



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



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

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Biologie végétale

قسم : بيولوجيا النبات

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 Végétale

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

Analyse comparative des profils protéiques de variétés d'*Allium sativum* et d'*Allium cepa* soumises à différents traitements : approche par SDS-PAGE et spectrophotométrie

Présenté par : BENELHAOUES Djihane

Le : 28/06/2025

KHELFA Rahma

Jury d'évaluation :

Président : Dr. KECHID M. (MCA- U Constantine 1 Frères Mentouri).

Encadrant : Dr. LOUALI Y. (MCB – U Constantine 1 Frères Mentouri).

Examineur : Dr. BOUCHEMAL K. (MCB - U Constantine 1 Frères Mentouri).

Année universitaire
2024 - 2025

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail de mémoire.

Avant tout, nous remercions Allah, le Tout-Puissant, pour nous avoir guidés, bénis et accordé la force, la patience et la sagesse nécessaires pour mener à bien cette recherche.

Nous remercions tout particulièrement **Dr. LOUALI Yamouna**, notre encadrante, pour son soutien constant, ses conseils précieux et son accompagnement tout au long de ce projet. Sa disponibilité et son expertise nous ont permis de surmonter de nombreux défis et d'approfondir nos connaissances dans ce domaine.

On tient à exprimer notre reconnaissance aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail. On remercie chaleureusement **Dr. KECHID Maya**, présidente du jury, pour l'honneur qu'il elle nous fait en présidant cette soutenance.

On remercie également **Dr. BOUCHEMAL Karima**, examinatrice, pour le temps consacré à la lecture de ce mémoire et pour sa participation à l'évaluation de ce travail. Leur présence au sein du jury témoigne de leur engagement scientifique, et on leur est reconnaissante pour l'intérêt porté à cette étude.

Un grand merci à **Mme BOULDJEJ Ryma**, ingénieure de laboratoire, pour son aide technique précieuse et son soutien lors de la réalisation des expérimentations. Ses conseils et son expertise dans le domaine du laboratoire ont été essentiels à la réussite de ce travail, notamment pour l'acquisition des produits nécessaires à nos analyses.

Nous tenons également à remercier **Mr. BOUDERSSA Yasser** pour son aide précieuse dans la réalisation des électrophorèses. Ses compétences et ses conseils techniques ont été indispensables pour mener à bien cette étape cruciale de l'étude

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la bonne marche de ce projet et nous ont apporté leur soutien moral et scientifique.

Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

À mes **parents**, pour leur amour incommensurable, leur soutien sans faille et leurs sacrifices.
Vous êtes la source de ma force et de ma motivation. Merci de toujours croire en moi.

À mes **sœurs** et à mon **frère**, pour votre présence constante, vos encouragements et votre complicité. Vous êtes ma famille, mon roc, et j'ai la chance de vous avoir à mes côtés.

À mon neveu **Samy** et ma nièce **Tasnim**, pour votre sourire, vos éclats de rire et votre énergie.
Vous êtes un véritable rayon de soleil dans ma vie, et je vous dédie tout mon amour.

À mes **besties** : **Amina**, **Malek**, **Maram**, **Micha**, **Saoussen** et **Zaineb**. Merci d'être des amies exceptionnelles, de toujours être là dans les moments de doute et de célébration. Votre amitié est un trésor précieux, et chaque instant passé avec vous est une source de bonheur.

Et enfin, à mon **binôme et soeur Rahma**, pour ta collaboration, ton soutien et ta camaraderie tout au long de ce parcours. Ton aide et ton amitié ont été des moteurs importants dans la réalisation de ce travail. Merci d'avoir partagé cette aventure avec moi.

À **moi-même**, pour avoir persévéré, surmonté les obstacles et donné le meilleur de moi-même tout au long de ce parcours. Ce travail est le fruit de ma détermination et de mon engagement.
Je suis fière du chemin parcouru.

Djihane .

Dédicaces

Ce mémoire, fruit de tant d'efforts et de passion, est dédié en tout premier lieu à **ma maman**, mon roc, mon inspiration première. Tes sacrifices, ton amour inconditionnel et ta foi en moi ont été le socle sur lequel j'ai pu construire ce travail. À **mon papa**, ton amour, ton soutien et ta sagesse ont toujours été ma force merci d'avoir cru en moi, ce travail t'est dédié, en témoignage de ma profonde gratitude et de tout mon amour. Ma maman et mon papa, piliers de ma vie. À mes chères sœurs **Hana et Soundous**, mon complice **frère Raid**, ma précieuse **grand-mère** dont la sagesse m'a guidée.

Une pensée spéciale et reconnaissante à mon incroyable binôme **Djihane**, qui est bien plus qu'une collaboratrice, une amie intime et une sœur de cœur, dont le soutien et l'esprit d'équipe ont été essentiels. Merci également à ma chère **Maha**, pour sa présence constante et réconfortante. À mes fidèles amies d'études, **Zeyneb** et **Maram**, avec qui j'ai partagé les défis et les joies de ce parcours.

Ce travail témoigne aussi de **ma force**, de ma patience et de mon courage face aux obstacles rencontrés.

Enfin, je rends grâce à Dieu pour la force et l'inspiration qu'il m'a accordées. Et à moi-même, pour ma persévérance, mon engagement et ma foi en la réussite de ce projet.

Rahma..

Résumé

Analyse comparative des profils protéiques de variétés d'*Allium sativum* et d'*Allium cepa* soumises à différents traitements : approche par SDS-PAGE et spectrophotométrie

Cette étude compare les caractéristiques protéiques d'*Allium sativum* (ail) et d'*Allium cepa* (oignon) soumis à trois traitements technologiques : état frais, chauffage et congélation. L'objectif est d'évaluer l'impact de ces conditions sur les profils protéiques des deux espèces à l'aide de l'électrophorèse SDS-PAGE et de la méthode de Bradford pour la quantification. Les extraits ont été obtenus à pH 6,22, 24,52 °C, avec une macération de 1h42. Les résultats SDS-PAGE montrent une variabilité marquée selon les espèces et les traitements. L'ail frais présente un profil riche avec six bandes de 10 à 225 kDa, tandis que l'oignon en montre quatre, moins intenses. La congélation améliore l'extraction des protéines chez les deux espèces, particulièrement chez l'ail. Le chauffage dégrade partiellement les protéines de l'ail, mais améliore la stabilité apparente chez l'oignon. Les dosages spectrophotométriques confirment ces observations : la concentration la plus élevée est obtenue chez l'ail frais (3,94 mg/ml), la plus faible chez l'oignon congelé (0,58 mg/ml). L'oignon reste globalement moins riche en protéines. Ces résultats permettent de mieux comprendre les effets des traitements technologiques sur la stabilité et la solubilité des protéines végétales.

Mots clés : *Allium sativum*, *Allium cepa*, SDS-PAGE, Spectrophotométrie, Méthode de Bradford...etc

Abstract

Comparative analysis of protein profiles in *Allium sativum* and *Allium cepa* varieties subjected to different treatments: An Approach Using SDS-PAGE and Spectrophotometry.

This study compares the protein characteristics of *Allium sativum* (garlic) and *Allium cepa* (onion) subjected to three technological treatments: fresh, heated, and frozen. The objective was to evaluate the impact of these conditions on the protein profiles of both species using SDS-PAGE electrophoresis and the Bradford method for quantification. The extracts were obtained at pH 6.22, 24.52 °C, with a maceration time of 1 hour and 42 minutes. The SDS-PAGE results showed marked variability depending on the species and treatments. Fresh garlic presented a rich profile with six bands ranging from 10 to 225 kDa, while onion showed four, less intense bands. Freezing improved protein extraction in both species, particularly in garlic. Heating partially degraded garlic proteins, but improved the apparent stability in onion. Spectrophotometric assays confirmed these observations: the highest concentration was obtained from fresh garlic (3.94 mg/ml), and the lowest from frozen onion (0.58 mg/ml). Overall, onion remained less rich in proteins. These results provide a better understanding of the effects of technological treatments on the stability and solubility of plant proteins.

Keywords: *Allium sativum*, *Allium cepa*, SDS-PAGE, Spectrophotometry, Bradford method.... etc.

ملخص

تحليل مقارنة للخصائص البروتينية لـ *Allium cepa* و *Allium sativum* بعد تعرضها لمعالجات مختلفة: من خلال SDS-PAGE ومقياس الطيف الضوئي

تقارن هذه الدراسة الخصائص البروتينية لـ *Allium sativum* (الثوم) و *Allium cepa* (البصل) التي خضعت لثلاث معالجات تكنولوجية: الطازجة، والمُسَخَّنة، والمُجمدة. كان الهدف هو تقييم تأثير هذه الظروف على الأنماط البروتينية لكلا النوعين باستخدام الرحلان الكهربائي SDS-PAGE وطريقة برادفورد للتقدير الكمي. تم الحصول على المستخلصات عند درجة حموضة 6.22، ودرجة حرارة 24.52 درجة مئوية، مع نقع لمدة ساعة واحدة و42 دقيقة.

أظهرت نتائج SDS-PAGE تباينًا ملحوظًا اعتمادًا على النوع والمعالجات. قدم الثوم الطازج نمطًا غنيًا بستة نطاقات تتراوح من 10 إلى 225 كيلو دالتون، بينما أظهر البصل أربع نطاقات أقل كثافة. عزز التجميد استخلاص البروتينات في كلا النوعين، وخاصة في الثوم. أدى التسخين إلى تحليل جزئي لبروتينات الثوم، ولكنه عزز الاستقرار الظاهري في البصل. أكدت فحوصات القياس الطيفي هذه الملاحظات: تم الحصول على أعلى تركيز من الثوم الطازج (3.94 ملغ/مل)، والأدنى من البصل المجمد (0.58 ملغ/مل). بشكل عام، ظل البصل أقل ثراءً بالبروتينات.

تتيح هذه النتائج فهمًا أفضل لتأثيرات المعالجات التكنولوجية على استقرار وذوبان البروتينات النباتية.

كلمات مفتاحية: *Allium sativum* (الثوم)، *Allium cepa* (البصل)، SDS-PAGE، القياس الطيفي، طريقة برادفورد.... إلخ

Liste des figures

Figure 01 : Morphologie d' <i>Allium sativum</i>	4
Figure 02 : Différentes variétés d' <i>Allium sativum</i>	5
Figure 03 : Les structures chimiques des principaux composés organosulfurés d' <i>Allium sativum</i>	9
Figure 04 : Activités biologiques de l' <i>Allium sativum</i>	12
Figure 05 : Morphologie d' <i>Allium cepa</i>	14
Figure 06 : Différentes variétés d' <i>Allium cepa</i>	15
Figure 07 : Activités biologiques d' <i>Allium cepa</i>	19
Figure 08 : Protocole d'extraction d' <i>Allium sativum</i> et <i>Allium cepa</i>	22
Figure 09 : Variation de la teneur en protéines totales dans l' <i>Allium sativum</i> selon différents traitements.....	28
Figure 10 : Variation de la teneur en protéines totales dans l' <i>Allium cepa</i> selon différents traitements.....	30
Figure 11 : Profil de migration des protéines d' <i>Allium sativum</i> révélé par électrophorèse SDS-PAGE.....	33
Figure 12 : Profil de migration des protéines d' <i>Allium cepa</i> révélé par électrophorèse SDS-PAGE.....	36

Liste des tableaux

Tableau 01 : Classification <i>d'Allium sativum</i>	5
Tableau 02 : Classification <i>d'Allium cepa</i>	14
Tableau 03 : Concentration en protéines dans les extraits <i>d'Allium sativum</i>	29
Tableau 04 : Concentration en protéines dans les extraits <i>d'Allium cepa</i>	31
Tableau 05 : Analyse Anova à deux facteurs – Effets du traitement, de l'échantillon et de leur interaction.....	32
Tableau 06 : Profil électrophorétique des protéines <i>d'Allium sativum</i>	34
Tableau 07 : Profil électrophorétique des protéines <i>d'Allium cepa</i>	37

Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION 1

Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. *Allium sativum*

1. Généralités sur l' <i>Allium sativum</i>	4
1.1. Origine et description	4
1.2. Morphologie	4
1.3. Classification botanique	5
1.4. Variétés d' <i>Allium sativum</i>	5
2. Composition biochimique d' <i>Allium sativum</i>	6
2.1. Composés bioactifs d' <i>Allium sativum</i>	6
2.2. Allicine	7
2.3. Teneur en E- et z-ajoène	7
2.4. Agglutinine	7
2.5. Chtinases.....	8
2.6. Thamatine.....	8
2.7. Vitamines et minéraux	8
2.8. Fibres et glucides	8
2.9. Variations de la composition chimique	8
3. Informations structurales et fonctionnelles sur les protéines d' <i>Allium sativum</i>	9
3.1. Caractéristique structurale	9

3.2. Rôle fonctionnel	10
4. Activités biologiques des protéines d' <i>Allium sativum</i>	10
4.1. Activité antimicrobienne	10
4.2. Activité antioxydante	11
4.3. Effet anti-inflammatoires et anti cancéreux	11
II : l'<i>Allium cepa</i>	
1. Généralités sur l' <i>Allium cepa</i>	13
1.1. Origine et description	13
1.2. Morphologie	13
1.3. Classification botanique	14
1.4. Variétés d' <i>Allium cepa</i>	14
2. Composition biochimique des protéines d' <i>Allium cepa</i>	15
2.1. Les acides aminés	16
2.2. Les flavonoïdes	16
2.3. Alliinase	16
2.4. Chitinases.....	17
2.5. Peroxydase.....	17
2.6. Autres protéines	17
3. Informations structurelles et fonctionnelles.....	17
3.1. Diversité structurelle	18
3.2. Propriétés fonctionnelles	18
4. Activités biologiques des protéines d' <i>Allium cepa</i>	18
4.1. Activité antioxydante	18
4.2. Activité anti -inflammatoire	18
4.3. Activité antimicrobienne	19

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Matériel.....	21
------------------	----

Matériel végétal.....	21
2. Méthodes.....	21
1. Extraction des protéines totales dans les conditions optimales.....	21
1.1. Préparation des Échantillons d'ail et l'oignon.....	22
1.2. Préparation des extraits d'ail et l'oignon.....	22
1.3. Incubation et filtration des extraits d'ail et l'oignon.....	23
1.4. Précipitation des protéines.....	23
2. Dosage spectrométrie des protéines (Méthode de Bradford)	23
2.1. Préparation de réactif Bradford.....	24
3. Analyse statistique (Anova)	24
4. Séparation des protéines par Électrophorèse PAGE-SDS.....	25
4.1. Principe de l'électrophorèse.....	25
4.2. Technique d'électrophorèse.....	25
4.3. Préparation du Gel.....	25
5. Visualisation des Protéines.....	26

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Variation de la teneur en protéines chez <i>l'Allium sativum</i> et <i>l'Allium cepa</i>	28
1.1. La concentration en protéines d' <i>Allium sativum</i>	28
1.2. La concentration en protéines d' <i>Allium cepa</i>	30
2. Analyse statistique des effets des traitement et des variétés (ANOVA).....	32
3. Analyse du profil protéique par électrophorèse SDS – PAGE.....	33
3.1. Profil électrophorétique des protéines d' <i>Allium sativum</i>	33
3.2. Profil électrophorétique des protéines d' <i>Allium cepa</i>	36
Conclusion et perspectives.....	40

Références bibliographiques

Annexes

Introduction

Introduction générale

Les plantes médicinales occupent une place centrale dans les pratiques de guérison traditionnelles à travers le monde depuis des millénaires. Parmi ces plantes, l'*Allium sativum* (l'ail) et l'*Allium cepa* (l'oignon) se distinguent non seulement par leur rôle culinaire, mais également par leurs nombreuses propriétés thérapeutiques reconnues. Ces deux espèces, appartenant à la famille des Amaryllidaceae, sont utilisées depuis l'Antiquité pour leurs vertus médicinales, notamment dans le traitement de diverses pathologies cardiovasculaires, anti-inflammatoires, antimicrobiennes, et anticancéreuses (Boukef, 1986 ; Ríos & Recio, 2005).

L'*Allium sativum*, avec son composé actif principal, l'allicine, est largement étudié pour ses effets bénéfiques sur la santé cardiaque, notamment par son action hypolipémiante et antihypertenseur (Rahman, 2007). De son côté, l'*Allium cepa*, riche en flavonoïdes et en composés soufrés, est fréquemment utilisée pour ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires (Taha *et al.*, 2014). Ces propriétés ont suscité un intérêt croissant dans les domaines de la pharmacologie et de la nutrition, notamment en raison de leur potentiel préventif face à diverses pathologies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires, les cancers et les troubles métaboliques.

Les espèces du genre *Allium*, notamment *Allium sativum* (ail) et *Allium cepa* (oignon), renferment une grande diversité de protéines aux fonctions biologiques et biochimiques variées. Parmi celles-ci, l'alliinase est l'une des enzymes les plus caractéristiques, particulièrement abondante dans l'ail. Elle joue un rôle clé dans la formation de composés soufrés bioactifs responsables des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes de l'ail. Cette enzyme, sensible à la chaleur, est souvent affectée par les traitements thermiques, ce qui en fait un bon marqueur pour l'étude de la stabilité protéique (Block, 2010).

