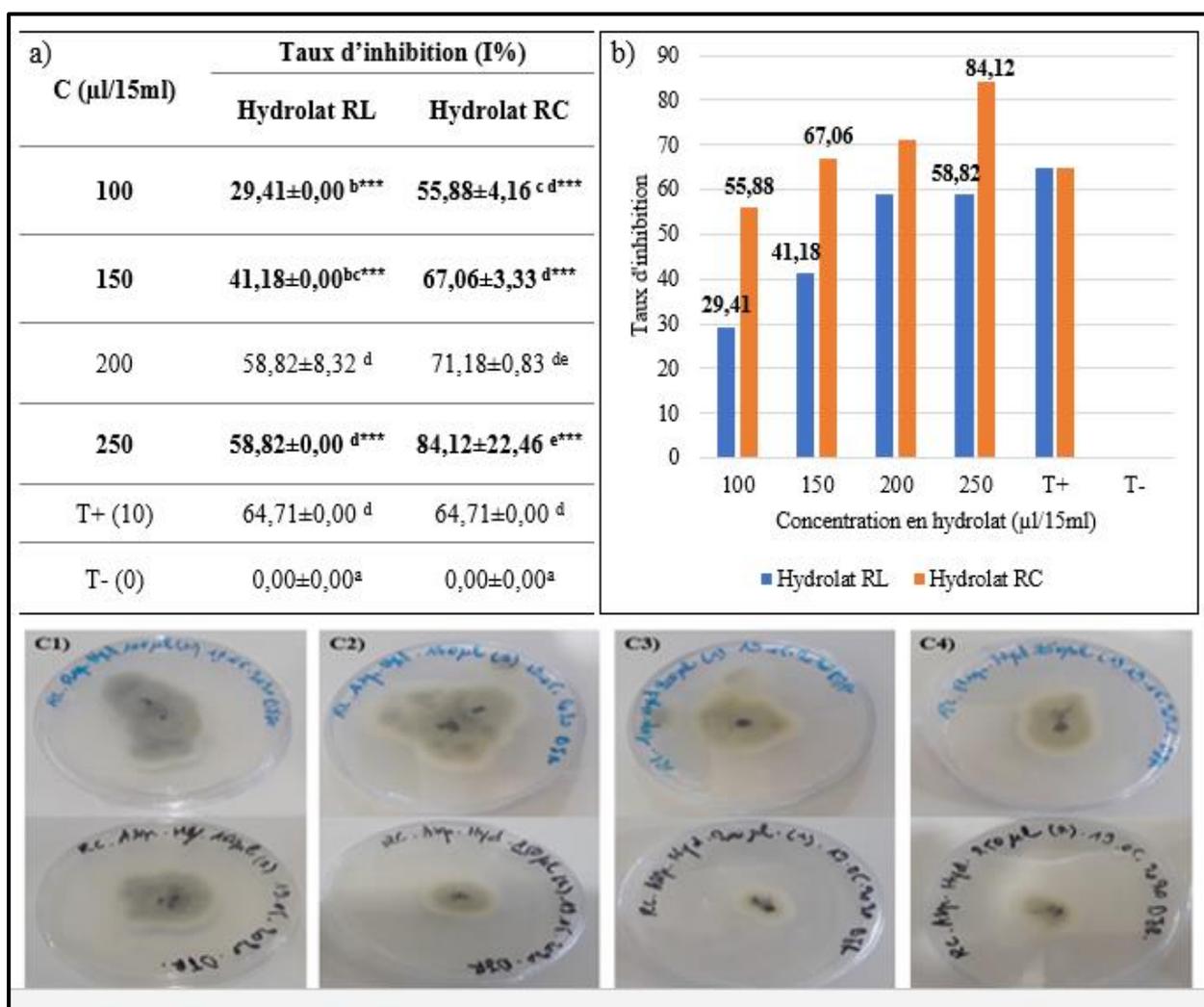
<sup>a,b,c,d,e,f</sup> signifie sur la même ligne ou la même colonne avec des exposants différents ( $p < 0.05$ ), **C** : Concentration, **T+** : Témoins positif (fongicide), **T-** : Témoins négatif (sans HE).

Les observations effectuées sur les résultats obtenus, n'ont montré aucune inhibition de la croissance de la souche fongique *Fusarium* sp. en présence d'hydrolat d'Ail des deux variétés, aux différentes concentrations testées allant de 100 jusqu'à 250µl/15ml. Le champignon a montré une résistance relative.

Les hydrolats est une eau aromatique avec les mêmes propriétés des HE qu'ils ont servi à leur production, ils contiennent au minimum 1% de molécules hydrosolubles résultant de ces HE et avec une action moindre. La concentration minimale en composés actifs contenue dans l'hydrolat d'Ail en comparaison avec HE, est probablement la cause de l'absence d'effet inhibiteur à ces concentrations.

#### 4) Effet de l'hydrolat d'Ail sur la souche fongique *Aspergillus niger*

L'effet des hydrolats d'Ail ainsi évalué sur la croissance d'*Aspergillus niger* a montré les résultats présentés dans la **figure 38** ci-dessous.



