

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abbes Laghrou -Khenchela

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des sciences agronomiques

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie Végétale

Thème

# Etude Comparative du Contenu Phytochimique des Légumineuses et des Céréales Produit en Conditions Semi-Aride

Présenté par :

GUENOUN Fouad

Devant le jury :

Président : Dr. ADDAD Dalila

Encadrant : Pr. HAMLII Sofia

Examineur : Dr. DIB Dounia

MCA. Université de Khenchela

Pr. Université de Khenchela

MCA. Université de Khenchela

Année universitaire : 2024-2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **Remerciements :**

**Avant tout, nous rendons grâce à ALLAH pour tous les bienfaits qui ont permis de réaliser ce travail modeste avec succès.**

**Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon Encadreur, Pr. HAMLISOFIA, pour son dévouement lors de la réalisation de ce mémoire. Ses conseils scientifiques, sa patience et sa persévérance tout au long du processus ont été d'une grande aide.**

**Je voudrais exprimer ma plus profonde gratitude à l'égard des membres du jury : Dr. ADDAD Dalila et Dr.DIB Dounia, pour l'honneur qu'ils nous accordent en acceptant d'évaluer notre travail. Nous n'oublions pas non plus toute la famille du département des Sciences de la Nature et de la Vie.**

**À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail.**

# **Dédicace**

**C'est avec une immense joie et une profonde gratitude que je dédie ce travail.**

**À mon père, toujours présent pour me soutenir moralement et psychologiquement, et à ma mère, dont les prières, l'amour et les sacrifices silencieux m'ont portée jusqu'ici.**

**À mon frère Housseem, à mes trois sœurs bien-aimées, ainsi qu'à la petite Jourid, source de tendresse et de rires.**

**À mes amis Ramzi, Zinou, Amine, Aaza et Foufou, pour leur amitié sincère et leur soutien tout au long de ce parcours.**

**À mes oncles et tantes maternels, pour leur affection, leurs encouragements et leur présence bienveillante à chaque étape.**

**Et avec une pensée émue à la mémoire de mon grand-père que Dieu lui accorde Sa miséricorde et une paix éternelle. Son souvenir reste gravé dans mon cœur.**

**À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail, recevez ici l'expression de ma reconnaissance.**

# Table des matières

---

## Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Céréales.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Importances des céréales.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Superficie et production.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.1. Blé dur.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.2. Orge.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Légumineuses et leurs importances.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Lentilles.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Pois chiche.....</b>	<b>16</b>
<b>Matériel et.....</b>	<b>18</b>
<b>Méthodes.....</b>	<b>18</b>
<b>1. Préparation du matériel végétale.....</b>	<b>19</b>
<b>2. Préparation des extraits par macération.....</b>	<b>19</b>
<b>3. Détermination de rendement d'extraction.....</b>	<b>20</b>
<b>4. Screening phytochimique.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1. Mise en évidence des alcaloïdes.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2. Mise en évidence des flavonoïdes.....</b>	<b>20</b>
<b>4.3. Mise en évidence des tanins.....</b>	<b>20</b>
<b>4.4. Mise en évidence des terpénoïdes.....</b>	<b>20</b>
<b>4.5. Mise en évidence des saponines.....</b>	<b>21</b>
<b>4.6. Mise en évidence des coumarines.....</b>	<b>21</b>
<b>5. Dosage et quantification des métabolites secondaires.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1. Teneur en polyphénols.....</b>	<b>21</b>
<b>5.2. Teneur en flavonoïdes.....</b>	<b>22</b>
<b>5.3. Teneur en tanins.....</b>	<b>22</b>
<b>6. Analyse statistique des données.....</b>	<b>22</b>
<b>Résultats et.....</b>	<b>23</b>
<b>Discussion.....</b>	<b>23</b>
<b>1. Etude phytochimique.....</b>	<b>24</b>
<b>1.1. Screening phytochimique.....</b>	<b>24</b>
<b>2. Etude quantitative des composés phénoliques.....</b>	<b>30</b>
<b>2.1. Etude des moyennes des variables mesurées.....</b>	<b>30</b>

## Table des matières

---

<b>2.1.1. Effet moyen de l'espèce.....</b>	<b>31</b>
<b>2.1.2. Effet moyen du site.....</b>	<b>32</b>
<b>2.1.3. Effet de l'interaction espèce x site sur les paramètres mesures.....</b>	<b>35</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>37</b>
<b>Générale .....</b>	<b>37</b>
<b>Références Bibliographiques.....</b>	<b>40</b>
<b>RESUME .....</b>	<b>48</b>
<b>Mots-clés .....</b>	<b>48</b>