D'autres protéines importantes incluent les protéines de réserve, les protéines de stress (comme les protéines de choc thermique HSP), les peroxydases, ainsi que certaines protéines de défense comme les thionines et les lectines (Chauhan *et al.*, 2011). Chez l'oignon, bien que l'alliinase soit également présente, sa concentration est généralement plus faible que dans l'ail, et son activité peut varier selon la variété et les conditions de culture (Benkeblia, 2005).

Lors d'une analyse par SDS-PAGE, ces différentes protéines peuvent être observées sous forme de bandes distinctes selon leur poids moléculaire : par exemple, l'alliinase de l'ail apparaît souvent autour de 50–55 kDa.

Introduction

L'identification de ces profils permet d'étudier les effets de traitements comme le chauffage ou la congélation sur la quantité, la stabilité et l'intégrité des protéines. La méthode SDS-PAGE, développée par **Laemmli (1970)**, est un outil de choix pour visualiser la distribution des protéines selon leur masse, tandis que la méthode de **Bradford (1976)** permet une quantification précise par spectrophotométrie. Ces deux approches sont complémentaires : l'électrophorèse fournit une lecture qualitative, et la spectrophotométrie une lecture quantitative.

Ce cadre méthodologique permet d'évaluer l'effet des différents traitements (frais, chauffé, congelé) sur les caractéristiques protéiques dans les deux espèces étudiées.

Le présent mémoire a pour objectif de réaliser une étude comparative sur les caractéristiques protéiques de l'ail et de l'oignon, en tenant compte de différentes conditions, afin de déterminer les effets de ces conditions sur la structure, la quantité et la stabilité des protéines.

Le premier chapitre de cette étude est consacré aux généralités sur *Allium sativum* et *Allium cepa*, en présentant leurs différentes variétés, leur composition biochimique ainsi que leurs principales activités biologiques.

Le deuxième chapitre décrit le matériel végétal utilisé ainsi que l'ensemble des méthodes et techniques mises en œuvre pour l'analyse.

Le troisième chapitre présente les résultats obtenus, accompagnés d'une discussion critique.

Enfin, une conclusion générale récapitule les principaux apports de ce travail et propose des perspectives pour de futures recherches.

Chapitre I : Revue bibliographique

1) *L'Allium sativum*

1. Généralités sur l'*Allium sativum*

1.1. Origine et description

Origine : L'ail est l'une des plus anciennes plantes cultivées, dont l'histoire remonte à des milliers d'années. Originaire d'Asie centrale, il est aujourd'hui cultivé dans le monde entier pour ses propriétés culinaires et médicinales (Chanda & Dikshit, 2023).

Description : L'ail est une plante bulbeuse appartenant au genre *Allium*. Il est largement utilisé comme épice et ingrédient alimentaire, et ses bulbes sont composés de plusieurs gousses enfermées dans une peau protectrice. La plante est connue pour son arôme et sa saveur piquants, qui sont principalement dus à ses composés contenant du soufre (Champa et al., 2022).

1.2. Morphologie

L'ail est une plante bulbeuse. Le bulbe est composé de 4 à 20 gousses, chacune enveloppée dans une enveloppe. Les gousses sont disposées selon un motif circulaire et le bulbe entier est entouré d'une couche extérieure protectrice (Champa et al., 2022). La plante pousse comme plante vivace ou bisannuelle, selon le cultivar et les conditions environnementales. Ses feuilles vertes en forme de lanière poussent à partir du col du bulbe, et la tige fleurie (hampe) produit une ombelle de petites fleurs en forme d'étoile (Golubkina et al., 2024).



Figure 01 : Morphologie d'*Allium sativum* (Dieti Natura)

1.3. Classification botanique

La classification de *Allium sativum* est présentée dans le **tableau 1**. L'ail appartient au genre *Allium*, qui comprend également les oignons, les poireaux et la ciboulette. Le genre est caractérisé par des plantes bulbeuses à forte odeur et goût, principalement dus à des composés contenant du soufre. **(Figure 02)**

Tableau 01 : Classification d'*Allium sativum* (Timothée *et al.*, 2021).

Règne	Plantea
Sous-Règne	Tracheobionta
Embranchement	Magnoliophyta
Sous-embranchement	Magnoliophytina
Classe	Liliopsida
Sous-classe	Liliidae
Ordre	Liliales(Asparagales)
Famille	Amaryllidacées (anciennement Alliacees)
Genre	Allium
Espèce	<i>Allium sativum</i>

1.4. Variétés d'*Allium sativum*

Les principales variétés d'ail cultivées sont regroupées selon leur couleur en trois catégories : blanche, rose et violette. Selon le rapport de l'**Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles (2022)** parmi les variétés les plus cultivées en Algérie : Rouge local, la Rose de Kabylie, la Rose de Chine, le Rouge d'Espagne, Thermidrome, Messidrome, Fructidor, le Rouge d'Iran, Germidour, Mocta Bulgare et Simple Californie, qui sont bien adaptés aux conditions agroclimatiques régionales et font l'objet de nombreuses cultures maraîchères. **(Figure 02)**



Figure 02 : Différentes variétés d'*Allium sativum* (Le potager permacole, 2023)

2. Composition biochimique des protéines d'*Allium sativum*

L'ail est une riche source de composés bioactifs, notamment de molécules contenant du soufre, de vitamines, de minéraux et de protéines. Sa composition chimique varie en fonction de facteurs tels que le cultivar, les conditions de croissance et les méthodes de transformation (**Pacholczyk et al., 2023**) (**Bazaraliyeva et al., 2022**). Ces protéines jouent un rôle essentiel dans ses fonctions physiologiques et ses effets bénéfiques sur la santé, et qui font partie des mécanismes de défense, de la valeur nutritionnelle et des propriétés thérapeutiques de la plante (**Chanda, Dikshit, 2023**) (**Chergui et al., 2024**)

2.1. Composés bioactifs d'*Allium sativum*

L'*Allium sativum* contient une variété de composés bioactifs, notamment des composés organosulfurés, des saponines, des composés phénoliques et des polysaccharides (**Bradley J.M et al., 2016 ; Diretto G et al., 2017 ; Szychowski K.A et al., 2018**).

Les principaux composants actifs de l'ail sont ses composés organosulfurés, tels que le thiosulfonate de diallyle (allicine), le sulfure de diallyle (DAS), le disulfure de diallyle (DADS), le trisulfure de diallyle (DATS), l'E / Z-ajoène, la S-allyl-cystéine (SAC) et le sulfoxyde de S-allyl-cystéine (alliine) (**Kodera et al., 2017 ; Mansingh et al., 2018**). En général, les composés organosulfurés de l'ail cru ont une digestibilité plus élevée que ceux de l'ail cuit (**Torres et al., 2018**). De plus, les saponines se sont avérées plus stables dans le processus de cuisson (**Lanzotti V et al., 2013**).

La quantité totale de saponine dans l'ail violet était presque 40 fois plus élevée que celle de l'ail blanc, et plusieurs composés de saponine n'existaient que dans l'ail violet, tels que la dégalactotigonine-rhamnose, la proto-dégalaotigonine, la proto-dégalaotigonine - rhamnose, le voghiéroside D1, le sativoside B1-rhamnose et le sativoside R1 (**Diretto et al., 2017**).

De plus, l'ail contenait plus de 20 composés phénoliques, avec des teneurs plus élevées que de nombreux légumes courants (**Liu et al., 2018**). Le principal composé phénolique était l'acide β -résorcylique, suivi du pyrogallol, de l'acide gallique, de la rutine, de l'acide protocatéchique, ainsi que de la quercétine (**Nagella et al., 2014**). De plus, il a été rapporté que les polysaccharides d'ail contenaient 85% de fructose, 14% de glucose et 1% de galactose.

2.2. Allicine

L'allicine est le composé soufré majoritaire de l'ail frais, représentant 70 à 80 % des composés bioactifs totaux et est responsable de la transmission de son arôme distinctif (**Salehi et al., 2019**). L'allicine se décompose rapidement et génère d'autres constituants organosulfurés stables, notamment le DADS, les trisulfures de dialkyle, les vinylthiines (3-vinyle-4H-1,2-dithiine et 2-vinyle-4H-1,3-dithiine), le DAS et les ajoènes (**Sabahi S et al., 2022**). Ces constituants sont sensibles aux solvants organiques, à l'oxygène, à la température et au pH. Les divers attributs physiologiques et biologiques de l'ail, y compris ses propriétés antidiabétiques, anticancéreuses, anti-inflammatoires, anti-obésité, antioxydantes, antifongiques, antibactériennes et immunomodulatrices, peuvent être principalement attribués aux constituants bioactifs présents dans sa matrice. Ceux-ci comprennent des composés organosulfurés (par exemple, allicine, DAS, disulfure d'allyle propyle, polysulfures de diallyle, vinylthiines, DADS et trisulfure de diallyle). (**Sabahi S et al., 2022**).

2.3. Teneur en E-et z-ajoène

L'ajoène est un groupe de composés organosulfurés présentant des caractéristiques analogues à celles de l'ail (**Martins N et al., 2016**). Les activités biologiques de l'ail sont liées à divers composés, dont l'ajoène, produits par la dégradation de l'allicine et la réparation non enzymatique (**Kasim et al., 2017**). Dans les cellules cancéreuses, il a été démontré qu'il déclenche l'apoptose (**Kaschula et al., 2016**) ayant ainsi un impact anticancéreux. Il a été démontré que l'ajoène diminue la prolifération des cellules cancéreuses du poumon dans certaines études (**Wang Y et al., 2018**). Ajoene est également un médicament antifongique qui est sûr et efficace dans le traitement de la chromoblastomycose et de la dermatophytose (**Thomaz L et al., 2008**). Sa dose inhibitrice peut être inférieure à 20 µg / ml (**Naganawa R et al., 1996 ; Yoshida S et al., 1987**). **Choi et al., (2018)** ont utilisé de l'ajoène à des concentrations d'extrait de 3 µg/ml pour stimuler l'activité antimycobactérienne des macrophages. L'ajoène peut également perturber la machinerie biologique et est mortel pour les cellules cancéreuses à de faibles concentrations en µM (**Siyo V et al., 2017**).

2.4. Agglutinine

Cette protéine fonctionne comme un anticorps ou une protéine de liaison au sucre, favorisant biologiquement les voies de signalisation et les interactions intercellulaires (**Padiyappa et al., 2022**).

2.5. Chitinases

D'après **Mikhail A. Filyushin *et al.*, (2021)** les chitinases de la famille GH19 sont des protéines liées à la pathogénèse, qui inhibent la croissance fongique en hydrolysant la chitine de la paroi cellulaire. Cependant, les informations concernant les chitinases de l'ail (*Allium sativum* L.) restent limitées. Les auteurs ont identifié sept gènes de chitinases de classe I, nommés AsCHI1 à AsCHI7, dans le génome de l'ail cultivé A. sativum cv. Ershuizao. Ces gènes pourraient jouer un rôle conservé dans la défense de l'ail contre les attaques de *Fusarium*.

2.6. Thaumatine

Les membres de la famille PR-5 sont homologues à la protéine au goût sucré thaumatine isolée d'une herbe d'Afrique de l'Ouest, *Thaumatococcus danielli* Benth (**Vander Wel H *et al.*, 1972**). Les protéines de type thaumatine (TLP) sont identifiées dans plus de 180 plantes, dont des dicotylédones, des monocotylédones, des gymnospermes, des bryophytes et des algues (**De Jesús-Pires C *et al.*, 2020**), et certaines d'entre elles présentent une forte activité antifongique contre *Rhizoctonia solani*, *Alternaria alternata*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium solani*, *Verticillium spp.* Et *Phytophthora spp.* (**Saeidi M *et al.*, 2020**). Les TLP pourraient également être activés par des agents pathogènes bactériens, des stress abiotiques (tels que des blessures, la sécheresse, le stress osmotique, une basse température, une salinité élevée et le rayonnement UV) et des hormones végétales (**He L *et al.*, 2021**)

2.8. Vitamines et minéraux

L'ail est une bonne source de vitamines C et B6, ainsi que de minéraux tels que le calcium, le potassium, le phosphore et le soufre (**Chanda & Dikshit, 2023**). Il contient également des traces de sélénium, un micronutriment aux propriétés antioxydantes.

2.9. Fibres et glucides

L'ail contient des fibres alimentaires qui contribuent à ses bienfaits digestifs. Il contient également des glucides, notamment des sucres tels que le glucose et le fructose (**Golubkina *et al.*, 2024**).

2.10. Variations de la composition chimique

La composition chimique de l'ail varie considérablement en fonction de facteurs tels que l'origine géographique, le cultivar et les méthodes de transformation. Par exemple :

L'*Allium Sativum* polonais a la teneur en soufre la plus élevée, tandis que l'*Allium sativum* égyptien en a la plus faible (Pacholczyk *et al.*, 2023).

L'*Allium Sativum* chinois est riche en acides aminés et en choline, tandis que l'*Allium sativum* de Madère est riche en glucides (Pacholczyk *et al.*, 2023).

La méthode de transformation (par exemple, le vieillissement, la fermentation ou la torréfaction) peut modifier la biodisponibilité et l'activité des composés bioactifs de l'*Allium Sativum* (Golubkina *et al.*, 2024).

3. Informations structurelles et fonctionnelles sur les protéines d'*Allium sativum*

Les récents progrès en protéomique et en biochimie ont fourni des informations détaillées sur la structure et la fonction des protéines de l'ail. Ces études ont des implications pour la compréhension de leurs rôles biologiques et de leurs applications potentielles (Shamsi *et al.*, 2016) (Wang *et al.*, 2021).

3.1. Caractéristiques structurelles

Les protéines de l'ail, telles que les inhibiteurs de protéase, présentent une stabilité élevée dans des conditions extrêmes de pH et de température. Cette stabilité les rend adaptés aux applications industrielles et biomédicales (Shamsi *et al.*, 2016). Les protéines SERAT impliquées dans le métabolisme du soufre ont une structure conservée, dont un domaine sérine acétyltransférase, qui facilite leur activité enzymatique (Wang *et al.*, 2021). (Figure 03)

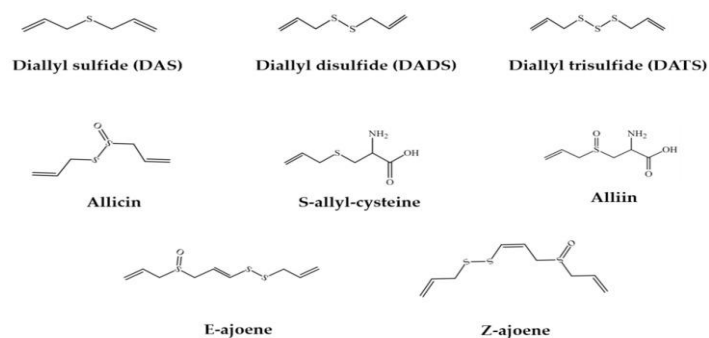


Figure 03 : Les structures chimiques des principaux composés organosulfurés d'*Allium sativum* (Foods, 2019)

3.2. Rôles fonctionnels

Les protéines comme l'alliinase et le SERAT sont essentiels à la biosynthèse des composés organosoufrés, responsables de l'odeur caractéristique de l'ail et de ses bienfaits pour la santé (Wang *et al.*, 2021) (Ovesná *et al.*, 2015). Il a été démontré que l'interaction des protéines de l'ail avec d'autres composés bioactifs, tels que l'ajoène, module les voies cellulaires impliquées dans la progression du cancer et l'inflammation (Kusza *et al.*, 2022) (Kaschula *et al.*, 2019).

4. Activités biologiques des protéines de l'*Allium sativum*

Les protéines de l'*Allium sativum* contribuent à son large éventail d'activités biologiques, notamment à ses effets antimicrobiens, antioxydants, anti-inflammatoires et anticancéreux. Ces activités sont souvent médiées par l'interaction des protéines de l'*Allium sativum* avec d'autres composés bioactifs, tels que les molécules organosulfurées (Chergui *et al.*, 2024). (Figure04)

4.1. Activité antimicrobienne

Les protéines de l'*Allium sativum*, en particulier la fraction protéique extraite de l'ail, ont montré une activité antibactérienne significative contre des agents pathogènes tels que *Staphylococcus aureus* et *Enterococcus faecalis*. Les valeurs de concentration minimale inhibitrice (CMI) et de concentration bactéricide minimale (MBC) mettent en évidence leur efficacité (Chergui *et al.*, 2024).