**Figure 38** : Effet de l'hydrolat d'Ail sur *Aspergillus niger*.

- a) Cordonnées des taux d'inhibition sur la souche fongique. b) Représentation graphique de l'effet d'hydrolat. C1) et C2) C3) et C4) Effet d'hydrolats à des concentration de (100 ; 150 ; 200 ; 250)  $\mu\text{l}/15\text{ml}$  respectivement sur *Aspergillus niger* (En bleu la variété RL et en noir la RC).

<sup>a,b,c,d,e,f</sup> signifie sur la même ligne ou la même colonne avec des exposants différents ( $p < 0.05$ ) C : Concentration, T+ : Témoins positif (fongicide), T- : Témoins négatif (sans HE).

La croissance d'*Aspergillus niger* a été inhibée par l'hydrolat d'Ail à partir de la plus petite concentration (100 $\mu\text{l}/15\text{ml}$ ) pour les deux variété RL et RC avec des taux : 29,41% vs 55,88% respectivement. Les zones d'inhibition par les deux types d'hydrolats ont été augmenté considérablement avec la concentration. L'étude statistique comparative réalisée a révélé des différences hautement significatives ( $P < 0,001$ ) entre les deux variétés d'hydrolats pour presque toutes les concentrations (100 ; 150 ; 250 $\mu\text{l}/15\text{ml}$ ). La variété RC avait un effet plus important que celui de la RL.

Ces résultats indiquent aussi que l'hydrolat de la variété RL exerce un effet similaire à celui du T+ (64,71%) avec un taux d'inhibition égale à 58,82% à la concentration de 200 $\mu\text{l}/15\text{ml}$ , tandis que, pour l'hydrolat de la variété RC ce même effet est enregistré à la plus faible concentration (100 $\mu\text{l}/15\text{ml}$ ). La souche fongique *Aspergillus niger* a montré une sensibilité relative vis-à-vis l'activité inhibitrice d'hydrolat d'Ail, alors qu'aucune inhibition totale n'est observée avec ces concentrations pour pouvoir déterminer les CMI (Concentration Minimale Inhibitrice).

La comparaison entre l'effet des hydrolats d'Ail contre les deux souches fongiques, nous a permis de constater que les hydrolats ont des activités variables sur les souches testées. *Aspergillus niger* est la moisissure la plus sensible à l'hydrolat étudié à des différentes concentrations. Quant à l'espèce *Fusarium* sp., elle s'est révélée moins sensible aux deux hydrolats (RL et RC) avec deux cas d'absence totale d'inhibition. L'hydrolat d'Ail de la variété RC a enregistré le meilleur résultat contre *Aspergillus niger* par rapport à la RL.

D'après la recherche bibliographique effectuée nous avons remarqué un manque de données sur l'activité antifongique des hydrolats d'Ail, ce qui n'as pas permis d'effectuer une comparaison consistante.

Le présent travail confirme l'effet antifongique de l'huile essentielle et d'hydrolat d'Ail contre les deux souches fongiques étudiées : *Fusarium* sp. et *Aspergillus niger*.

*Conclusion et*

*perspectives*

Le présent travail a été réalisé dans le but de tester l'effet antifongique des huiles essentielles et hydrolats d'Ail sur deux souches *Fusarium* sp. et *Aspergillus niger*, pathogènes de la culture de blé. D'autres objectifs secondaires, ont été visés, notant : la caractérisation morphologique des deux variétés d'Ail (la rouge locale et la rouge chinoise) ; l'extraction des huiles essentielles et hydrolats à partir des deux variétés étudiées et enfin l'analyse physicochimique des huiles essentielles et hydrolats.

Les principaux résultats de notre étude montrent que :

La comparaison statistique des deux lots d'Ail (RL et RC) révèle une différence hautement significative ( $p=0.00$ ) au seuil de 5% pour tous les paramètres morphologiques quantitatifs (nombre de bulbe/Kg ; poids et diamètre de bulbe ; nombre de caïeux/bulbe et poids de caïeux) avec des valeurs de coefficient de variation très élevées. Ce qui peut être expliqué par une variabilité inter-variétés.

Nous constatons que les paramètres qualitatifs étudiés, montrent un polymorphisme phénotypique plus au moins important de certains caractères tels que : la taille de bulbe et la couleur de la tunique des caïeux ... sont spécifiques pour chaque variété, d'où la présence des effets génotypes significatifs. Pour le reste des paramètres étudiés (forme du bulbe en section longitudinale, distribution des caïeux et la couleur de la chair...), aucune différence n'a été observée.

En ce qui concerne le rendement en huile essentielle, la variété RC présente un rendement élevé (0,21%) par rapport à la RL (0,18%). Tandis que, pour l'hydrolat le rendement le plus élevé a été enregistré chez la variété locale (1,69%).

Les résultats de la recherche des corrélations entre les paramètres morphologiques quantitatifs et les rendements en HE et hydrolats, montrent que le poids de bulbe est corrélé fortement pour les deux variétés RL et RC respectivement ( $r = 0,912$  vs  $0,993$ ) et significativement ( $p<0,05$ ) au rendement en HE et avec le rendement en hydrolat ( $r = 0,879$  vs  $0,886$ ) ( $P<0,05$ ). Alors que d'autres paramètres morphologiques sont faiblement corrélés (nombre et poids de caïeux...).

L'analyse en composantes principales a permis d'établir des liens de corrélation entre les paramètres morphologiques quantitatifs et le rendement en HE et hydrolat. Pour la variété RL, le poids de bulbe présente une corrélation positive avec le rendement en HE et hydrolat, tandis que, le nombre de caïeux est négativement corrélé avec ces derniers. Le poids de caïeu, diamètre et nombre de bulbe ne montrent aucune corrélation.

Pour la variété RC, le poids de bulbe et de caïeu présente une corrélation positive avec le rendement en HE et hydrolat, alors que, le diamètre est négativement corrélé avec ces derniers. Quant au nombre de caïeux et de bulbes ne montre aucune corrélation.

L'étude statistique comparative de l'ensemble des résultats des tests physico-chimiques des HE et hydrolats d'Ail des deux variétés, montrent une différence significative pour la plupart des paramètres mesurés au seuil de 5 %. Ces différences concerne l'analyse organoleptique, les tests d'indices d'acide pour les deux variétés RL et RC qui sont respectivement ( $6,7 \pm 0,00$  vs  $5,9 \pm 0,00$ ), le taux d'humidité et la matière volatile avec une différence très significative ( $P < 0,01$ ) et la densité d'HE. Tandis que, pour l'indice de réfraction et le pH aucune différence significative n'a été constatée.

L'ensemble des résultats obtenus à propos de l'activité antifongique des deux HE : RL et RC contre les deux souches fongiques étudiées : *Fusarium* sp. et *Aspergillus niger*, ont montrés les principaux points suivants :

- Les HE des deux variétés d'Ail : la RL et la RC ont un effet inhibiteur et une activité antifongique contre les deux souches testées et à des faibles concentrations.
- L'effet des HE d'Ail sur les souches fongiques varie en fonction de la concentration et non pas en fonction de la variété d'HE utilisée.
- Absence de différence significative entre l'effet antifongique des HE, sauf pour les concentrations :  $3\mu\text{l}/15\text{ml}$  avec la souche fongique *Fusarium* sp. et  $10\mu\text{l}/15\text{ml}$  pour *Aspergillus niger*.
- Absence de différence significative entre les concentration minimales inhibitrices ( $25\mu\text{l}/15\text{ml}$ ) pour les HE d'Ail des deux variétés RL et RC contre les deux souches fongiques *Fusarium* sp. et *Aspergillus niger*.
- La souche fongique *Aspergillus niger* s'est révélé plus résistante que la *Fusarium* sp. face à l'effet inhibiteur des deux HE à des concentrations allant de 1 jusqu'à  $10\mu\text{l}/15\text{ml}$ .

Enfin, la comparaison entre l'effet des hydrolats d'Ail contre les deux souches fongiques, nous a permis de constater que les hydrolats ont des activités variables sur les souches testées. *Aspergillus niger* est la moisissure la plus sensible à l'hydrolat étudié à des différentes concentrations. Quant à l'espèce *Fusarium* sp., elle s'est révélée moins sensible aux deux hydrolats (RL et RC) avec des cas d'absence totale d'inhibition. L'hydrolat d'Ail de la variété RC a enregistré le meilleur résultat contre *Aspergillus niger* par rapport à la RL.

L'ensemble des résultats obtenus au cours de cette étude constitue une première approche à cette problématique. Comme perspectives, nous suggérons :

- *Elargir notre axe de recherche pour étudier la composition chimique des huiles essentielles et hydrolats et déterminer le ou les composés actifs responsable de l'activité antifongique ;*
- *S'intéresser à l'étude de l'hydrolat d'Ail, qui a présenté un effet antifongique important, surtout vue l'absence des travaux concernant ce créneau promoteur ;*
- *Étudier l'effet de l'huile essentielle et hydrolat d'Ail sur d'autres maladies notamment septoriose, l'oïdium et les ravageurs tels que le ver blanc, ravageur très célèbre pour les céréales ;*
- *Tester l'effet antifongique pour d'autres variétés d'Ail ;*
- *Etudier les différences inter-variétales au niveau moléculaire afin de révéler les différences génomiques.*