L'allicine est également remarquable pour sa capacité à empêcher la croissance des biofilms de *Pseudomonas aeruginosa* et la génération régulée par le quorum de composants de virulence en réduisant l'expression d'enzymes et de toxines spécifiques (élastase et exotoxine A) (Lihua L *et al.*, 2013). Ainsi, l'allicine peut être une option viable pour inhiber la formation et le développement des biofilms de *P. aeruginosa* (Lihua L *et al.*, 2013). Les recherches menées par Shuford *et al.* (Shuford JA *et al.*, 2005) ont évalué l'efficacité de l'extrait d'ail comme agent anti-biofilm contre les souches sessiles et planctoniques de *Candida albicans*. Ils ont rapporté que l'ajout d'extraits aqueux d'ail frais peut inhiber le développement du biofilm de *C. albicans* pendant les phases planctoniques, adhésive et sessile. Zhai H *et al.*, (2014) ont analysé l'application d'allicine aux propriétés anti-biofilm. Une étude en microscopie électronique à balayage sur l'impact de l'allicine et de la

vancomycine sur la croissance des biofilms de *S. epidermidis* a été identifiée comme la cause de l'agrégation et de la formation de biofilms.

Contrairement aux effets individuels de l'allicine et de la vancomycine, les résultats ont démontré que l'effet combiné des deux agents inhibe la croissance de *S.epidermidis*, fixation et formation de biofilm sur la couche la plus externe d'une prothèse (Zhai H *et al.*, 2014).

4.2. Activité antioxydante

Les protéines de l'ail contribuent à la capacité antioxydante de la plante en éliminant les espèces réactives de l'oxygène (ROS) et en protégeant les composants cellulaires des dommages oxydatifs. Cette activité est liée à la présence de protéines riches en cystéine et d'acides aminés soufrés (Dvořáková *et al.*, 2015).

Selon un nombre croissant de recherches, l'ail exerce de puissants effets antioxydants. L'extrait d'ail vieilli possède de plus grandes propriétés antioxydantes que l'ail frais et d'autres suppléments d'ail disponibles (Suleria HA *et al.*, 2015).

L'activité antioxydante des composés organosulfurés hydrosolubles tels que le SAC et le SAMC est élevée. Le SAC et le SAMC sont les principaux composants organosulfurés de l'extrait d'ail vieilli (Isbilen O *et al.*, 2020).

Les DADS, les DAS et le trisulfure de diallyle sont des sulfures d'allyle liposolubles ayant un potentiel antioxydant (Ichikawa M *et al.*, 2006). L'ail cru a montré une plus grande activité antioxydante que l'ail cuit, selon une étude qui a examiné les capacités antioxydantes de l'ail cru et cuit (Locatelli DA *et al.*, 2017). La capacité antioxydante de l'ail sauté était également plus grande (blanchiment au carotène), ce qui indique que la transformation peut affecter les propriétés antioxydantes de l'ail (Locatelli DA *et al.*, 2017).

4.3. Effets anti-inflammatoires et anti cancéreux

Il a été démontré que l'*Allium sativum* et ses composants bénéfiques dérivés induisent la suppression de nombreux troubles physiologiques, tels que les complications cardiovasculaires, le stress oxydatif, la prolifération du cancer et le dysfonctionnement immunologique.

La production de NO₂ et de prostaglandine E₂ a été supprimée dans les macrophages BRUTS 264,7 stimulés par les lipopolysaccharides par le linoléate d'éthyle d'ail (Park SY *et al.*, 2014). Ceci a été réalisé grâce à la régulation à la baisse de l'expression inductible de la NO synthase et à la régulation à la hausse de l'expression de l'hèmeoxygénase-1. L'utilité

potentielle de l'ail réside dans sa capacité à augmenter les cellules tueuses naturelles, à stimuler la synthèse de l'interféron gamma, du facteur de nécrose tumorale alpha et de l'interleukine-2, et à contrecarrer la suppression de la réponse immunitaire associée à un risque élevé de cancer (Upadhyay RK, 2016).

De plus, l'allicine peut potentiellement atténuer la réponse inflammatoire initiée par l'infection par les schistosomes chez les rongeurs BALB/c, s'établissant ainsi comme un traitement adjuvant réalisable (Metwally DM *et al.*, 2018).

Ainsi les protéines telles que la vimentine, ont été identifiées comme cibles de l'ajoène, un composé bioactif de l'ail. L'ajoène se lie de manière covalente à la vimentine, perturbant son réseau de filaments et exerçant des effets antimétastatiques sur les cellules cancéreuses (Kusza *et al.*, 2022) (Kaschula *et al.*, 2019).

Les protéines impliquées dans le métabolisme du soufre, telles que la SERAT, jouent un rôle dans la biosynthèse des composés organosoufrés, qui ont été associés à des effets anticancéreux et chimiopréventifs (Wang *et al.*, 2021).

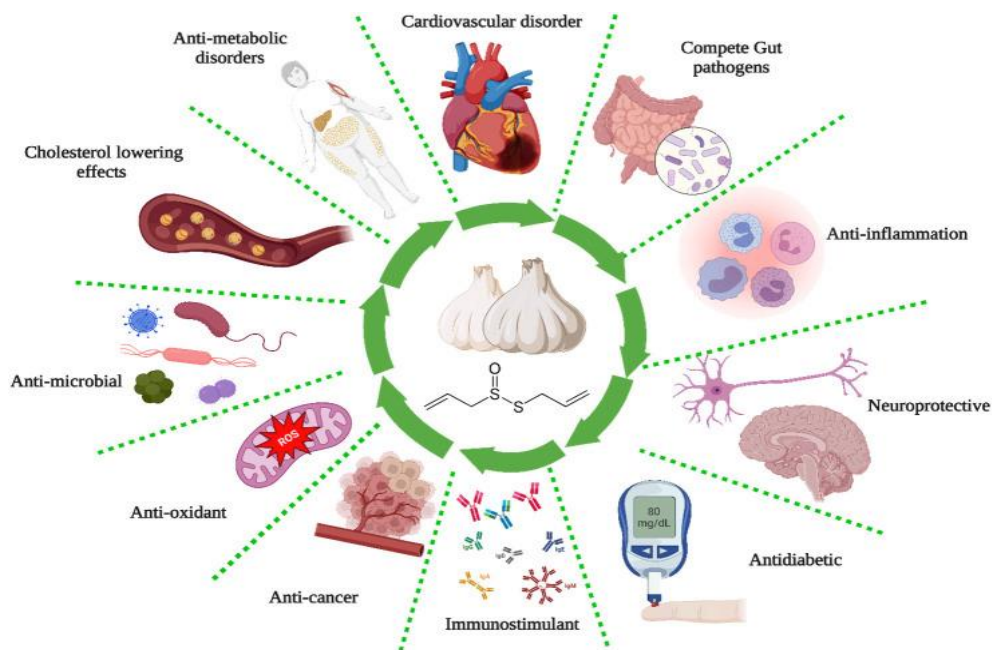


Figure 04 : Activités biologiques de l'*Allium sativum* (Front immunol, 2024).

2) L'*Allium cepa*

1. Généralités sur l'*Allium cepa*

1.1. Origine et description

Origine : Les oignons font partie du genre *Allium*, qui comprend l'ail, les poireaux, la ciboulette et le rakkyo. Le genre *Allium* est l'un des plus anciens légumes cultivés, avec une histoire remontant à des milliers d'années (**Bastaki *et al.*, 2021**) (**Fenwick et Hanley, 1985**). Le genre *Allium* est originaire de l'hémisphère nord, avec des espèces réparties dans divers climats. Les oignons (*Allium cepa*) ont été cultivés à des fins culinaires et médicinales, et des preuves de leur utilisation ont été trouvées dans les civilisations anciennes (**Bohanec *et al.*, 2005**) (**Singh et Khar, 2022**) (**Fenwick et Hanley, 1985**).

Description : Les oignons sont des plantes bulbeuses à structure stratifiée caractéristique. Le bulbe est composé de feuilles charnues ressemblant à des écailles, protégées par une enveloppe. La couleur du bulbe varie selon les cultivars et peut être jaune, rouge ou blanc (**Kaur *et al.*, 2020**). Les oignons sont largement utilisés en cuisine pour leur saveur et leur arôme, qui sont générés par des réactions enzymatiques impliquant des composés contenant du soufre. Ils sont également appréciés pour leurs propriétés médicinales, notamment leurs activités antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes (**Singh et Khar, 2022**) (**Chakraborty *et al.*, 2022**).

1.2. Morphologie

Les oignons sont des plantes herbacées à base bulbeuse et à feuilles tubulaires vertes qui poussent à partir du centre du bulbe. Les feuilles sont dressées et peuvent atteindre des hauteurs variables selon le cultivar (**C. *et al.*, 2013**). Le bulbe est la partie comestible de la plante, formée par le gonflement des feuilles souterraines. Il est composé de couches concentriques, les couches extérieures étant plus résistantes et plus sèches que les couches intérieures. La taille, la forme et la couleur du bulbe varient selon les cultivars (**Kaur *et al.*, 2020**) (**Tarpaga *et al.*, 2013**). Les oignons produisent des tiges florales (hampes) qui peuvent pousser assez haut et se terminent par une ombelle de petites fleurs en forme d'étoile. Ces fleurs sont généralement de couleur blanche ou verdâtre et sont disposées en grappe sphérique au sommet de la hampe (**Tarpaga *et al.*, 2013**). (Figure 05)

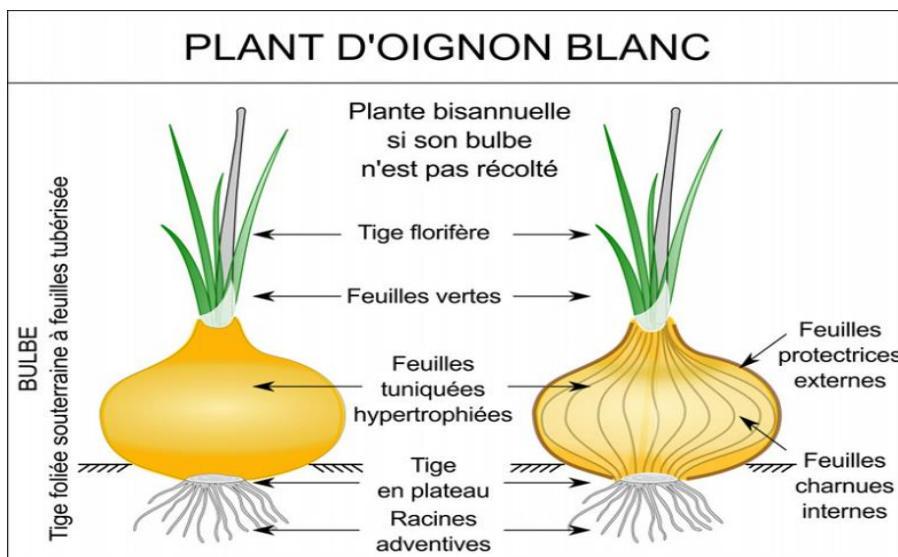


Figure 05 : Morphologie d'*Allium cepa* (SVT Lycée Elorn)

1.3. Classification botanique

La classification de l'*Allium cepa* est présentée dans le **tableau 02**

Tableau 02 : Classification d'*Allium cepa* (Bohanec *et al.*, 2005).

Royaume	Plantae
Clade	Angiospermes
Clade	Monocotylédones
Commande	Asparagales
Famille	Amaryllidacées
Sous-famille	Allioideae
Genre	<i>Allium</i>
Espèce	<i>Allium cepa</i>

1.4. Variétés d'*Allium cepa*

Il existe de nombreuses variétés classées par leur couleur (oignons blancs, jaunes et rouges) et suivant la date de maturation. Certains sont consommés en début de leur formation (oignons nouveaux), d'autres en fin de maturation. Ces derniers peuvent se conserver longtemps. (Université Pierre et Marie Curie, 2010). (Figure 06)

L'oignon jaune : Les oignons jaunes semés au printemps, ils se récoltent à l'automne. Préférez-le cuit que cru, plus difficile à digérer.

Principales variétés dans l'Algérie : Oignon de Tlemcen (local), jaune d'Espagne. (ITCMI, 2022).

L'oignon rouge : également semés au printemps et récoltés à l'automne, les oignons rouges présentent moins de variétés et sont produits dans une proportion moindre mais n'en ont pour autant pas moins de goûts.

Principales variétés dans l'Algérie : Oignon de Biskra (local), Rouge d'amposta, Barletta. (ITCMI, 2022).



Figure 06 : Différentes variétés d'*Allium cepa* (Vincent thizeau,2020)

2. Composition biochimique des protéines d'*Allium cepa*

Les protéines de l'oignon comprennent un large éventail de composés bioactifs, notamment des enzymes, des peptides et des métabolites secondaires, qui font partie intégrante des processus physiologiques de la plante et contribuent à ses propriétés médicinales. Ces protéines se trouvent principalement dans les bulbes, les feuilles et les graines des oignons et jouent un rôle essentiel dans le métabolisme du soufre, la défense antioxydante et les réponses des plantes au stress.

L'*Allium cepa* contient de l'eau, des glucides, des protéines, des lectines, des graisses, des vitamines, des minéraux, des flavonoïdes et des composés organosulfurés et phénoliques (Benmalek *et al.*, 2013). Les interactions entre le génotype, l'environnement et les pratiques agronomiques influencent la qualité des constituants de l'oignon (Agnieszka *et al.*, 2017).

2.1. Les acides aminés

En outre, l'oignon est un pool d'acides aminés libres comprenant l'aspartate (Asp), le glutamate (Glu), l'asparagine (Asn), la sérine (Ser), la glutamine (Gln), l'histidine (His), la glycine (Gly), la thréonine (Thr), arginine (Arg), alanine (Ala), tyrosine (Tyr), méthionine (Met), valine (Val), tryptophane (Trp), phénylalanine (Phe), isoleucine (Ile), leucine (Leu) et lysine (Lys) qui fournissent la teneur en azote de l'oignon et produisent le goût caractéristique appelé "umami" (**Hansen, 2001**). Ces acides aminés dans l'oignon sont des empreintes digitales potentielles d'origine géographique (**Ianni et al., 2018**).

2.2. Les flavonoïdes

La quantité de produits chimiques dans l'oignon varie en fonction de la variété, de l'emplacement géographique et des facteurs de stockage. Certaines variétés, y compris les oignons jaunes, rouges et roses, contiennent de grandes quantités de quercétine par rapport aux variétés blanches. Le niveau le plus élevé de flavonoïdes tels que la quercétine est observé dans la peau sèche et, par conséquent, le pelage peut réduire considérablement ces composants et affecter les bienfaits pour la santé de l'oignon. De plus, diverses méthodes de cuisson peuvent affecter la teneur en flavonoïdes de l'oignon. L'ébullition réduit considérablement les flavonoïdes, le micro - ondes a moins d'effet sur la teneur en flavonoïdes tandis que la friture entraîne la plus grande perte (**Hedges et Lister, 2007**).

Il existe plusieurs types de flavonoïdes présents dans l'*A. cepa* dans les écailles et le disque des bulbes d'oignon (**Wiczowski et al., 2008 ; Slimestad et col, 2007 ; Rodríguez Galdón et al., 2008 ; Ko et al., 2011 ; Shi et coll, 2016 ; Rodrigues et coll, 2017**). Plus de 80% de la teneur totale en flavonoïdes existe dans les écailles externes d'*A. cepa*, ce qui résulte de l'exposition au soleil. La forme libre des constituants phénoliques est prédominante dans les pelures d'oignon jaunes et blanches, la chair d'oignon rouge, la chair germée et la pousse verte (**Albishi et al., 2013**). Différents types d'oignons varient considérablement en termes de polyphénols. L'oignon jaune a les niveaux les plus élevés de flavonoïdes, 11 fois plus élevés que ceux de l'oignon blanc. L'oignon rouge contient des quantités importantes d'anthocyanes et contient 10% de flavonoïdes (**Yang et al., 2004 ; Slimestad et coll, 2007**).

2.3. Alliinase

L'alliinase est une enzyme clé des oignons responsable de la dégradation des sulfoxydes de S-alk (en) yl-L-cystéine en substances volatiles contenant du soufre. Il s'agit

d'une enzyme glycosylée d'une masse moléculaire d'environ 53 à 54 kDa. L'alliinase existe sous plusieurs isoformes, dont les profils de glycosylation et la composition des sous-unités peuvent varier (Clark *et al.*, 1998).

2.4. Chitinases

Les chitinases végétales (EC 3.2.1.14) appartiennent à la famille des protéines liées à la pathogénèse (PR) dont la chitine est la cible du substrat, qui est généralement le principal composant d'un phytopathogène (Su Y *et al.*, 2015). Il a été rapporté que les chitinases sont impliquées dans la réponse à un éventail de stimuli, notamment les blessures mécaniques, les phytohormones, les modifications de température, la salinité, le stress métallique et l'invasion pathogène (Liu B *et al.*, 2010).

2.5. Peroxydase

Les peroxydases sont des enzymes qui catalysent l'oxydation de divers substrats organiques en présence de peroxyde d'hydrogène et qui contiennent un groupe hème dans leur structure. En particulier, les peroxydases végétales sont fréquemment utilisées dans l'industrie, le diagnostic clinique, la fabrication de biocapteurs et les réactions de synthèse organique. En raison de leur valeur commerciale, l'identification et la purification de ces enzymes à partir de différentes sources revêtent une grande importance. (Öztekin Aykut, 2022).

2.6. Autres protéines

Les oignons contiennent diverses autres protéines, notamment des enzymes impliquées dans les mécanismes de défense, telles que les chitinases et les glucanases, qui contribuent à la résistance de la plante aux agents pathogènes. La teneur en protéines des oignons peut varier en fonction du cultivar et des conditions de croissance (Kaur *et al.*, 2020).

3. Informations structurales et fonctionnelles

Les récents progrès en protéomique et en métabolomique ont permis de mieux comprendre les propriétés structurales et fonctionnelles des protéines de l'oignon.

3.1. Diversité structurale

Les protéines de l'oignon présentent une grande diversité structurale, allant des petits peptides bioactifs aux enzymes plus grosses et aux protéines de stockage des graines. Par exemple, le β -glutamyl-propényl-cystéine sulfoxyde (GPCS), un peptide présent dans les oignons, contient une fraction cystéine unique qui est essentielle pour son activité biologique (**Langos, 2009**). De même, la structure des thiosulfates, dérivés des protéines de l'oignon, a été caractérisée à l'aide de techniques chromatographiques et spectroscopiques avancées (**Aoyagi et al., 2011**).

3.2. Propriétés fonctionnelles

Les propriétés fonctionnelles des protéines de l'oignon, telles que la capacité d'absorption d'eau et l'émulsification, en font des ingrédients précieux pour la transformation des aliments. Par exemple, il a été démontré que les protéines contenues dans les concentrés de feuilles d'oignon présentent de bonnes propriétés fonctionnelles, notamment des propriétés moussantes et d'émulsion de graisses, qui sont essentielles pour leur utilisation dans les formulations alimentaires (**Adeagbo et al., 2013**). (**Figure 07**)

4. Activités biologiques des protéines d'*Allium cepa*

Les activités biologiques des protéines de l'oignon sont étroitement liées à leur structure chimique et à leurs propriétés fonctionnelles. Des études récentes ont mis en évidence leur potentiel pour traiter divers problèmes de santé, notamment l'inflammation, le stress oxydatif et les troubles métaboliques.

4.1. Activité antioxydante

Les protéines et les peptides de l'oignon sont riches en cystéine, ce qui contribue à leurs fortes propriétés antioxydantes. Par exemple, il a été démontré que la gamma-glutamyl-cystéine, un peptide dérivé de l'oignon, élimine les radicaux libres et protège les cellules des dommages oxydatifs (**Langos, 2009**). De même, les effets antioxydants des protéines de graines d'oignon ont été liés à leur capacité à améliorer la viabilité cellulaire dans des conditions de stress oxydatif (**Dini, 2011**).

4.2. Activité anti inflammatoire

Les protéines de l'oignon et leurs hydrolysats présentent des effets anti-inflammatoires en modulant les principales voies inflammatoires. Par exemple, il a été démontré que les peptides bioactifs des oignons inhibent la production de cytokines pro-inflammatoires telles que le TNF- α et l'IL-6, ce qui en fait des candidats potentiels pour le traitement des maladies inflammatoires chroniques (**Majumder *et al.*, 2016**). De plus, les extraits de pelure d'oignon, riches en quercétine et en autres polyphénols liés aux protéines, ont démontré des effets anti-inflammatoires dans des modèles d'inflammation intestinale (**Balogun *et al.*, 2024**).

4.3. Activité antimicrobienne

Les protéines de l'oignon, en particulier celles contenant du soufre, se sont révélées avoir des propriétés antimicrobiennes contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives. Cette activité est attribuée à la présence de composés organosoufrés tels que l'allicine, qui sont dérivés de l'hydrolyse des sulfoxydes de S-alk (en) yl-L-cystéine (**Guillamón *et al.*, 2021**) (**Fernández-Bedmar *et al.*, 2019**).

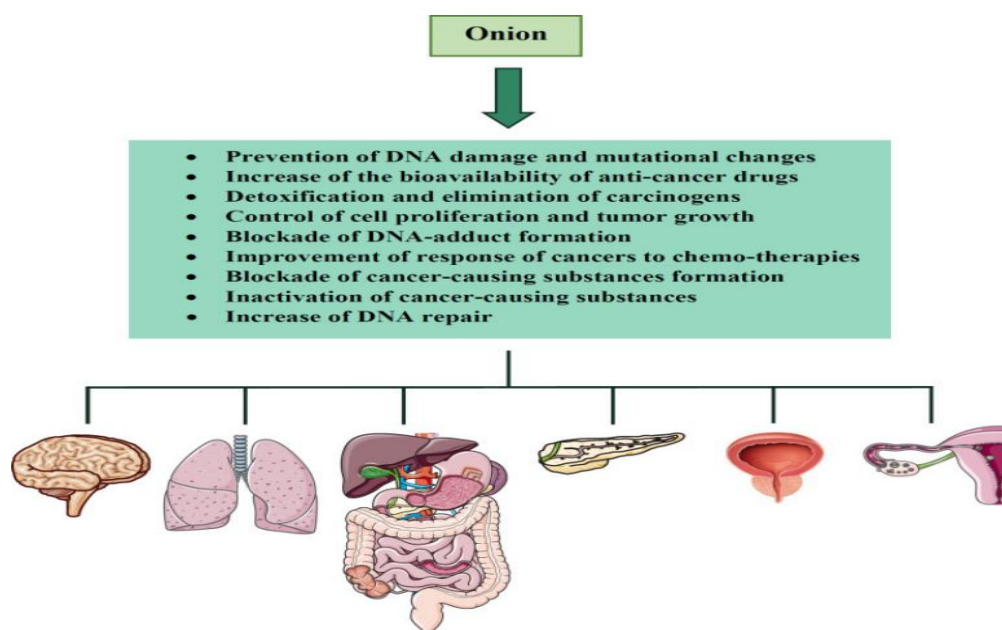


Figure 07 : Activités biologique d'*Allium cepa* (**Farzaneh Kianian *et al.*, 2021**)

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Matériels et méthodes

Le présent travail a pour objectif d'analyser comparativement les profils protéiques de variétés d'*Allium sativum* (ail) et d'*Allium cepa* (oignon) soumises à différents traitements (état frais, chauffage, congélation), en utilisant des approches biochimiques telles que l'électrophorèse sur gel SDS-PAGE et la spectrophotométrie. Cette étude vise à mettre en évidence les variations qualitatives et quantitatives des protéines, ainsi que le polymorphisme protéique induit par les traitements, et afin de mieux comprendre la réponse des protéines végétales aux contraintes physico-chimiques. Le travail a été réalisé au niveau du laboratoire Biochimie, Génétique et Biotechnologie Végétales (BGBV), el chabaa, situé à l'Université Constantine 1 Frères Mentouri.

● Matériel végétal

Dans le cadre de cette étude, deux espèces du genre *Allium* ont été sélectionnées : l'ail (*Allium sativum*) et l'oignon (*Allium cepa*). Le choix de ces espèces repose sur leur importance biologique, nutritionnelle et médicinale, qui en fait des modèles pertinents pour l'analyse des profils protéiques. Les bulbes ont été achetés dans un commerce local (Ritaj Mall, Constantine).

● Méthodes

1. Extraction des protéines totales dans les conditions optimales :

Les traitements appliqués aux échantillons d'*Allium sativum* et *Allium cepa* (état frais, chauffage et congélation) ont été réalisés selon un protocole de **Nezla, (2022)** avec quelques modifications.

Chaque traitement a été effectué en trois répétitions afin d'assurer la reproductibilité des résultats. Afin de préserver l'intégrité des protéines lors du broyage, les échantillons ont été maintenus sur glace pour limiter tout échauffement susceptible d'altérer les structures protéiques. **(Figure 08)**

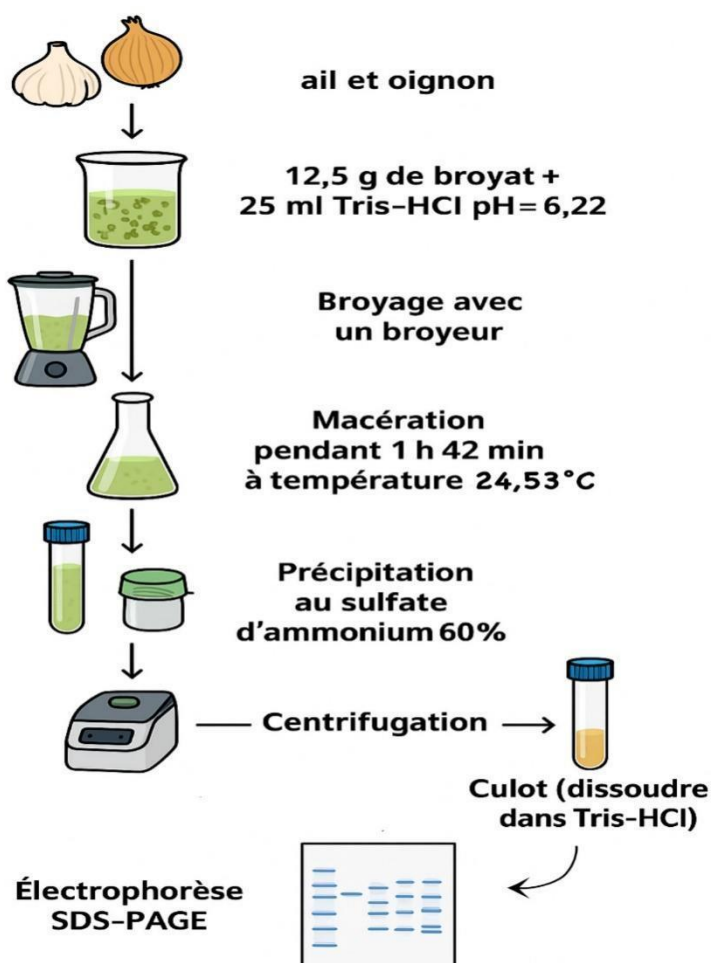


Figure 08 : Protocole d'extraction d'*Allium sativum* et *Allium cepa*

1.1. Préparation des échantillons d'ail et l'oignon

Trois échantillons d'ail et trois échantillons d'oignon ont été prélevés chacun correspondant à l'une des trois conditions expérimentales : état frais, chauffage et congélation. Chaque échantillon a ensuite été subdivisé en trois répétitions biologiques indépendantes afin de garantir la reproductibilité des analyses.

1.2. Préparation des extraits d'ail et l'oignon

Les échantillons d'ail et d'oignon destinés au traitement thermique ont été préalablement incubés à une température de 55 °C pendant 10 minutes pour l'ail et 20 minutes pour l'oignon.

Chapitre 2: Matériel et méthodes

Les 18 répétitions d'échantillons d'ail et l'oignon (correspondant aux trois conditions expérimentales, avec trois répétitions par condition et par espèce) ont été broyées séparément afin de préserver l'intégrité des échantillons et d'éviter toute contamination croisée.

Pour chaque répétition, 12,5 g d'ail ont été broyés en ajoutant 25 ml de tampon Tris 0,5 M (**Annexe 02**).

Le broyage a été effectué à l'aide d'un broyeur électrique, chaque répétition étant broyée pendant une minute.

1.3 . Incubation et filtration des extraits *d'ail et l'oignon*

Après broyage, les extraits d'ail et d'oignon ont été incubés (Etuve Memmert) pendant 1h42 et à une température de 24,5 °C et un PH de 6,22.

Les extraits ont ensuite été filtrés à travers du papier filtre Whatman n° 1 dans le but de l'élimination des débris cellulaires.

1.4. Précipitation des protéines

Principe :

Les sels sont des agents précipitants qui exercent leur effet par déshydratation et permettent aux protéines de conserver leur conformation native (**BOUMENDJEL *et al.*, 2010**).

La précipitation des protéines a été réalisée par addition de sulfate d'ammonium sous forme de solution saturée à 60%. Ainsi 9 g de sulfate d'ammonium ont été ajoutés progressivement à 15 ml d'échantillon, sous agitation constante jusqu'à dissolution complète du sulfate.

Les échantillons ont été centrifugés à 4100 rpm pendant 40 minutes à 4°C.

Le culot a été récupéré et le surnageant conservé.

2. Dosage spectrophotométrie des protéines (Méthode de Bradford)

Le dosage des protéines a été effectué selon la méthode de (**Bradford, 1976**) qui est basée sur le changement d'absorbance qui se manifeste par le changement de la couleur du bleu de commasie après liaison avec les acides aminés basique (arginine, histidine, lysine) et les résidus hydrophobes des acides aminés présente dans la ou les protéines.

1.2. Préparation du réactif de Bradford

- ✓ Un poids de 0,4 g de bleu de Coomassie G-250 a été dissous dans 20 ml d'éthanol à 95 % (**Annexe 05**).
- ✓ Un volume de 40 ml de la solution d'acide phosphorique à 85 % (**Annexe 07**) a été ajouté à la solution de bleu de Coomassie.
- ✓ Le volume a ensuite été ajusté à 400 ml avec de l'eau distillée. La solution a été agitée jusqu'à dissolution complète du colorant.
- ✓ Le réactif de Bradford a ensuite été filtré à l'aide d'un papier filtre Whatman n°1 afin d'éliminer les particules non dissoutes.

Les culots cellulaires ont été suspendus dans un 150 µl de tampon Tris-HCl 50 mM (0,05 M) à pH 7,4 (**Annexe 01**).

Pour chaque échantillon, 150 µL d'extrait protéique de l'ail et 200 µL de l'oignon ont été mélangés à 3 ml de réactif de Bradford.

Le mélange a été vortexé pendant 1 minute, puis incubé pendant 10 minutes à température ambiante."

L'absorbance a été ensuite mesurée par spectrophotomètre UV à 595 nm et la concentration protéiques des échantillons été estimée à partir de la courbe d'étalonnage réalisée en utilisant de la BSA (Bovine Serum Albumin). (**Annexe 08**).

3. Analyse statistique (ANOVA)

Une analyse statistique de type ANOVA a été effectuée à l'aide du logiciel Excel afin d'évaluer l'effet des différents traitements et variétés sur les paramètres mesurés. Cette analyse a permis de déterminer si les variations observées entre les groupes sont statistiquement significatives.

4. Séparation des protéines par Électrophorèse SDS-PAGE

4.1. Principe de l'électrophorèse

L'électrophorèse est une technique qui permet la séparation et éventuellement l'identification des constituants d'un mélange de protéines et leurs poids moléculaires en utilisant la différence entre leurs vitesses de migration sous l'influence d'un champ électrique.

La cartographie des masses moléculaires des protéines peut donc être établie en utilisant une Électrophorèse sur un gel de polyacrylamide en présence de dodécylsulfate de sodium (SDS PAGE) (**Darine, 2010**).

Le SDS (Sodium dodécyl sulfate d, détergent anionique) a deux fonctions : d'une part, dissocier les protéines agrégées et, d'autre part, leur confèrent une charge globale négative, permettant la séparation des protéines essentiellement en fonction de leur poids moléculaire (**Darine, 2010**).

4.2. Technique d'électrophorèse

- ✓ Centrifugation et resuspension des culots cellulaires
- ✓ Tous les échantillons ont été centrifugés (Centrifugeuse 5415 R) à 4100 tr/min pendant 30 minutes.
- ✓ Après centrifugation, le surnageant a été éliminé.
- ✓ Les culots ont été resuspendus dans 150 µL de tampon Tris 0,05 M, pH 7,4.
- ✓ Les culots ont été centrifugés à 4100 tr/min pendant 15 minutes.

4.3. Préparation du Gel

- ✓ Des gels de séparation à 12% et un gel de concentration à 2,88% ont été préparés. (**Annexe 13**).
- ✓ Dépôt des Échantillons et Migration
- ✓ Après la polymérisation des gels et la mise en place de l'appareil d'électrophorèse, la cuve a été remplie avec du tampon de migration.

Chapitre 2: Matériel et méthodes

- ✓ Un volume de 40 μ L de chaque mélange échantillon-tampon de Laemmli (**Annexe 11**) (soit 20 μ L de l'échantillon re suspendu et 20 μ L de tampon de Laemmli (**Laemmli U. K, 1970**)). A été délicatement déposé dans les puits du gel.
- ✓ Un marqueur de poids moléculaire protéique pré-coloré a également été déposé dans l'un des puits de chaque gel pour l'estimation de la taille des protéines.
- ✓ La migration électrophorétique (Électrophorèse CONSORT 1200V – 500mA E815) a été lancée et poursuivie pendant 16h à 100v.
- ✓ L'objectif était de séparer les protéines en fonction de leur masse moléculaire.