*Références*

*bibliographiques*

## « A »

- Abdelaziz, O. (2019). Application des champignon entomopathogènes sur les pucerons du blé. Thèse de doctorat. Université Larbi Ben M'hidi - Oum El Bouaghi.
- Abdi, Y. (2015). Distribution spatiale des maladies fongiques du blé dur (*triticum durum desf.*) et effet de la fusariose sur le rendement en zones semiarides de Sétif. Magister. Université Ferhat Abbas Sétif 1.
- Abel, H. (2016). *Allium sativum* Chemical Constituents, Medicinal Uses And Health Benefits. Nova Science Publishers, Inc.
- Ait ammar, H et Bel guelleoui, M. (2017). Formulation antiseptique à base de l'ail l'*Allium sativum* en vue d'une application pharmaceutique. Mémoire de Master. Université M'Hamed Bougara – Boumerdès.
- Aityoussef, M. (2006). Plantes Médicinales de Kabylie. Pris. Ibis Press
- Al-Alam, J. (2017). Polluants organiques : analyse, application au « biomonitoring » environnemental et introduction des biopesticides (algues marines) comme alternative (Doctoral dissertation, Strasbourg).
- Alam, M. K. Hoq, M. O. et Uddin, M. S. (2016). Medicinal plant *Allium sativum*. A review. Journal of Medicinal Plant Studies, 4(6), 72-79.
- Al-Turki, A. I. (2007). Antibacterial effect of thyme, peppermint, sage, black pepper and garlic hydrosols against *Bacillus subtilis* and *Salmonella enteritidis*. Journal of Food Agriculture and Environment, 5(2), 92.
- ANIAIL. (2007). Association Nationale Interprofessionnelle de l'Ail. Manifeste pour l'ail de nos terroirs. Dossier de press pp : 15.
- Aprifel. (2004). Agence pour la recherche et l'information en fruit et légumes frais. Pesticides, risques et sécurité alimentaire. PARIS.
- Attou, A. (2017). Détermination de la Composition Chimique des Huiles Essentielles de Quatre Plantes Aromatiques de l'Ouest Algérien (Région d'Ain Témouchent) Etude de Leurs Activités Antioxydante et Antimicrobienne (Doctoral dissertation). Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

- Attab, S. (2015). Etude de quelques altérations physiologiques et biochimiques chez le blé causées par une maladie cryptogamique (l'oïdium). Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar – Annaba.
- Ayed, C., Mezghani, N., Rhimi, A., & AL Mohandes Dridi, B. (2019). Morphological evaluation of Tunisian garlic (*Allium sativum* L.) landraces for growth and yield traits. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 2(1), 43-52.
- Azoui, H. (2015). Etude du comportement d'une collection de blés cultivés en Algérie vis-à-vis de quelques stress biotiques. Université El Hadj Lakhdar -Batna- Institut Des Sciences Veterinaires Et Des Sciences Agronomiques.

« **B** »

- Benabdelkrim, N. (2014). Contribution à l'étude du rendement et du pouvoir antimicrobien de l'HE de *Pituranthoschloranthus* de la région de Biskra (Doctoral dissertation). Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen.
- Benjlali, B. (2004). Extraction des plantes aromatiques et médicinales cas particulier de l'entraînement à la vapeur d'eau et ses équipements. Manuel pratique. Huiles essentielles : de la plante à la commercialisation, 17-59.
- Benkeblia, N. (2004). Antimicrobial activity of essential oil extracts of various onions (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*). *LWT-food science and technology*, 37(2), 263-268.
- Benmeddour, T. Laouer, H. Benabdi, A. A et Brahimi, S. (2015). Évaluation de l'activité antibactérienne et antifongique des extraits de trois espèces du genre *Allium*: *A. cepa*, *fistulosum* et *sativum* cultivées dans le périmètre agricole de Doussen (Wilaya de Biskra). *Courrier du savoir*, 19, 9-14.
- Benmehidi, O et Boukaabache, Y S E. (2018). Pépinière des principales maladies fongiques du blé dur dans la région de Constantine. Université des Frères Mentouri Constantine.
- Bensouilah, J et Buck, P. (2006). *Aromadermatology: Aromatherapy in the Treatment and Care of Common Skin Conditions*. Radcliffe Publishing.
- Bernard, J R. Regnault-Roger, C. Philogène et Vincent, C. (2002). *Biopesticides d'origine végétale*. Tec et Doc - Lavoisier.
- Bonjean, A. Angus, W et Van Ginkel, M. (2016). *The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding Volume 3*. paris: lavoisier.

- Boukeria, S. (2016). Etude de l'effet de la variabilité génétique de l'espèce *Allium cepa* L. et *Allium sativum* L. sur la production et l'accumulation des huiles essentielles et sur leurs effets antibactériens (Doctoral dissertation). Université 8 Mai 1945 de Guelma.
- Boukhatem, M. N., ferhat, A., et kameli, A. (2019). Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles: revue de littérature.
- Bourgoin, M A. Garzaguajardo, R. Philippe, G et Souchet S. (2017). Étude des propriétés antimicrobiennes de l'extrait d'ail (*Allium sativum* L.). École supérieure d'agricultures, f49000 Angers, France, Pp : 2.
- Bourkhiss, M. Hnach, M. Bourkhiss, B. Ouhssine, M. Chaouch, A. et Satrani B. (2009). Effet de séchage sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles de *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters. Productions végétales.
- Bousbia, N. (2011). Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires (Doctoral dissertation).
- Boyras, N & Özcan, M. (2005). Antifungal effect of some spice hydrosols. *Fitoterapia*, 76(7-8), 661-665.
- Bruneton, J. (2009). Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (4e ed.). Lavoisier.