5. Visualisation des Protéines

✓ Coloration des Gels

Après la migration, les gels ont été soigneusement retirés de leurs plaques de verre et immédiatement plongés dans une solution de coloration à base de Bleu de Coomassie R-250 (**Annexe 12**). Les gels ont été laissés dans cette solution de coloration pendant 2 jours sous agitation douce pour permettre une fixation et une coloration complètes des bandes protéiques.

✓ Décoloration des Gels

Suite à la coloration, la solution de Bleu de Coomassie a été retirée, et les gels ont été transférés dans un bain d'eau distillée pour la décoloration. La décoloration a été réalisée pendant 1 jour, avec des changements réguliers de l'eau, jusqu'à ce que le fond du gel devienne clair, révélant ainsi les bandes protéiques distinctes.

Chapitre III :

Résultats et

discussion

1. Variation de la teneur en protéines chez l'*Allium sativum* et l'*Allium cepa*

L'analyse par spectrophotométrie à 595 nm, réalisée à l'aide du réactif de Bradford, a permis d'estimer la concentration en protéines totales dans des extraits d'*Allium sativum* et d'*Allium cepa* soumis à trois traitements : état frais, chauffage et congélation

Les résultats sont exprimés en $\mu\text{g/ml}$, puis corrigés selon le facteur de dilution pour obtenir la concentration réelle en mg/ml .

1.1. La concentration en protéines d'*Allium sativum*

Le graphique présente la concentration en protéines (mg/ml) mesurées dans les trois types de traitements appliqués à *Allium sativum* : état frais, chauffé et congelé. Les barres d'erreur indiquent l'écart type, reflétant la variabilité des mesures. (Figure 09)

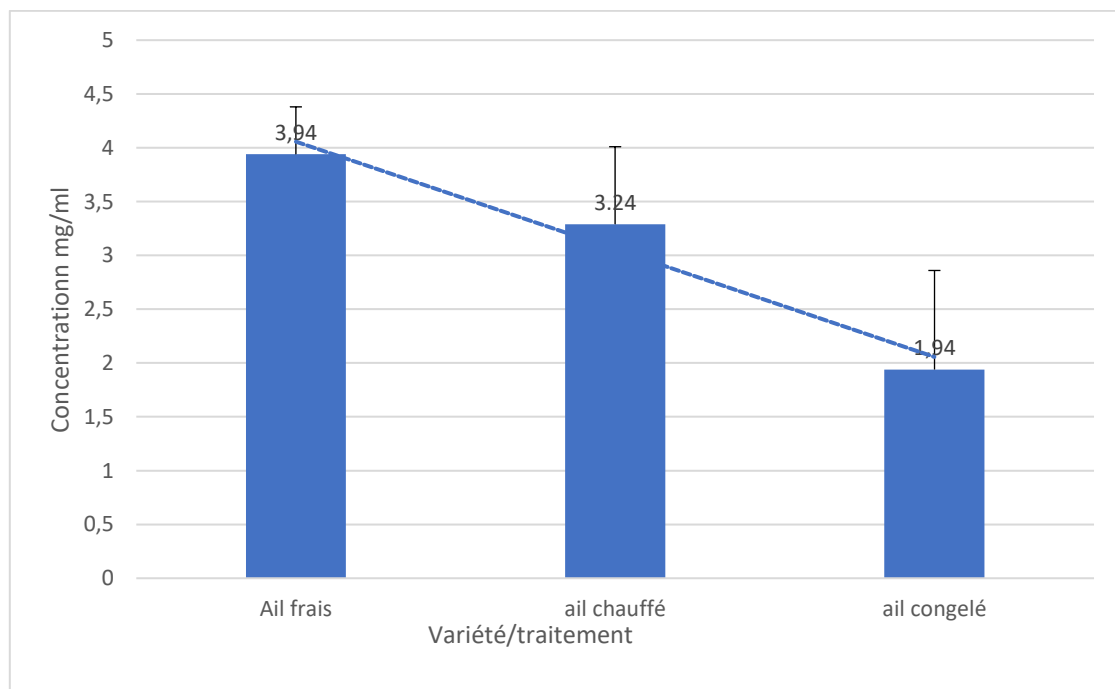


Figure 09 : Variation de la teneur en protéines totales dans l'*Allium sativum* selon différents traitements.

Le profil global observé sur le graphique, représentée par la droite de régression linéaire, indique une diminution progressive et significative de la concentration protéique selon le type de traitement appliqué. De plus, l'augmentation de l'écart type, surtout pour l'ail congelé, témoigne d'une plus grande variabilité dans ce groupe, possiblement liée à une dégradation non uniforme des protéines, soulignant l'effet délétère des traitements de conservation sur les propriétés nutritionnelles des végétaux.

Le **tableau 03** présente les concentrations en protéines mesurées dans les extraits d'*Allium sativum*, en fonction des traitements appliqués (état frais, chauffage, congélation). Ces données mettent en évidence l'influence des conditions de transformation sur la solubilité et la récupération des protéines présentes dans l'ail.

Ces résultats sont en parfaite concordance avec les études antérieures de **Okwu et Nnamdi, (2008)** ; **Otunola et al., (2010)** ; **Nwinuka et al., (2005)** ; **Aiqin et al., (1980)** qui rapportent des teneurs élevées en protéine brute pour l'ail (variant de 15,33 à 17,5 mg/100g ou %), soulignant ainsi le potentiel de l'ail en tant que source protéique.

Tableau 03 : Concentration en protéines *dans les extraits d'Allium sativum*

Échantillon d'ail	Concentration en protéines (mg/ml \pm ET)	Interprétation
Frais	3,94 \pm 0,44	Présente la concentration protéique la plus élevée, indiquant une bonne richesse en protéines et une efficacité d'extraction. Les résultats stables suggèrent une bonne conservation des protéines dans l'échantillon frais.
Chauffée	3,24 \pm 0,72	Montre une diminution modérée, peut s'expliquer par l'effet de la chaleur provoque une dégradation des protéines ou des enzymes responsables de la formation de certains métabolites comme l'allicine. Un choc thermique soudain peut également altérer les structures sensibles, ce qui réduit l'efficacité de l'extrait.
Congelée	1,94 \pm 0,92	Affiche la concentration la plus faible, possiblement à cause des cristaux de glace formés lors de la congélation, qui endommagent les cellules et dégradent les protéines. La décongélation peut également provoquer des réactions enzymatiques indésirables affectant l'extraction. Un choc thermique soudain peut également altérer les structures sensibles, ce qui réduit l'efficacité de l'extrait.

Enfin, les résultats de notre étude sont en accord aussi avec les données disponibles dans la littérature où la teneur en protéines de l'ail frais est généralement estimée entre 4 g et 6g pour 100 g de matière fraîche (**Anonyme, 2022**) confirmant ainsi que les concentrations observées dans notre étude sont dans la plage basse de ces valeurs.

La différence entre ces résultats peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment les différences dans la nature des composés mesurés (protéines vs polyphénols et vitamine C), les variations dans les quantités de matière première et de tampon utilisées pour l'extraction, ainsi que les méthodes analytiques employées.

De plus, les protéines solubilisées dans notre extraction sont quantifiées en solution, ce qui diffère des composés phénoliques exprimés en masse sèche par matière végétale. Ces éléments soulignent la complexité de l'extraction et de la quantification des différents composés bioactifs dans l'ail frais.

1.2. La concentration en protéines d'*Allium cepa*

Le graphique (**Figure 10**) présente la concentration en protéines (mg/ml) des trois types de traitements d'*Allium cepa* : frais, chauffé et congelé, accompagnés de leur écart type, ce qui reflète la variabilité des mesures.

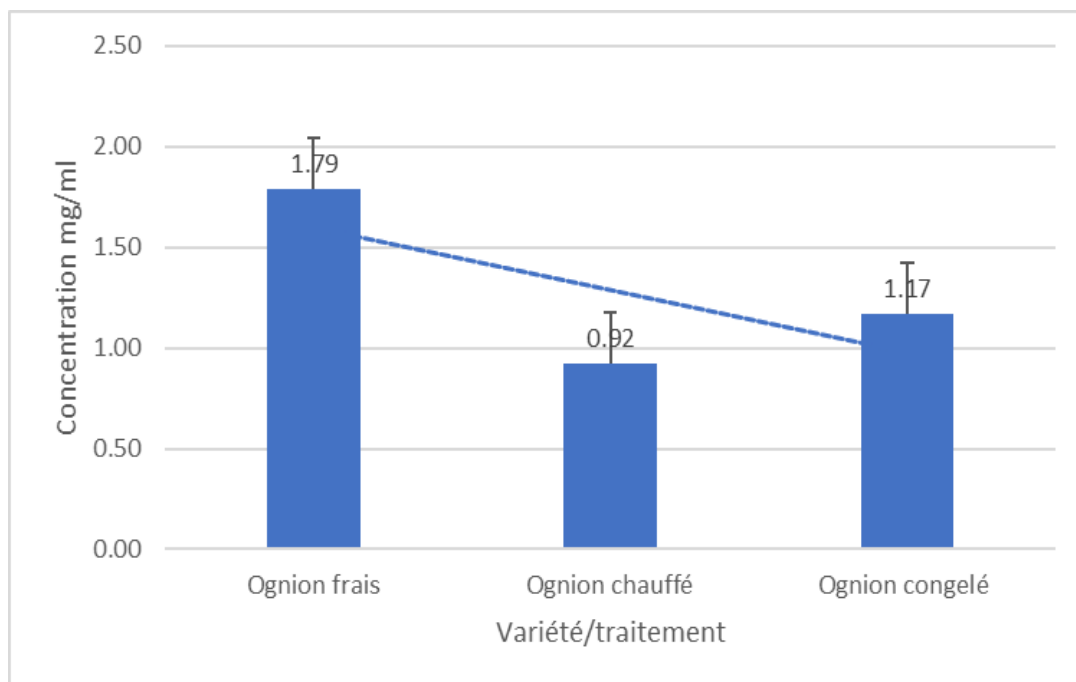


Figure 10 : Variation de la teneur en protéines totales dans l'*Allium cepa* selon différents traitements.

Résultats et discussion

La tendance globale du graphique montre une baisse de la concentration protéique en fonction de la concentration protéique en fonction des traitements, illustrée par une droite de régression linéaire décroissante. Toutefois, contrairement à l'ail, la baisse est moins marquée entre l'oignon chauffé et congelé, ce qui laisse supposer que les protéines de l'oignon sont moins vulnérables au froid qu'à la chaleur.

Le **tableau 04** présente les concentrations en protéines mesurées dans les extraits d'*Allium cepa*, en fonction des traitements appliqués (frais, chauffé, congelé). Ces données mettent en évidence l'influence des conditions de transformation sur la solubilité et la récupération des protéines présentes dans l'oignon.

Tableau 04 : Concentration en protéines dans les extraits d'*Allium cepa*

Échantillon d'oignon	Concentration en protéines (mg/ml \pm ET)	Interprétation
Frais	1,79 \pm 0,76	Présente la concentration protéique la plus élevée. Cela reflète une bonne richesse naturelle en protéines solubles, favorisée par une structure cellulaire intacte
Chauffée	0,92 \pm 0,45	Affiche une diminution significative, probablement due à la dénaturation thermique des protéines.
Congelée	1,17 \pm 0,58	Montre une concentration plus élevée que l'oignon chauffé, mais inférieure au frais. La lyse cellulaire induite par la formation de cristaux de glace facilite l'extraction, mais peut aussi entraîner la dégradation ou la modification de certaines protéines sensibles au froid.

En comparaison, l'étude de **Sami et al., (2021)** a rapporté une teneur en protéines des bulbes d'oignon frais variant de 9,22 à 13,21 g pour 100 g de poids frais, selon la variété analysée. La différence notable entre nos résultats et ceux de cette étude peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment les méthodes d'analyse (extraction chimique suivie de dosage colorimétrique dans notre cas, contre analyse directe sur matière fraîche dans leur cas), la

forme d'échantillon (oignon entier vs fractions spécifiques), et la nature des protéines solubilisées dans un tampon spécifique.

2. Analyse statistique des effets des traitements et des échantillons (ANOVA)

Afin d'évaluer l'influence du type de traitement (chauffage, congélation, état frais) et du type de variété sur la variable étudiée, une analyse de la variance (ANOVA à deux facteurs avec interaction) a été réalisée.

Tableau 05 : Analyse ANOVA à deux facteurs – Effets du traitement, de l'échantillon et de leur interaction.

Source de variation	SC	df	MC	F	P-value	F crit
Variété	1.23297	1	1.23297	2.23016	0.16116	4.74723
Traitement	32.8328	2	16.4164	29.6935	2.3E-05	3.88529
Interaction	29.6506	2	14.8253	26.8155	3.7E-05	3.88529
Erreur	6.63436	12	0.55286			
Total	70.3508	17				

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le **tableau 05** et montrent les éléments suivants :

Effet de variété : Le facteur variété présente une valeur de $F = 2.23016$ avec une valeur de $P = 0.16116$, supérieure au seuil de signification usuel de 0,05. Cette valeur indique que la différence entre les variétés n'est pas statistiquement significative. Autrement dit, le type de variété n'a pas eu d'effet notable sur les résultats.

Effet de traitements : Le facteur de traitement présente une valeur de $F = 29.6935$ et une P-value très faible = 2.3×10^{-5} , bien inférieure à 0,05. Il existe une différence hautement significative entre les différents traitements appliqués, cela montre que les traitements influencent fortement la variable étudiée et entraînent des modifications notables de la composition ou de la stabilité des composés analysés.

Effet de l'interaction (variété x traitement) : l'interaction entre les deux facteurs est également hautement significative avec $F = 26.8155$ et $P = 3.7 \times 10^{-5}$. Cela signifie que l'effet du traitement dépend de la variété utilisée. Il y a donc une interaction entre les deux facteurs, ce qui suggère que le traitement n'a pas un effet constant sur tous les types des variétés.

Conclusion statistique :

L'analyse ANOVA met en évidence que :

- Le type de traitement a un impact significatif sur la variable mesurée
- Le type d'échantillon, isolément, n'a pas d'effet significatif.
- Cependant, l'interaction entre traitement et variété est hautement significative, ce qui suggère que la réponse au traitement varie selon l'échantillon.

3. Analyse du profil protéique par électrophorèse SDS – PAGE

L'analyse SDS-PAGE des échantillons d'ail (*Allium sativum*) et d'oignon (*Allium cepa*) soumis à différents traitements (état frais, chauffé, congelé) a permis de visualiser plusieurs bandes protéiques distinctes, dont certaines ont pu être attribuées à des protéines connues sur la base de leur poids moléculaire et de données bibliographiques.

3.1.Profil électrophorétique des protéines d'*Allium sativum*

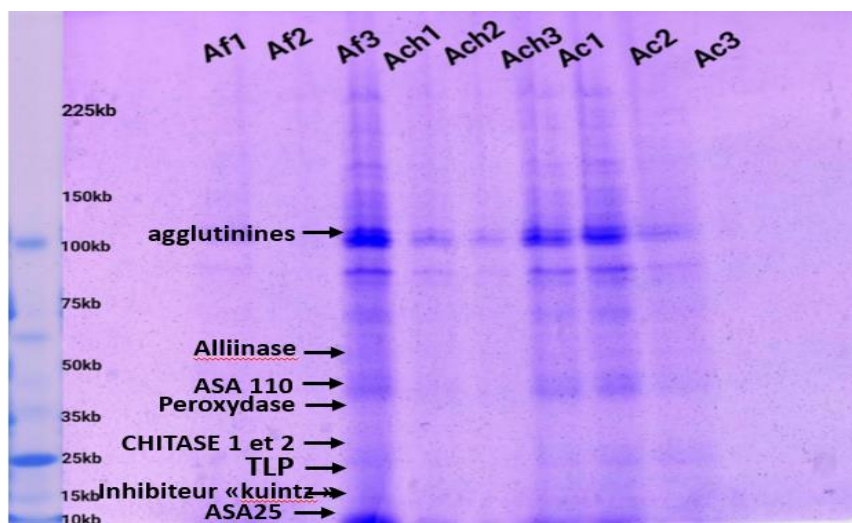


Figure 11 : Profil de migration des protéines d'*Allium sativum* révélé par électrophorèse SDS-PAGE

AF : ail frais, **Ach :** ail chauffée, **Ac :** ail congelée.

Le profil protéique de l'ail (**Figure 11**) varie selon le traitement. L'ail frais présente une forte variabilité avec un profil riche, caractérisé par plusieurs bandes bien visibles, notamment entre 100 et 125 kDa. L'ail chauffé conserve les bandes principales autour de 100 à 110 kDa, mais avec une intensité réduite, ce qui suggère une dénaturation ou une dégradation thermique des protéines. En revanche, l'ail congelé montre des bandes intenses

Résultats et discussion

entre 85 et 110 kDa, qui suggère formation des cristaux de glace lors de la congélation, qui endommagent les cellules et dégradent les protéines. Les résultats détaillés concernant le nombre, le poids moléculaire et l'intensité des bandes sont présentés dans le **tableau 06**.