« C »

- Colin, L. (2016). L'ail et son intérêt en phytothérapie (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- Costeplane, C. (2018). L'ail : un véritable super-aliment ? nutrition Travaux de recherche.

« D »

- D'Amato, S. Serio, A. López, C. C. & Paparella, A. (2018). Hydrosols: Biological activity and potential as antimicrobials for food applications. *Food Control*, 86, 126-137.
- De Andrade Júnior, V. C. Guimarães, A. G. Firme, T. D. Costa, A. A. A. Costa, M. R. D. Lopes, T. K. & Resende, F. V. (2019). Associations between morphological and agronomic characteristics in garlic crop. *Horticultura Brasileira*, 37(2), 204-209.
- Denis, F. (2010). La Culture Biologique des Légumes. Canada. Berger Eds.

De proft, M et Duvivier, M. (2012). Livre blanc céréales. ULg Gembloux Agro Bio Tech et CRA-W Gembloux.

Deschepper, R. (2017). Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chémotype en aromathérapie. Thèse de doctorat. Université d'Aix-Marseille.

Desmares, C. Laurent, A. et Delerme, C. (2008). Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles : Contribution pour l'évaluation de la sécurité des produits cosmétiques contenant des huiles essentielles. Saint-Denis cedex : Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé (AFSSPS), 17p.

DSA. (2017). Direction des services agricoles Constantine, Algérie.

DSA. (2020). Direction des services agricoles Constantine, Algérie.

« *E* »

Eddy, C. Agbo. (2012). Innovations in Biotechnology. BoD – Books on Demand.

Ekşi, G. Özkan, A. M. G. et Koyuncu, M. (2020). Garlic and onions: An eastern tale. Journal of Ethnopharmacology, 112675.

El Haïb, A. (2011). Valorisation de terpènes naturels issus de plantes marocaines par transformations catalytiques (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier).

Equipe Productions Végétales dz la Chambre d'Agriculture des Deux - Sèvres – Siège. (2013). Maison de l'Agriculture – BP80004 – 79231 PRAHECQ CEDEX.

« *F* »

FAOSTAT. (2018). Données statistiques de la FAO, domaine de la production agricole : Division de la statistique, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Site web <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC/visualize> consulter le 30/05/2020.

Feddaoui, H et Bouchelaghem I. (2018). Enquête épidémiologique des principaux pathogènes prévalent sur certaines céréales depuis 2009.

Feillet, P. (2000). Le grain de blé : Composition et utilisation. Editions Quae.

Filière des plantes médicinales biologiques du Québec. (2010). L'ail, Guide de production sous régie biologique, Québec, 29 p.

FranceAgriMer. (2018). Plantes à parfum, aromatiques et médicinales / Le marché de l'aromathérapie en pharmacie.

« **G** »

Gambogou, B. Ameyapoh, Y. A. Gbekley, H. E. Soncy, K. Anani, K. et Karou, S. D. (2019). Revue sur l'Ail et ses Composés Bioactifs. European Scientific Journal edition Vol.15, No.6 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 743.

Gergesgeagea, A. (2015). Les Bienfaits de l'Ail sur la Santé. Lebanese Health Society HUMAN & HEALTH. N°31, Spring, pp : 46, 47.

Ghesquiere C. (2016). Les bienfaits de l'ail dans les maladies cardiovasculaires. Thèse de doctorat. Université de Picardie Jules verne, France.

Grosjean, N. (2011). L'aromathérapie, Tout simplement !. Eyrolles.

Grosjean, N et Barthéléry, M. (2016). La cure zen détox aromatique l'alimentation gagnent vivante et crue ! 40 ans d'expérience. Editions 5 ml, France.

Grubben, G et Denton, O. (2004). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2. Légumes. [Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 2. Vegetables. 2004]. Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas / Backhuys Publishers, Leiden, Pays-Bas / CTA, Wageningen, Pays-Bas. 737 pp.

« **H** »

Hirata, S. Abdelrahman, M. Yamauchi, N. & Shigyo, M. (2016). Diversity evaluation based on morphological, physiological and isozyme variation in genetic resources of garlic (*Allium sativum* L.) collected worldwide. *Genes & genetic systems*, 15-00004.

« **I** »

Ide, N et Lau, B H. (2001). Garlic compounds minimize intracellular oxidative stress and inhibit nuclear factor- $\kappa$ B activation. *Journal of Nutrition*, vol 131, pp 1020S–1026S.

INPV. (2018). Institut nationale de la protection des végétaux. Avertissements agricoles IPGRI, E. & GR, A. (2001). Descriptors for *Allium* (*Allium spp.*). *International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy*, 6.

ISO 9235, (2013) (fr), Matières premières aromatiques naturelles — Vocabulaire.  
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9235:ed-2:v1:fr>

I.T.C.M.I. (2017). Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles d'Oum El Bouaghi. Algérie.