Le gel SDS-PAGE a mis en évidence plusieurs protéines d'*Allium sativum*, réparties approximativement entre 10 et 225 kDa, telles que repérées à partir du marqueur moléculaire. Une bande marquée autour de 50–53 kDa correspond probablement à l'alliinase, une enzyme homodimérique présente sous forme de sous-unités de 51–52 kDa, dont l'activité catalytique conduit à la formation d'allicine (Block, 2002 ; Rabinkov *et al.*, 1995).

Tableau 06 : Profil électrophorétique des protéines d'*Allium sativum*

Echantillon	Traitement	Nombre de bandes	Poids moléculaires estimés (kDa)	Intensité des bandes
Ail	Frais	13	~225, ~215, ~200, ~150, ~145, ~135, ~100, ~85, ~75, ~45, ~25, ~15, ~10	++++
Ail	Chauffé	12	~225, ~220, ~155, ~150, ~145, ~100, ~85, ~75, ~50, ~45, ~25, ~10	++
Ail	Congelé	10	~225, ~220, ~155, ~150, ~100, ~85, ~75, ~45, ~25, ~10	+++

Cette identification est corroborée par plusieurs études confirmant une taille similaire pour l'alliinase. Une bande présente à 35–37 kDa correspond probablement à la peroxydase, enzyme impliquée dans les réactions antioxydantes de l'ail (Marzouki *et al.*, 2005). Une bande présente à 22 et 30 kDa correspond à les Thaumatin- Like Proteins (TLP) appartiennent à la famille PR-5 (Olga *et al.*, 2022). La visualisation d'une bande à ~15 kDa est cohérente avec la présence d'un inhibiteur de type Kunitz, déjà décrit dans l'ail et caractérisé par son

poids moléculaire et sa stabilité (**Van Damme *et al.*, 1992**). Une bande 32 ou 33 kDa pour CHITAS 1 et CHITAS 2, respectivement (**Van Damme *et al.*, 1993**).

Une bande présente à 25 et 110 kDa correspond à deux isoformes différents d'agglutinines (lectines) (**Gupta et Sandhu, 1997**). L'une des isoformes (ASA 25) est une protéine dimérique contenant deux sous-unités de 12,5 et 13,0 kDa. En revanche, la deuxième isoforme (ASA 110) est une glycoprotéine de deux sous-unités identiques avec un poids moléculaire de 47 kDa. Cette isoforme contient principalement de la glycine, de l'acide aspartique, de la leucine et de la sérine, mais présente de faibles teneurs en méthionine et en cystéine (**Gupta et Sandhu, 1997**).

Quant à l'allicine, bien qu'elle ne soit pas directement visualisée sur le gel en tant que protéine, sa formation résulte de l'action de l'alliinase sur l'alliin (**Majewski, 2014**). Elle peut également modifier les protéines par S-thioalliation, telles que les enzymes glycolytiques, ce qui affecte leur activité (**Gruhlke *et al.*, 2019**).

Les variations observées dans les profils de bandes SDS-PAGE entre les échantillons, notamment l'absence partielle ou la différence d'intensité de certaines bandes, peuvent être attribuées à une hétérogénéité de l'expression protéique. Cette variabilité est souvent influencée par plusieurs facteurs, tels que l'origine géographique ou génétique des bulbes, leur stade de développement physiologique, ainsi que les conditions de conservation avant l'extraction. **Marcu *et al.*, (2018)** ont démontré que la maturité des bulbes d'*Allium* pouvait modifier significativement la distribution des protéines, tandis que **Clarisse *et al.*, (2020)** ont souligné l'impact des traitements post-récolte (comme la congélation ou le séchage) sur la stabilité et l'extra stabilité des protéines. La densité des bandes révèle une abondance protéique variable : la protéine de ~50 kDa (alliinase) s'avère dominante, tandis que les protéines à ~35 kDa (peroxydase) et ~15 kDa (inhibiteurs) apparaissent moins abondantes, mais revêtent un intérêt fonctionnel notable (**Medjeldi *et al.*, 2006**).

Ces résultats confirment la diversité protéique de l'ail, même si la teneur totale en protéines reste modeste. La présence d'alliinase est significative du point de vue physiologique, car elle génère l'allicine, connue pour son rôle antibactérien et antioxydant (**Block, 2002**). La peroxydase, quant à elle, renforce cette dynamique en jouant un rôle clé dans la défense oxydative (**Medjeldi *et al.*, 2006**). En outre, l'inhibiteur protéase et l'activité de S-thioalliation induite par l'allicine suggèrent des effets régulateurs sur les protéines cibles (**Gruhlke *et al.*, 2018**).

3.2. Profil électrophorétique des protéines d'*Allium cepa*

Le profil protéique de l'oignon (**Figure 12**) varie selon les traitements, avec une richesse globale marquée.

L'oignon frais a montré uniquement cinq bandes protéiques, ce qui traduit une faible diversité des protéines extraites. Cette diminution pourrait être due à la faible solubilité de certaines protéines, ou à la dégradation de certaines protéines pendant l'extraction. L'oignon chauffé conserve des bandes principales très intenses autour de 145 kDa, ce qui suggère une bonne stabilité des protéines à la chaleur ou une meilleure efficacité d'extraction comparée à l'ail. Quant à l'oignon congelé, il affiche un profil très riche et bien résolu, avec des bandes intenses à 145 kDa, traduisant une extraction particulièrement efficace induite par la congélation. Les résultats détaillés concernant le nombre, l'intensité et le poids moléculaire des bandes figurent dans le **tableau 08**.

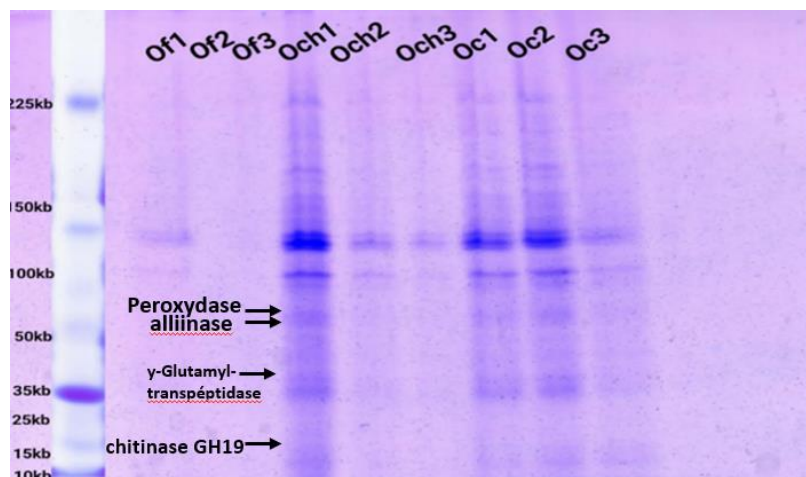


Figure 12 : Profil de migration des protéines d'*Allium cepa* révélé par électrophorèse SDS-PAGE

Of : oignon frais, **Och** : oignon chauffée, **Oc** : oignon congelée.

Les résultats obtenus mettent en évidence des différences marquées en termes de migration, d'intensité des bandes, et donc de disponibilité des protéines. Dans l'échantillon frais des bandes bien définies ont été observées entre 100 et 145 kDa, indiquant la présence de protéines de haut poids moléculaire en quantité significative.

En revanche, les échantillons chauffés présentent une atténuation importante des bandes dans la région des 140 kDa, accompagnée de bandes diffuses de poids plus faible,

Résultats et discussion

suggérant une dénaturation thermique et une probable dégradation de l'enzyme. Une bande présente de 50,5 à 52,7 kDa correspond aux alliinase (**Jane et al., 2000**). Des bandes de 17,28 à 25,53 kDa correspondent à des motifs de chitinase GH19 canoniques conservés. (**Rupesh et al., 2018**). Une bande de 51.2 kDa correspond à l'enzyme peroxydase. (**Öztekin Aykut, 2022**)

Tableau 07 : Profil électrophorétique des protéines d'*Allium cepa*

Echantillon	Traitement	Nombre de bandes	Poids moléculaires estimés (kDa)	Intensité des bandes
Oignon	Frais	5	~155, ~150, ~100, ~35	++
Oignon	Chauffé	10	~225, ~215, ~155, ~150, ~125, ~100, ~55, ~50, ~35, ~15	++++
Oignon	Congelé	12	~225, ~215, ~155, ~150, ~125, ~100, ~55, ~50, ~45, ~40, ~35, ~15	+++

Cette observation est cohérente avec les résultats de **González et al., (2010)** qui ont montré que l'alliinase est rapidement inactivée à partir de 50 °C, et que sa structure tridimensionnelle est sensible à la chaleur.

L'échantillon congelé conserve des bandes visibles autour de 100 à 145 kDa, bien qu'atténuées par rapport aux échantillons frais. Une bande présente ~38,9 kDa correspond à γ -Glutamyl-transpeptidase (**Tirza et al., 1995**). D'après **Wafler et al., (1994)** la congélation lente et la décongélation progressive peuvent entraîner des ruptures membranaires, des fuites enzymatiques et une perte d'intégrité structurale. De même **Horbowicz et Bąkowski (1997)** ont constaté une réduction de l'activité alliinase et des teneurs en pyruvate, ce qui traduit une baisse de la fonctionnalité enzymatique post-congélation.

Globalement, les profils obtenus suggèrent que l'état frais garantit une disponibilité maximale des protéines fonctionnelles, notamment l'alliinase, tandis que le traitement thermique entraîne une dénaturation complète, et la congélation, une altération modérée. Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle les traitements physiques influencent fortement la stabilité des protéines bioactives dans *Allium cepa*, rejoignant ainsi plusieurs données de la littérature sur l'instabilité thermique et cryogénique des enzymes soufrées

Conclusion et perspectives

Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence l'influence significative des traitements technologiques (état frais, chauffage, congélation) sur le profil protéique de deux espèces du genre *Allium* : *Allium sativum* (ail) et *Allium cepa* (oignon). À travers des conditions d'extraction optimisées (pH 6,22, température de 24,52 °C, durée de macération de 1h42), les analyses par SDS-PAGE et spectrophotométrie de Bradford ont permis de quantifier et de comparer efficacement les profils protéiques obtenus.

Les échantillons frais ont montré les teneurs protéiques les plus élevées, en particulier chez l'ail, ce qui suggère que l'intégrité cellulaire favorise l'extraction et la stabilité des protéines. La congélation, bien qu'entraînant des perturbations cellulaires, a amélioré l'accessibilité aux protéines en facilitant la lyse cellulaire. À l'inverse, le chauffage a entraîné une altération plus marquée des protéines, vraisemblablement en raison de leur dénaturation thermique.

L'ail a présenté une richesse protéique supérieure à celle de l'oignon, tant en quantité qu'en diversité (nombre et intensité des bandes en SDS-PAGE), soulignant son potentiel en tant que source protéique végétale pour des applications alimentaires ou fonctionnelles.

Ces résultats ouvrent des perspectives prometteuses pour l'optimisation des procédés de transformation des produits du genre *Allium*. La congélation pourrait être intégrée en amont de la production d'ingrédients fonctionnels (extraits concentrés, poudres lyophilisées), permettant une meilleure conservation de la valeur nutritionnelle. Le chauffage, bien qu'altérant les protéines, peut être valorisé pour la production d'ingrédients stables (poudres déshydratées, extraits cuits, arômes), répondant aux exigences de conservation et de sécurité microbiologique.

Dans ce cadre, l'alliinase représente une cible enzymatique d'intérêt particulier. Présente en forte concentration dans l'ail, cette enzyme est à l'origine de composés organosulfurés bioactifs (comme l'allicine), aux propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, anti-inflammatoires et cardioprotectrices. Sa sensibilité à la chaleur suggère que des méthodes de conservation à froid, comme la congélation ou la lyophilisation, pourraient permettre de préserver son activité et d'envisager son intégration dans des formulations à visée nutritionnelle ou thérapeutique.

Conclusion et perspectives

Enfin, cette étude constitue un socle solide pour approfondir la compréhension des effets des traitements technologiques sur la qualité des protéines végétales. Elle pourra être prolongée par des pistes telles que :

- ◆ L'optimisation des conditions d'extraction (pH, durée, température) pour maximiser le rendement protéique.
- ◆ L'évaluation de techniques de traitement plus douces (cuisson à basse température, pasteurisation rapide, micro-ondes) ou de congélation contrôlée (-18°C , -40°C , cryogénie) pour préserver la qualité des protéines.
- ◆ L'extension de l'analyse à d'autres composés bioactifs (antioxydants, composés soufrés, enzymes) ou à d'autres espèces du genre *Allium*, afin d'évaluer globalement le potentiel de valorisation nutritionnelle, fonctionnelle et pharmaceutique de ces plantes.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abbasi Amine, Sabahi Sahar, Seyed Ali Mortazavi. (2022).** Characterization of cinnamon essential oil and its application in *Malva sylvestris* seed mucilage edible coating to the enhancement of the microbiological, physicochemical and sensory properties of lamb meat during storage. *Journal of Applied Microbiology*, 132(3), 1500–1515. DOI : 10.1111/jam.15578.
2. **Abayomi Yusuf, S.S.Fagbuaro, Fajemilehin Samuel Oladipo Kolawole. (2018).** Chemical composition, phytochemical and mineral profile of garlic (*Allium sativum*). *Journal of Bioscience and Biotechnology Discovery* 3, no.105-109.
3. **Adeagbo, A.I., K.A. Bolaji, et O.F. Odoje. (2013).** Nutritive Potentials of *Allium Cepa* and *Diplotaxis Tenufolia* Vegetable Leaf Protein Concentrates. *Greener Journal of Agricultural Sciences*. 3(3), 211–214. ISSN : 2276-7770.
4. **Agnieszka S., Robert P., Del V.L., Silvano S., et Gianluca C. (2017).** Interactions among genotype, environment and agronomic practices on production and quality of storage onion (*Allium cepa* L.)-A review. *J Horti Sci Biotech*, 3(3), 211–214.
5. **Aiqin Wang, Wenbo Wang. (1980).** Encyclopedia of Chemical Technology 3rd edn. John Wiley and Sons, New York. Vol. 10, Pp. 477-480. Doi: 10.1002/0471238961.supewang.a01
6. **Albishi Tasahil, Jenny A. John, Abdulrahman S. Al-Khalifa, Fereidoon Shahidi. (2013).** Antioxidant, anti-inflammatory and DNA scission inhibitory activities of phenolic compounds in selected onion and potato varieties. *Journal of Functional Foods*, 5(2), 930–939. DOI: 10.1016/j.jff.2013.02.005
7. **Amagase Harunbu. (2006).** Clarifying the real bioactive constituents of garlic. *The Journal of Nutrition*, 136(3), 716S–725S. DOI: 10.1093/jn/136.3.716S.
8. **Aoyagi, Morihiro, Takahiro Kamoi, Masahiro Kato. (2011).** Structure and Bioactivity of Thiosulfinates Resulting from Suppression of Lachrymatory Factor Synthase in Onion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(20), 10893–10900. DOI: 10.1021/jf202446q
9. **Aykut ÖZTEKİN. (2022).** Separation of Guaiacol Peroxidase from Onion Roots with Affinity Chromatography. ISSN : 2146-0574, eISSN: 2536-4618. Doi : 10.21597/jist.634995
10. **Benkeblia Nouredine. (2005).** Free-radical scavenging capacity and antioxidant properties of some selected onions (*Allium cepa* L.) and garlic (*Allium sativum* L.) extracts. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(5), 753–759. DOI: 10.1590/S1516-8913200500060011.