I.T.C.M.I. (2018). Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles d'Oum El Bouaghi. Algérie.

I.T.C.M.I. (2019). Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles d'Oum El Bouaghi. Algérie.

« **K** »

Kabera, J. Koumaglo, K. H. Ntezurubanza, L. Ingabire, M. G. & Kamagaju, L. (2005). Caractérisation des huiles essentielles d'*Hyptis spicigera* Lam., *Pluchea ovalis* (Pers.) DC. et *Laggera aurita* (LF) Benth. Ex. CB Clarke, plantes aromatiques tropicales. Etudes rwandaises, 10, 7-18.

Khadri, S. (2009). Evaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de l'ail cultivé (*Allium sativum*) de l'est algérien vis-à-vis de différentes souches de *Pseudomonas aeruginosa* [ressource textuelle, sauf manuscrits].

Khan, S. Keshavalu, Amaresh, Shakeel et Bhat, A. (2017). Antioxidant properties of garlic essential oil and its use as a natural preservative in processed food. Int J Commun Syst, 5, 813-821.

Khebbeb, L et Bouanaka, H. (2018), Étude comparative, *in vitro*, entre l'effet des antifongiques de synthèse et les huiles essentielles d'*Allium sativum* et *Zingiberis rhizoma* sur deux espèces d'intérêt médical : *C. albicans* et *A. niger*. Université des Frères Mentouri Constantine 1.

Kherch MEjdjen, H et Bouchafaa, B. (2012). La politique céréalière en Algérie.

Kocić-Tanackov, S., Dimić, G., Lević, J., Tanackov, I., Tepić, A., Vujičić, B., & Gvozdanić-Varga, J. (2012). Effects of onion (*Allium cepa* L.) and garlic (*Allium sativum* L.) essential oils on the *Aspergillus versicolor* growth and sterigmatocystin production. *Journal of food science*, 77(5), M278-M284.

Krausz, M. (2015). Huiles essentielles : un marché mondial en croissance. Dossier Parfums de plante, plantes à parfum - Jardins de France 636.

Krzyśko-Łupicka, T., Sokół, S., & Piekarska-Stachowiak, A. (2020). Evaluation of Fungistatic Activity of Eight Selected Essential Oils on Four Heterogeneous Fusarium Isolates Obtained from Cereal Grains in Southern Poland. *Molecules*, 25(2), 292.

« **L** »

Labiod R. (2016). Valorisation des huiles essentielles et des extraits de *Satureja calamintha nepeta*: activité antibactérienne, activité antioxydante et activité fongicide (Doctoral dissertation, Université BADJI Mokhtar Annaba).

Lacroix, M. (2002). Maladies des céréales et de la luzerne : diagnostique, dépistage et prévention. Club des sols du Témiscouata.

Lakhdar, L. (2015). Evaluation de l'activité antibactérienne d'huiles essentielles marocaines sur *aggregatibacter actinomycetemcomitans*: Etude *in vitro* (Doctoral dissertation).

Lamamra, M. (2018). Contribution à l'étude de la composition chimique et de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles de *tinguarra sicula* (L.) Parl et de *Filipendula hexapetala* Gibb (Doctoral dissertation).

Li, R. Chen, W. C. Wang, W. P. Tian, W. Y. et Zhang, X. G. (2010). Extraction of essential oils from garlic (*Allium sativum*) using ligarine as solvent and its immunity activity in gastric cancer rat. *Medicinal Chemistry Research*, 19(9), 1092-1105.

Lokbani, C. (2018). Formulation d'un biopesticide à base de plantes de la région de Tlemcen. Diplôme de Master. Université De Tlemcen.

« **M** »

Majewski, M. (2014). *Allium sativum*: facts and myths regarding human health. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 65(1).

Mallet, A. C. T. Cardoso, M. G. Souza, P. E. Machado, S. M. F. Andrade, M. A. Nelson, D. L., ... & Pereira, C. G. (2014). Chemical characterization of the *Allium sativum* and *Origanum vulgare* essential oils and their inhibition effect on the growth of some food pathogens. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 16(4), 804-811.

- Medine, C et Yessaad, H. (2017). Essai variétal de trois variétés d'ail *Allium sativum* (rouge d'Espagne, rouge d'Iran et une variété chinoise) conduit en intensif (goutte à goutte et fertilisation). Master en agronomie. Université Abdelhamid Ibn Badis –Mostaganem
- Mehani, M. (2015). Activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Eucalyptus camendulensis* dans la région d'Ouargla (Doctoral dissertation). Université Kasdi Merbah – Ouargla.
- Meksem, N. (2018). Etude De L'effet Biopesticide Des Extraits Naturels De Deux Plantes De La Famille Des *Myrtacées* : *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis*. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar – Annaba.
- Merad Boussalah, N. (2020). Chemical Composition and Biological Activities of Essential Oil and Hydrosol Extract from Aerial Parts of *Cynoglossum cheirifolium* L. from Algeria. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23(1), 97-104.
- Minker, C. (2012). Ail et autres Alliées : un concentré de bienfaits pour votre santé, votre beauté et votre jardin. Eyrolles.
- Mylona, K. Garcia-Cela, E. Sulyok, M. Medina, A. & Magan, N. (2019). Influence of two garlic-derived compounds, propyl propane thiosulfonate (PTS) and propyl propane thiosulfinate (PTSO), on growth and mycotoxin production by *Fusarium* species *in vitro* and in stored cereals. *Toxins*, 11(9), 495.

« **N** »

- Normes ISO. Normes AFNOR. Normes NF ISO. (2006). Publications huiles essentielles. Copyright AFNOR – BR.

« **O** »

- Oliveira, L. M. Silva, L. S. Mar, J. M. Azevedo, S. G. Rabelo, M. S. da Fonseca Filho, H. D. & Sanches, E. A. (2019). Alternative Bio defensive based on the Essential Oil from *Allium sativum* Encapsulated in PCL/Gelatin Nanoparticles. *Journal of Food Engineering and Technology*, 8(2), 65-74.
- Organisation De Coopération Et De Développement Economiques (OCDE). (2017). Normes Internationales Pour Les Fruits Et Légumes, Aulx.

Ouis, N. (2015). Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, des fenouils et de persil (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, Université Ahmed Ben Bella-Oran, Alger).

« **P** »

Pacurar, M et Krejci, G. (2010). Garlic consumption and health. Nova.

« **Q** »

Qidwai, W. et Ashfaq, T. (2013). Role of Garlic Usage in Cardiovascular Disease Prevention: An Evidence-Based Approach. Evidence Based Complementary and Alternative Medicine.

« **R** »

Rafe, A. & Nadjafi, M. S. (2014). Physicochemical characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) oil: Effect of extraction procedure. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(6), 1.

Randrianarivelo, R. (2010). Etude de l'activité antimicrobienne d'une plante endémique de Madagascar *Cinnamosma fragrans*, alternative aux antibiotiques en crevetticulture (Doctoral dissertation, Université d'Antananarivo).

Rastoin, J, L et Benabderrazik, H. (2014). Céréales et oléo protéagineux au Maghreb Pour un co-développement de filières territorialisées.

Regnault-roger, philogene et vincent. (2008). Biopesticides d'origine végétale (2e éd.). Lavoisier, 2008.

Rivière, C. Nicolas, J. P. Caradec, M. L. Desirea, O. Hassan, D. A. Rémy, G. & Dupont, F. (2005). Importance de l'identification botanique dans la démarche ethnopharmacologique; cas d'une Bignoniaceae malgache, *Perichlaena richardii* Baill. *Acta botanica gallica*, 152(3), 377-388.

Rocher, F. (2004). Lutte chimique contre les champignons pathogènes des plantes: évaluation de la systémie phloémienne de nouvelles molécules à effet fongicide et d'activateurs de réactions de défense (Doctoral dissertation).

Rombi, M et Robert D. (2015). Le Dictionnaire Des Plante Médicinales. Monaco. Alpen

« S »

Satyral, P. Craft, J. D. Dosoky, N. S. & Setzer, W. N. (2017). The chemical compositions of the volatile oils of garlic (*Allium sativum*) and wild garlic (*Allium vineale*). *Foods*, 6(8), 63.

SRPV. (2019). Reconnaissance et identification des principales maladies cryptogamiques des céréales. Station Régionale de la Protection des Végétaux de Constantine. Algérie.

« T »

Tabti, L. Dib, M. E. A. Djabou, N. Benyelles, N. G. Paolini, J. Costa, J. & Muselli, A. (2014). Control of fungal pathogens of *Citrus sinensis* L by essential oil and hydrosol of *Thymus capitatus* L. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 87.

Tabuc, C. (2007). Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines (Doctoral dissertation).

Thomas, A. (2016). Analyse sensorielle temporelle descriptive et hédonique (Doctoral dissertation), Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon.

Ting-Ting, W., Zhi-Hui, C., Khan, M. A., & Ling, H. (2011). The inhibitive effects of garlic bulb crude extract on *Fulvia fulva* of tomato. *Pak. J. Bot*, 43(5), 2575-2580.

« U »

UPOV. (2001). Principes directeurs pour la conduite de l'examen de la distinction, de l'homogénéité et de la stabilité. Ail (*Allium sativum* L.). Genève.

Üstüner, T., Kordali, S., & Bozhüyük, A. U. (2018). Herbicidal and Fungicidal Effects of *Cuminum cyminum*, *Mentha longifolia* and *Allium sativum* Essential Oils on Some Weeds and Fung Tamer Üstüner, Saban Kordali and Ayse Usanmaz Bozhüyük. *Records of Natural Products*, 12(6), 619.

« V »

Vangelder, V. (2017). L'aromathérapie dans la prise en charge des troubles de Sante mineurs chez l'adulte a l'officine. Thèse de doctorat. Université de Lille 2.

« W »

Wang, H. Li, X. Liu, X. Oiu, Y. Song, J. & Zhang, X. (2016). Genetic diversity of garlic (*Allium sativum L.*) germplasm from China by fluorescent-based AFLP, SSR and InDel markers. *Plant Breeding*, 135(6), 743-750.