Références bibliographiques

11. **Benmalek Yamina, Ouahiba Ait Yahia, Aicha Belbekir, Marie – Laure Fardeau. (2013).** Anti-microbial and antioxidant activities of *Illicium verum*, *Crataegus oxyacantha* ssp *monogyna* and *Allium cepa* red and white varieties. *Bioengineered*, 4(4), 244–248. DOI: 10.4161/bioe.24435.
12. **Block E. (2002).** The chemistry of garlic and onions. *Scientific American*. *Scientific American*, 252(3), 114–119. DOI: 10.1038/scientificamerican0385-114.
13. **Block E. (2010).** Garlic and other alliums: The lore and the science. *Royal Society of Chemistry*. 100 – 223.
14. **Bo Liu, Xiaodan Xue, Suping Cui, Xiaoyu Zhang, Qingmei Han, Lin Zhu, Xiaofei Liang, Xiaojie Wang, Lili Huang, Xianming Chen, Zhensheng Kang. (2010).** Cloning and characterization of a wheat β -1,3-glucanase gene induced by the stripe rust pathogen *Puccinia striiformis* f. sp. *Tritici*. Doi: 10.1007/s11033-009-9823-9
15. **Boukef M. (1986).** Les plantes dans la médecine traditionnelle tunisienne. Agence de coopération culturelle et technique. 350 pages - 1 Volumes. ISBN 92-9028-085-9.
16. **Bradford, M. M. (1976).** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254. Doi: 10.1016/0003-2697(76)90527-3.
17. **Bradley, Jessica M., Chelsa L. Organ, et David J. Lefer. (2016).** Garlic - Derived Organic Polysulfides and Myocardial Protection. 16(21), 3609. DOI: 10.3945/jn.114.208066.
18. **Brownmiller, Cindi, et Sun-Ok Lee. (2024).** Onion Peel Extract Prevents Intestinal Inflammation via AMK-Activated Protein Kinase Activation in Caco-2/HT-29 Cells. *Nutrients*, 16(21), 3609. Doi: 10.3390/nu16213609.
19. **Champa. K, Tusheema. D, Mimosa. G, Protha. B, Dipu. S, Patrik. O, Niraj. K, Manoj. K, Radha, Jaroslaw. P, José. M, Abhijit. D. (2022).** Traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicology of garlic (*Allium sativum*), a storehouse of diverse phytochemicals: A review of research from the last decade focusing on health and nutritional implications. Doi: 10.3389/fnut.2022.929554.
20. **Chanda, Sumitra, et Nilamani Dikshit. (2023).** Garlic (*Allium sativum* L.): An overview of its biochemical composition, functional properties, ayurvedic, therapeutic and ethnoveterinary uses. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 45(3-4), 89–107. DOI: 10.62029/jmaps.v45i3.chanda

Références bibliographiques

21. **Chauhan, A., Uniyal, V., Rawat, N., & Pundir, C. S. (2011).** Effect of heat treatment on structure and functional properties of proteins. *International Journal of Food Properties*, 14(2), 450–465.
22. **Chergui, A., Nezla, S., Titouche, Y., Imessaoudene, A., Hadadi, A., & Lefsih, K. (2024).** Antibacterial and antihemolytic assessment of *Allium sativum* through optimized protein fraction extraction. *The North African Journal of Food and Nutrition Research*. Doi: 10.51745/najfnr.8.18.184-194.
23. **Choi, J.A., S.N. Cho, Y.J. Lim, J. Lee, D. Go, S.H. Kim. (2018).** Enhancement of the antimycobacterial activity of macrophages by ajoene. *Innate Immun.* 24(1), 79–88. Doi : 10.1177/1753425917747975.
24. **Clarisse. S., Hamido. C, Hagrétou.S. (2022).** Impact du prétraitement au sel (NaCl) et du séchage sur les caractéristiques nutritionnelles et microbiologiques de l'oignon bulbe
25. **Clark. S., et Shaw.M. (1998).** Physical characterization of aliinase, the flavor generating enzyme in onions. *Journal of food Biochemistry* 22, no. 2: 91-103. Doi : 10.1111/j.1745-4514. 1998.tb00233.x
26. **Daoudi. K, Rekeb. T. (2021).** Comparaison biochimique des différents extraits d'ail « frais, congelé et séché » et évaluation de l'activité anti hémolytique de l'extrait d'ail frais. Université Mouloud Mammeri.
27. **Darine, S. (2010).** Étude de l'extraction des protéines de coproduits d'abattage et de leur valorisation comme ingrédients fonctionnels.79–88.
28. **Dehghani, S., E. Alipoor, A. Salimzadeh, M. Yaseri, M. Hosseini, C. Feinle-Bisset, et M.J. Hosseinzadeh-Attar. (2018).** The effect of a garlic supplement on the pro-inflammatory adipocytokines, resistin and tumor necrosis factor-a, and on pain severity, in overweight or obese women with knee osteoarthritis. *Phytomedicine*, 48, 70–75. DOI: 10.1016/j.phymed.2018.04.060.
29. **De Jesús-Pires C., Ferreira-Neto JRC, Pacifico Bezerra-Neto J., Kido EA, de Oliveira Silva RL, Pandolfi V., Wanderley-Nogueira AC, Binneck E., da Costa AF, Pio-Ribeiro G. (2020).** Protéines végétales de type thaumatine : fonction, évolution et applications biotechnologiques. *Curr. Peptide de protéine. Sci.* 2020 ; 21 : 36-51. Est-ce que je : 10.2174/1389203720666190318164905.

Références bibliographiques

30. **Dini Irene. (2011).** Red Onion (*Allium caepa* L. var. *tropeana*) Seeds: Nutritional and Functional Properties. Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. (pp. 981–990). ISBN: 9780123756886. DOI : 10.1016/B978-0-12-375688-6.10116-1
31. **Dirreto Gianfranco, Angela Rubio-Moraga, Javier Argandona, Purificacion Castilo, Lourdes Gomez-Gomez, Oussama Ahrazem. (2017).** Tissue-Specific Accumulation of sulfur compounds and saponins in different parts of garlic cloves from purple and white ecotypes, 22(8), 1359. DOI: 10.3390/molecules22081359
32. **Dvorakova, M., Ivona Weingartova, Jan Nevoral. (2015).** Garlic sulfur compounds suppress cancerogenesis and oxidative stress: a review. Scientia Agriculture Bohemica, 46(2), 65–72. Doi: 10.1515/sab-2015-0018.
33. **Fernández-Bedmar, Zahira, Sebastián Demyda-Peyrás, Tania Merinas-Amo. (2019).** Nutraceutic Potential of Two Allium Species and Their Distinctive Organosulfur Compounds: A Multi-Assay Evaluation. Food, 8(6), 222. Doi: 10.3390/foods8060222.
34. **Front Immunol. (2024).** Sec. Nutritional Immunology. Volume 15-2024.
35. **Golubkina, Nadezhda, V.I. Nemtinov. (2024).** Garlic and its processing products, prospects of their utilization. Vegetable crops of Russia. Doi : 10.18619/2072-9146-2024-6-75-83
36. **Gruhlke, H. Antelmann, H., Bernhardt. J, Kloubert.V, Rink. L, Slusarenko, A. J. (2019).** The human allicin-proteome: S-thioallylation of proteins by the garlic defence substance allicin and its biological effects. Free Radical Biology and Medicine, 131, 144–153. DOI : 10.1016/j.freeradbiomed.2018.11.022
37. **Guillamón, Enrique, Pedro Andreo-Martínez, Nuria Mut-Salud. (2021).** Beneficial Effects of Organosulfur Compounds from *Allium cepa* on Gut Health: A Systematic Review. Foods. Doi: 10.3390/foods10081680.
38. **Gupta. A, Sandhu. RS (1997).** Une nouvelle agglutinine de haut poids moléculaire issue de l'ail. Molecular and cellular biochemistry (numéro 166, p. 1–9).
39. **Hansen S.L. (2001).** Content of free amino acids in onion (*Allium cepa* L.) as influenced by the stage of development at harvest and long-term storage. Acta Agr Scand B-S P. Doi : 10.1080/090647101753483796.
40. **He L., Li L., Zhu Y., Pan Y., Zhang X., Han X., Li M., Chen C., Li H., Wang C. (2021).** A Thaumatin-like Protein Gene, Confers Tolerance to Salt and Drought Stresses in Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*). Doi: 10.3390/ijms222011132.

Références bibliographiques

41. **Horbowicz, M., & Bąkowski, J. (1997).** Effect of freezing on enzymatic activity in onion bulbs. *Acta Agrobotanica*, 50(1), 15–21
42. **Ianni, F., A. Lisanti, M. Marinozzi, E. Camaioni, L. Pucciarini, A. Massoli, R. Sardella, L. Concezzi, et B. Natalini. (2018).** Amino acid content in onions as potential fingerprints of geographical origin: the case of rossa da inverno sel. Rojo Duro. *Molecules*. Doi : 10.3390/molecules23061259.
43. **Ichikawa. M, J. Yoshida, T. Sasaoka, H. Yamaguchi, K. Ono. (2006).** Dérivés de tétrahydro-β-carboline dans l'extrait d'ail vieilli présentant des propriétés antioxydantes. *J Nutr*. DOI : 10.1093/jn/136.3.726S
44. **Isbilen. O, E. Volkan. (2020).** *Allium Species in the Fight Against Cancer*. ISBN 978-81-936678-8-0.
45. **Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles (ITCMI). (2022).** Culture de l'ail en Algérie. Consulté le 14 juin 2025. <https://itcmi-dz.org/wp-content/uploads/2022/06/AIL.pdf>
46. **Jane E. Lancaster, Martin L. Shaw, Meeghan D. Pither Joyce, Jhon A. McCallum, Michael T. McManus. (2000).** A novel Alliinase from onion roots. Biochemical characterization and cDNA cloning. Volume 122, Pages 1269-1280. Doi: 10.1104/pp.122.4.1269.
47. **Judita Lidiková, Natália Čeryová, Tomáš Tóth, Janette Musilová, Alena Vollmannová, Kushvara Mammadova and Eva Ivanišová. (20220).** Garlic (*Allium sativum* L.): Characterization of Bioactive Compounds and Related Health Benefits. DOI: 10.5772/intechopen.108844
48. **Kaschula. C, R. Hunter, J. Cotton, R. Tuveri, E. Ngarande, et K. Dzobo. (2016).** The garlic compound ajoene targets protein folding in the endoplasmic reticulum of cancer cells. *Mol Carcinog*. Doi: 10.1002/mc.22364.
49. **Kaschula, Catherine H., Rosanna Tuveri, et Ellen Ngarande. (2019).** The garlic compound ajoene covalently binds vimentin, disrupts the vimentin network and exerts anti-metastatic activity in cancer cells. Doi: 10.1186/s12885-019-5388-8.
50. **Kasim.W, AFaf. N, A. Gaber. (2017).** Alleviation of drought stress in *Vicia faba* by seed priming with ascorbic acid or extracts of garlic and carrot. Doi :10.21608/ejbo.2017.831.1057
51. **Kianian, Farzaneh, Narges Marefati, Marzie Boskabady, et Mohammad Hosein Boskabady. (2021).** Pharmacological Properties of *Allium cepa*, Preclinical and Clinical Evidences; A Review. Doi: 10.22037/ijpr.2020.112781.13946.

Références bibliographiques

52. **Ko, M.J., C.I. Cheigh, S.W. Cho, et M.S. Chung. (2011).** Subcritical water extraction of flavonol quercetin from onion skin. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.09
53. **Kodera, Yukihiro, Mitsuyasu Ushijima, Hirotaka Amano, Jun-Ichiro Suzuki, et Toshiaki Matsutomo. (2017).** Chemical and biological properties of S-1-Propenyl-1-Cysteine in aged gralic extract. Doi: 10.3390/molecules22040570.
54. **Kusza.A, Roger.H, Georgia.S. (2022).** Activity based proteomic identification of the S-Thiolation targets of ajoene in MDA-MB-231 Breast Cancer Cells. Doi: 10.1021/acs.jafc.2c04972.
55. **Laemmli, U. K. (1970).** Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. Nature, 227(5259), 680–685. Doi: 10.1038/227680a0.
56. **Langos. M., Herbert. A, Rudlof.B, Ingrid.T, Peter. B, Thomas. S, Stefan. S, Roman. S. (2009).** glutamyl-propenyl-cysteine sulfoxide (GPCS), a gamma-glutamyl peptide from onion (*Allium cepa* L.). phytochemistry and pharmacology. Doi : 10.1021/jf040457i.
57. **Lanzotti, Virginia, Giuliano Bonanomi, et Felice Scala. (2013).** What makes *Allium* species effective against pathogenic microbes. Doi: 10.1007/s11101-013-9295-3
58. **Lee, Sangku, Jae Nyoung Kim, et Dong-Ho Choung. (2011).** Facile synthesis of trans -S-1- Propenyl-L-Custeine Sulfoxide (Isoalliin) in onions (*Allium cepa*). Doi: 10.5012/bkcs.2011.32.1.319
59. **Lihua L., Jianhui W., Jialini Y., Yayin L., et Guanxin L. (2013).** Effects of allicin on the formation of *Pseudomonas aeruginosa* biofilm and the production of quorum-sensing controlled virulence factors. Pol J Microbiol. PMID : 24459829.
60. **Liu, Jian, Feng Ji, Fengming Chen, Wei Guo, Minli Yang, Shengxiong Huang, Feng Zhang, et Yongsheng Liu. (2018).** Determination of garlic phenolic compounds using supercritical fluid extraction coupled to supercritical fluid chromatography /tandem mass spectrometry. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.513-523. Doi: 10.1016/j.jpba.2018.07.020
61. **Locatelli, D.A., M.A. Nazareno, C. Fusari, et A.B. Camargo. (2017).** Cooked garlic and antioxidant activity: Correlation with organosulfur compound composition. Doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.001
62. **Majewski, M. (2014).** *Allium sativum*: facts and myths regarding human health. 65(1), 1–8. Doi :10.2478/rpzh-2014-0001

Références bibliographiques

63. **Majumder, Kaustav, et Yoshinori Mine. (2016).** The Potential of Food-Protein Derived Anti-Inflammatory Peptides Against Various Chronic Inflammatory Diseases. Journal of the Science of Food and Agriculture. Doi: 10.1002/jsfa.7600.
64. **Mansingh, Debjanu P., Nibedita Dalpayi, Veeresh Kumar Sali, et A. Hannah Rachel Vasanthi. (2018).** Alliin the precursor of allicin in garlic extract mitigates proliferation of gastroc adenoacarcinoma cells by modulating apoptosis. Doi: 10.4103/pm.pm_342_17.
65. **Marcu, I., Călinoiu, M. G., Socaciu, C., & Silaghi-Dumitrescu, R. (2018).** Influence of development stage on the biochemical composition and antioxidant capacity of Allium species. Journal of Food Science and Technology, 55(4), 1440–1449.
66. **Martins, N., S. Petropoulos, et I.C. Ferreira. (2016).** Chemical composition and bioactive compounds of garlic (*Allium sativum L.*) as affected by pre-and post-harvest conditions: a review. Doi : 0.1016/j.foodchem.2016.05.029.
67. **Medjeldi. S, Limam. F., Smaali.I. (2006).** A new thermostable peroxidase from garlic *Allium sativum*: purification, biochemical properties, immobilization, and use in H₂O₂ detection in milk. Applied Biochemistry and Biotechnology, 127(3), 201–214. Doi: 10.1385/ABAB:127 :3:201.
68. **Metwally, D.M., E.M. Al-Olayan, M. Alanazi, S.B. Alzahrany, et A. Semlali. (2018).** Antischistosomal and anti-inflammatory activity of garlic and allicin compared with that of praziquantel in vivo. Doi : 10.1186/s12906-018-2191-z.
69. **Morihara, N., A. Hino, S. Miki, M. Takashima, et J. Suzuki. (2017).** Aged garlic extract suppresses inflammation in apolipoprotein E-knockout mice. Doi: 10.1002/mnfr.201700308.
70. **Nagella, P., M. Thiruvengadam, A. Ahmad, Yoon JaeYeon, et Chung IllMin. (2014).** Composition of polyphenols and antioxidant activity of garlic bulbs collected from different locations of korea. Doi: 10.14233/ajchem.2014.16143A
71. **Naganawa, R., N. Iwata, K. Ishikawa, H. Fukuda, T. Fujino, et A. Suzuki. (1996).** Inhibition of microbial growth by ajoene, a sulfur - containing compounds derived from garlic. Doi: 10.1128/aem.62.11.4238-4242.1996.
72. **Nezla, S. (2022).** Optimisation de l'extraction et étude des activités antibactérienne et anti-hémolytique des protéines en l'ail (*Allium sativum*) (Mémoire de Master, Université de Bouira).

Références bibliographiques

73. **Nwinuka, N. M., Ibeh, G. O., & Ekeke G. I. (2005).** Proximate composition and levels of some toxicants in four commonly consumed spices. ISSN: 2659-1502
74. **Okwu, D. E., & Nnamdi F. U. (2008).** Evaluation of the chemical composition of *Dacryodes edulis* and *Raphia hookeri* Mann and Wendl exudates used in herbal medicine in South Eastern Nigeria. Doi : 10.4314/ajtcam. v5i2.31273.
75. **Olga K Anisimova, Elena Z kochieva, Anna V, Mikhail A Filyushin.(2022).** Thaumatin-like protein (TLP) genes in garlic (*Allium sativum* L.): Genome – wild identification, characterization, and expression in response to *Fusarium proliferatum* infection. Doi: 10.3390/plants11060748.
76. **Otunola, G. A., Oloyede, O. B., Adenike, T., Oladiji, T., & Afolayan, A. J. (2010).** Comparative analysis of the chemical composition of three spices *Allium sativum*, *Zingiber officinale* Rosc. and *Capsicum frutescens* L. commonly consumed in Nigeria. AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY 9(41).
77. **Park, S.Y., R. Seetharaman, M.J. Ko, D.Y. Kim, T.H. Kim, M.K. Yoon, J.H. Kwak, S.J. Lee, Y.S. Bae, et Y.W. Choi. (2014).** Ethyl linoleate from garlic attenuates lipopolysaccharide-induced pro-inflammatory cytokine production by inducing heme oxygenase-1 in RAW 264.7 cells. Doi: 10.1016/j.intimp.2014.01.017.
78. **SD Padiyapa, H. Avalappa, M. Somegowda, S. Sridhara, YP Venkatesh, BT Prabhakar, SN Pramod, MS Almujaaydil, S. Shokralla, AMM Abdelbacki , HO Elansary, AM El-Sabrou, EA Mahmoud. (2022).** Réponses immunitaires immunoadjuvantes et humores des lectines d'ail (*Allium sativum* L.) après administration systémique et muqueuse chez la souris BALB/c Molécules. Doi : 10.3390/molecules27041375
79. **Rabe, S.Z.T., T. Ghazanfari, Z. Siadat, M. Rastin, S.Z.T. Rabe, et M. Mahmoudi (2015).** Anti-inflammatory effect of garlic 14-kDa protein on LPS-stimulated-J774A.1 macrophages. Doi : 10.3109/08923973.2015.1005229.
80. **Rabinkov, A, X Z Zhu, G Grafi, G Galili, D Mirelman . (1995).** Alliinase (alliin lyase) from garlic (*Allium sativum*). Doi: 10.1007/BF02788739.
81. **Rahman, K. (2007).** Effects of garlic on platelet biochemistry and physiology. Doi: 10.1002/mnfr.200700058.
82. **Ríos, J. L., et M. C. Recio. (2005).** Medicinal plants and antimicrobial activity. Doi: 10.1016/j.jep.2005.04.025.

Références bibliographiques

83. **Rodrigues, A.S., D.P. Almeida, J. Simal-Gándara, et M.R. Pérez-Gregorio. (2017).** Onions: a source of flavonoids. *Flavonoids: From Biosynthesis Hum Health*. Doi: 10.5772/intechopen.69896.
84. **Rodríguez Galdón, B., E. M. Rodríguez Rodríguez, et C. Díaz Romero. (2008).** Flavonoids in onion cultivars (*Allium cepa* L). Doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00903.x.
85. **Rupesh Kumar Mohapatra, Satyabrata Nanda. (2018).** *In silico* analysis of onion chitinases using transcriptome data. Doi: 10.6026/97320630014440
86. **Sabahi, S., P. Zucca, I.E. Orhan, E. Azzini, Co. Adetunji, et S.A. MohammEd. (2019).** Allicin and health: a comprehensive review of trends food Sci Technol. Doi: 10.1016/j.tifs.2019.03.003.
87. **Saeidi M., Zareie R. (2020)** Prediction, isolation, overexpression and antifungal activity analysis of *Medicago truncatula* var. *truncatula* putative thaumatin like proteins (TLP-1, -2, -3, -4 and -5) Turk. J. Biol. 2020;44:176–187. Doi: 10.3906/biy-1912-18.
88. **Sami, Rokayya, Abeer Elhakem, Mona Alharbi, Nada Benajiba, Manal Almatrafi, et Mahmoud Helal. (2021).** Nutritional Values of Onion Bulbs with Some Essential Structural Parameters for Packaging Process. Doi : 10.3390/app11052317.
89. **Santé Magazine. (2022).** Calories, vitamines et minéraux de l’ail. Santé Magazine.
90. **Shamsi, Tooba Naz, et Romana Parveen. Mohamed.Amir. (2016).** *Allium Sativum* Protease Inhibitor: A novel Kunitz Trypsin Inhibitor from Garlic is a New Comrade of the Seprin Family. Doi: 10.1371/journal.pone.0165572.
91. **Shi, G.Q., Y. Jing, L. Jiang, S-N. L., H-X. S., W-E. Z., et Y-Q. L. (2016).** Isolation of flavonoids from onion skins and their effects on K562 cell viability. Doi : 10.3329/bjp.v11iS1.26419.
92. **Shuford, J.A., J.M. Steckelberg, et R. Patel. (2005).** Effects of fresh garlic extract on *Candida albicans* biofilms Antimicrob Agents Chemother. Doi: 10.1128/AAC.49.1.473.2005.
93. **Siencika. B, Jakub. M, Grzegorz. C. (2023).** Comparison of the chemical composition of gralic depending on the origin. Doi: 10.2139/ssrn.4559599
94. **Siyo.V, G. Schäfer, R. Hunter, A. Grafov, I. Grafova, M. Nieger. (2017).** The cytotoxicity of the ajoene analogue BisPMB in WHCO1 esophageal cancer cells is mediated by CHOP/GADD153. Doi: 10.3390/molecules22060892.

Références bibliographiques

95. **Slimestad, R., T. Fossen, et I.M. Vågen. (2007).** Onions: source of unique dietary flavonoids. Doi: 10.1021/jf0712503.
96. **Su Yachun, Lipin Xu, Shanshan Wang, Zhuqing Wang, Yuting Yang, Yun Chen, Youxiong Que. (2015).** Identification, phylogeny and transcript of Chitinase family genes in Sugarcane. Doi: 10.1038/srep10708
97. **Suleria, H.A., M.S. Butt, N. Khalid, S. Sultan, A. Raza, M. Aleem et al. (2015).** Ail (*Allium sativum*) : thérapie diététique du 21^e siècle une revue. Doi :10.1016/S2222-1808(14)60782-9.
98. **SVT Lycee Elorn. n.d.** Biodiversité agricole : les bulbes. Consulté le 22 mai 2025. <https://www.svt-lycee-elorn.ovh/biodiversite agricole bulbe.php>.
99. **Szychowski. K, Kamila. R, Katarzyna. G, Jan. G, Urszula. E. (2018).** Characterization of active compounds of different garlic (*Allium sativum* L.) Cultivars. Doi : 10.1515/pjfn-2017-0005.
100. **Taha, N. M., M. A. Abdulla, S. N. Mohd Zahari, F. Abdul Razak, H. H. Hassan, et M. A. Khan. (2014).** Gastroprotective activities of onion (*Allium cepa*) aqueous extract on ethanol-induced gastric ulcer in rats. Doi: 10.1016/j.jep.2013.10.065.
101. **Thomaz, L., R. Apitz - Castro, A.F. Marques, L.R. Travassos, et C.P. Taborda. (2008).** Experimental paracoccidioidomycosis: alternative therapy with ajoene, compound from *Allium sativum*, associated with sulfamethoxazole/trimethoprim. Doi : 10.1080/13693780701651681.
102. **Timothée. K, Rabiou. A, Idi. S, Abdoul. K, Yacoubou. B. (2021).** Garlic (*Allium sativum* L.): Overview on its Biology and Genetic Markers Available for the Analysis of Its Diversity in West Africa. Doi:10.9734/ajbgmb/2021/v7i330173.
103. **Tirza Hanum, Nirmal K. Sinha, Jerry N. Cash. (1995).** Characteristics of – Glutamyl Transpeptidase and Alliinase of onion and their effects on the enhancement of Pyruvate formation in onion Macerates. Doi: 10.1111/j.1745-4514.1995.tb00520.x
104. **Torres. P, Carolina, Daniela. R, Daniela. L, Walter. M, Claudia. C, Alejandra. C. (2018).** Bioaccessibility and permeability of bioactive compounds in raw and cooked garlic. Doi : 10.1016/j.jfca.2018.03.008
105. **Université Pierre et Marie Curie. n.d.** Oignon. Consulté le 22 mai 2025. <https://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Marche/oignon.htm>
106. **Van Damme E.J.M., Smeets K., Torrekens S., Van Leuven F., Goldstein I.J. & Peumans W.J. (1992).** The closely related homomeric and heterodimeric mannose-

Références bibliographiques

- binding lectins from garlic are encoded by one-domain and two-domain lectin genes, respectively. Doi : 10.1111/j.1432-1033.1992.tb16941. x.
107. **Vander Wel H., Loeve K. (1972).** Isolement et caractérisation des thaumatines I et II, protéines au goût sucré de *Thaumatococcus danielli*. Doi: 10.1111/j.1432-1033.1972.tb02522. x.
108. **Wafler. U, Shaw, Martin. L, Lancaster. E. (1994).** Effect of freezing upon alliinase activity in onion extracts and pure enzyme preparations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 64(3), 315–318. ISSN 0022-5142.
109. **Wang, Le, Chao Zhang, et Yin Wei. n.d.** Single-molecule real time sequencing of the full-length transcriptome of purple garlic (*Allium sativum* L. cv. Leduzipi) and identification of serine O-acetyltransferase family proteins. Doi: 10.1002/jsfa.11627.
110. **Wang, Y., M. Guan, X. Zhao, et X. Li. (2018).** Effects of garlic polysaccharide on alcoholic liver fibrosis and intestinal microflora in mice. Doi: 10.1080/13880209.2018.1479868.
111. **Wiczowski, W., J. Romaszko, A. Bucinski, D. Szawara-Nowak, J. Honke, H. Zielinski, et M.K. Piskula. (2008).** Quercetin from shallots (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) is more bioavailable than its glucosides. Doi: 10.1093/jn/138.5.885.
112. **Yang. J, Katherine. J, Jan.V, Rui. H. (2004).** Varietal differences in phenolic content and antioxidant and antiproliferative activities of onions. Dio : 10.1021/jf0307144.
113. **Yoshida, S., S. Kasuga, N. Hayashi, T. Ushiroguchi, H. Matsuura, et S. Nakagawa. (1987).** Antifungal activity of ajoene derived from garlic. Doi: 10.1128/aem.53.3.615-617.1987.
114. **Zhai. H, Jiancho. P, Pang. E, Bo. B. (2014).** Lavage with allicin in combination with vancomycin inhibits biofilm formation by *Staphylococcus epidermidis* in a rabbit model of prosthetic joint infection. Doi : 10.1371/journal.pone.0102760.

Annexe

■ Annexe 01 : Solution 0,05mM Tris HCL pH7, 4

	100ml
0,1M Tris HCL	50ml
Eau distillée	50ml

■ Annexe 02 : Solution 0,5M Tris HCL pH6, 4

	8ml
Tris	0,4g
Eau distillée	Qsp 8ml

Le pH de solution ajusté à 6,4 par addition progressive d'HCL.

■ Annexe 03 : Solution 0,1M Tris HCL pH7,4

	1000ml
Tris	12,12g
Eau distillée	1000ml

■

Annexe 04 : solution 1,5M Tris HCL pH8,8

	100ml
Tris	18,15g
Eau distillée	80ml

Ajuster le pH à 8,8 avec du HCL.

Compléter le volume avec l'eau distillée.

Filtrer la solution à travers du papier whatman N1.

Stocker la solution à 4 C °.

- Solutions d'Éthanol :

■ Annexe 05 : Solution d'Ethanol 95%

	100 ml
Éthanol	95ml
Eau distillée	5ml

■ Annexe 06 : Solution d’Ethanol 70%

	50ml
Éthanol	35ml
Eau distillée	15ml

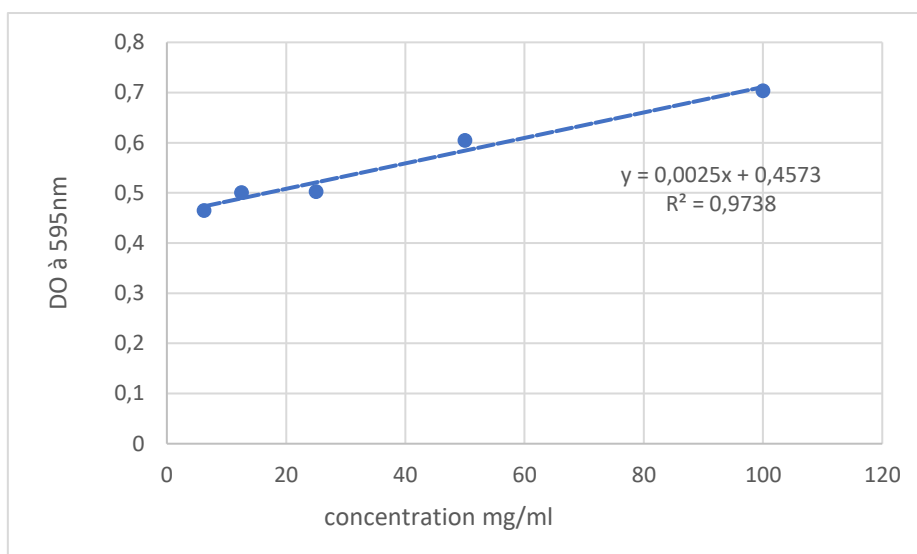
■ Annexe 07 : La solution d’acide phosphorique à 85%

	50ml
Acide phosphorique	48,3ml
Eau distillée	1,7ml

■ Annexe 08 : courbe d’étalonnage à base de BSA

Préparation des solutions étalon

	H2O (ul)	BSA (ul)	Bradford (ml)
0	2000	0	1
4	1920	80	1
6	1880	120	1
12	1760	240	1
25	1500	500	1
50	1000	1000	1
75	500	1500	1
100	0	2000	1



Courbe d'étalonnage à base de BSA

■ Annexe 09 : Solution 10%APS

	10ml
APS (ammonium persulfate)	1g
Eau distillée	10ml

■ Annexe 10 : 10%SDS

	50 ml
SDS (sodium dodécyl sulfate)	5g
Eau distillée	50ml

■ Annexe 11 : Tampon Laemmli 2x

0,5M Tris pH6,8	1,25ml
100%Glycérol	2,5ml
10%SDS	2ml
0,5%Bleu de brommophénol	0,2
Eau distillée	Qsp 9,5ml

Conserver la solution à 4 C°

Lors d'utilisation, ajouter 500µL (5%) de 2-mercaptoéthanol

Une solution de bleu de bromophénol a été préparée en dissolvant 0,05 g de bleu de bromophénol dans de l'eau distillée, jusqu'à un volume final de 100 mL.

■ Annexe 12 : Solution de coloration

	1L
Bleu de coomassie R250	250mg
Méthanol	400ml
Acide acétique	70ml
H2O distillée	Qsp 1L

Homogénéiser bien jusqu'à la dissolution de bleu de coomassie.

Filtrer avec papier whatman N01

Ajouter l'acide acétique

■ Annexe 13 : Préparation de la solution pour l'électrophorèse SDS-PAGE

	Gel de séparation 12%	Gel de concentration 2.88 %
Acry 40%	12,4ml	1ml
Bis acry 20%	2,4ml	0,3ml
1,5M Tris HCL pH 8,8	15,2ml	
0,5M Tris HCL pH 6, 8		1,7ml
10%SDS	400µL	14µL
10%APS	10ml	0,70ml
TEMED	20µL	14µL
H2O distillée	8,6ml	3,6ml

Juste avant de couler le gel, ajouter le TEMED puis APS 10%, mélanger doucement. (APS initiateur de la polymérisation du gel, TEMED Accélérateur de la polymérisation)

- Couler le gel de séparation sans emprisonner de bulles d'air jusqu'à 1.5cm du bord supérieur
- Couvrir le gel de séparation avec Butanol saturé en eau.
- Laisser polymériser pendant 30-35min

Année universitaire : 2024/2025	Présenté par : BENELHAOUES Djihane KHELFA Rahma
Analyse comparative des profils protéiques de variétés d'<i>Allium sativum</i> et d'<i>Allium cepa</i> soumises à différents traitements : approche par SDS -PAGE et spectrophotométrie	
Mémoire de fin cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie et Génomique Végétales	
<p>Cette étude compare les caractéristiques protéiques d'<i>Allium sativum</i> (ail) et d'<i>Allium cepa</i> (oignon) soumis à trois traitements technologiques : état frais, chauffage et congélation. L'objectif est d'évaluer l'impact de ces conditions sur les profils protéiques des deux espèces à l'aide de l'électrophorèse SDS-PAGE et de la méthode de Bradford pour la quantification. Les extraits ont été obtenus à pH 6,22, 24,52 °C, avec une macération de 1h42. Les résultats SDS-PAGE montrent une variabilité marquée selon les espèces et les traitements. L'ail frais présente un profil riche avec six bandes de 10 à 225 kDa, tandis que l'oignon en montre quatre, moins intenses. La congélation améliore l'extraction des protéines chez les deux espèces, particulièrement chez l'ail. Le chauffage dégrade partiellement les protéines de l'ail, mais améliore la stabilité apparente chez l'oignon. Les dosages spectrophotométriques confirment ces observations : la concentration la plus élevée est obtenue chez l'ail frais (3,94 mg/ml), la plus faible chez l'oignon congelé (0,58 mg/ml). L'oignon reste globalement moins riche en protéines. Ces résultats permettent de mieux comprendre les effets des traitements technologiques sur la stabilité et la solubilité des protéines végétales.</p>	
Mots-clefs : <i>Allium sativum</i> , <i>Allium cepa</i> , SDS-PAGE, Spectrophotométrie, Méthode de Bradford...etc	
Laboratoire de recherche : Biochimie, Génétique et Biotechnologie Végétales (BGBV) (U Constantine 1 Frères Mentouri).	
Président du jury : KACHIDE M. (MCA - UFM Constantine 1)	
Encadrant : LOUALI Y. (MCB - UFM Constantine 1)	
Examineur : BOUCHEMAL K. (MCB - UFM Constantine 1)	