Wang, H. Li, X. Shen, D. Oiu, Y. & Song, J. (2014). Diversity evaluation of morphological traits and allicin content in garlic (*Allium sativum L.*) from China. *Euphytica*, 198(2), 243-254.

« Y »

Yang, L. M. Han, L. L. & Yang, Z. (2012). Microwave-Assisted extraction of garlic essential oil from garlic. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 117, pp. 1022-1026). Trans Tech Publications Ltd.

*Annexes*

## **Annexe 1 : Composition du milieu de culture**

Milieu de culture Potato Dextrose Agar (PDA), composition pour 1L :

Pommes de terre .....	200g
Agar-agar .....	20g
Saccharose .....	20g

Stérilisation à 121°C/20min

## Etude de l'activité antifongique des huiles essentielles et hydrolats de deux variétés d'Ail (*Allium sativum L.*) sur deux champignons affectant le blé (*Fusarium sp.* et *Aspergillus niger*)

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie et Génomique Végétales

Les huiles essentielles ont des propriétés marquées qui sont appréciées dans de nombreux domaines, notamment le biocontrôle des bio-agresseurs ; en effet, des qualités antimicrobiennes ont été attribuées à l'huile essentielle d'Ail. La présente étude avait pour objectif principal, le test de l'effet antifongique des huiles essentielles (HE) et d'hydrolats extraits à partir de deux variétés d'Ail *Allium sativum L* produites localement à savoir : la rouge locale (RL) et la rouge chinoise (RC) sur deux types de champignons pathogènes pour la culture de blé en Algérie : *Fusarium sp.* et *Aspergillus niger*. Pour atteindre notre objectif, une première étape de caractérisation morphologique a été réalisée. La comparaison statistique a révélé une différence hautement significative ( $p=0,00$ ) au seuil de 5% pour tous les paramètres quantitatifs, cependant, ceux qualitatifs montrent un polymorphisme phénotypique pour certains caractères et pour d'autres aucune différence n'a été observée. Ensuite l'extraction des HE et hydrolats à partir des deux variétés étudiées a été réalisée par hydrodistillation, le rendement enregistré en HE par la variété RC (0,21%) est important par rapport à la RL (0,18%). Tandis que, pour l'hydrolat le rendement le plus élevé a été obtenu par RL (1,69%). D'après les résultats de la recherche des corrélations entre les paramètres morphologiques quantitatifs et les rendements en HE et hydrolats, il ressort que le poids de bulbe est corrélé fortement et significativement au rendement ( $P<0,05$ ) pour les deux variétés. Alors que, les autres paramètres morphologiques sont faiblement corrélés. L'analyse en composantes principales entre ces paramètres morphologiques et les rendements. Pour la variété RL : le poids de bulbe et le nombre de caïeux présentent une corrélation avec le rendement en HE et hydrolat. Le poids de caïeu, diamètre et nombre de bulbe ne montre aucune corrélation. Pour la variété RC : le poids de bulbe, de caïeu et le diamètre présentent une corrélation avec le rendement en HE et hydrolat. Quant au nombre de caïeux et de bulbe ne montrent aucune corrélation. L'étude statistique des résultats de l'analyse physico-chimiques des HE et hydrolats d'Ail montrent une différence très significative ( $p=0,00$ ) pour la plupart des paramètres mesurés, tels que : l'analyse organoleptique, les tests d'indices d'acide... alors que, pour l'indice de réfraction et le pH aucune différence significative n'as été constatée. Enfin, les résultats de l'activité antifongique après analyse statistique entre les deux HE contre les deux souches fongiques étudiées, ont montré que les HE ont un effet inhibiteur dont il varie en fonction de la concentration et non pas en fonction de la variété. La présence de différence significative entre l'effet antifongique des HE été observé aux concentrations :  $3\mu\text{l}/15\text{ml}$  avec la souche fongique *Fusarium sp.* et  $10\mu\text{l}/15\text{ml}$  pour *Aspergillus niger*. Ainsi que la comparaison entre l'effet des hydrolats, nous a permis de constater qu'ils ont aussi des activités antifongiques mais a des concentrations plus élevées que celle des HE. *Aspergillus niger* est la moisissure la plus sensible à l'hydrolat. Quant à l'espèce *Fusarium sp.* elle s'est révélée résistante.

**Mots clés :** Huile essentielle, Hydrolat *Allium sativum L.*, *Triticum*, *Fusarium sp*, *Aspergillus niger*.

**Laboratoire de recherche :** : Génétique, Biochimie et Biotechnologies Végétales (GBBV).

Jury d'évaluation :

**Présidente :** BENABDOUN F. M. (MCB - UFM Constantine 1).

**Encadrante :** LOUALI Y. (MCB - UFM Constantine 1).

**Examinatrice :** BENABDELHAFID Z. (MCB – ENS Constantine 3).

**Date de soutenance :** 08/07/2020