## Liste des figures

---

<b>Figure 1:</b> les espèces utilisées après broyées (Guenoun,2025) .....	19
<b>Figure 2:</b> préparation des extraits (Guenoun,2025) .....	19
<b>Figure 3:</b> vortex (Guenoun,2025).....	21
<b>Figure 4:</b> résultats des alcaloïdes ;1=orge, 2=lentille, 3=pois chiche, 4=blé dur. (Soukahras) 5=orge, 6=lentille, 7=pois chiche, 8=blé dur (khenchela) (Guenoun,2025).....	26
<b>Figure 5:</b> résultats des flavonoïdes (NAOH) ; 1=lentille, 2=orge, 3=pois chiche, 4=blé dur. (Soukahras) 5=lentille, 6=pois chiche,7= blé dur,8= orge . (khenchela) (Guenoun,2025) .....	27
<b>Figure 6:</b> résultats des flavonoïdes (AlCl <sub>3</sub> ) ; 1=lentille, 2=pois chiche, 3=orge, 4=blé dur. (souk ahras). 5=blé dur, 6=orge, 7=pois chich, 8=lentille. (khenchela) (Guenoun,2025).....	28
<b>Figure 7:</b> résultats des terpénoïdes ; 1= blé dur, 2=lentille, 3=pois chiche, 4=orge. (Soukahras). 5=orge, 6=pois chiche, 7=blé dur, 8=lentille. (khenchela) (Guenoun,2025) .....	28
<b>Figure 8:</b> résultats des saponines ; 1=pois chiche, 2=blé dur, 3=orge, 4=lentille . (Souk ahras). 5=blé dur, 6=pois chiche, 7=lentille, 8=orge, (khenchela) (Guenoun,2025) .....	29
<b>Figure 9:</b> résultats des coumarines ; 1=lentille, 2=blé dur, 3=pois chiche, 4=orge. (Soukahras). 5=blé dur, 6=pois chiche, 7=lentille, 8=orge. (khenchela) (Guenoun,2025) .....	29
<b>Figure 10:</b> résultats des tanins ; 1=orge,2=blé dur, 3=pois chiche, 4=lentille. (khenchela). 5=pois chiche, 6=orge, 7=lentille, 8=blé dur. (Soukahras) (Guenoun, 2025) .....	30
<b>Figure 11:</b> contenu phytochimique de polyphénols en EAG mg/mg E ( <b>ppds=39.55</b> ), flavonoïdes en EAQ mg/mg E ( <b>ppds= 0.41</b> ) et tanins en EAC mg/mg E ( <b>ppds= 6.11</b> )des espèces étudiées ; céréales et légumineuses.....	34

## Liste des tableaux

---

Tableau 1:Rendement des extraits .....	24
Tableau 2:Résultats des tests phytochimiques sur l'extrait méthanoliques.....	25
Tableau 3:carrés moyens des écarts des caractères mesurés des extraits des espèces descéréales et des légumineuses .....	31
Tableau 4: Effet moyen de l'espèce et groupes homogènes des paramètres mesurés des extraits .....	31
Tableau 5:Effet moyen du site et groupes homogènes des paramètres mesurés des extraits des espèces étudiées .....	33
Tableau 6:Effets de l'interaction espèce x site sur les paramètres masures des extraits des plantes .....	35

## *Liste des abréviations*

*EOA : espèces oxygénées activée*

*MCV : Maladies cardiovasculaires*

*FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture*

*ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures*

*ONFAA : Observation National des Filières Agricoles et Agroalimentaires*

*ONS : office National des statistiques*

*ANOVA : Analyse de variance*

*UV : Ultraviolet*

*HCL : Acide chlorhydrique*

*NaOH:Hydroxyde e sodium*

*AlCl3:Chlorure d'aluminium*

*FeCl3: Chlorure de fer*

*Na2CO3:Carbonate de sodium*

*EAQ : équivalent en acide gallique*

*EAQ : équivalent en quercétine*

*EAC : équivalent en catéchine*

*CCNUCC : convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*

*INRAA : Institut national de la recherche agronomique d'Algérie*

*GAE : équivalent acide gallique*

*QE : équivalent quercétine*

*CE : équivalent catéchine*

# **Introduction**

## **Générale**

### Introduction

La croissance de la population mondiale, l'évolution des régimes alimentaires dans les zones à développement économique rapide et l'épuisement progressif des ressources énergétiques fossiles engendrent des tensions inédites sur les marchés agricoles. **(Wang et Luthe, 2003 ; Prakash et al., 2023 ; Siddiq et al., 2022).**

La consommation mondiale de produits végétaux est en hausse du fait de l'augmentation de la conscience des consommateurs. Effectivement, les aliments issus des plantes comme les céréales et les légumineuses ont des effets bénéfiques sur la santé et contribuent positivement à l'environnement. Des milliards de personnes considèrent le riz, le blé et le maïs comme leur alimentation principale, car ils fournissent une quantité significative de protéines, d'énergie et de fibres. Les légumineuses, y compris le soja, les pois chiches, les lentilles et les haricots, constituent également des sources importantes de protéines végétales et sont consommées par une grande part de la population mondiale, **(Prakash et al., 2023 ; Siddiq et al., 2022).**

Les antioxydants jouent un rôle crucial dans la protection des cellules contre le stress oxydatif. Notre corps produit naturellement ces composés, mais lorsque le taux de radicaux libres devient trop élevé, il est essentiel d'enrichir notre alimentation avec des sources externes d'antioxydants. Les plantes, particulièrement les légumineuses et céréales, représentent une source majeure de ces composés bénéfiques pour la santé, notamment les polyphénols, les vitamines et les oligo-éléments. Cette importance croissante des antioxydants explique l'intérêt actuel pour la recherche sur les propriétés antioxydantes des plantes, comme le souligne **Guillouty (2016)** dans ses travaux.

Les légumineuses et les céréales sont indispensables à la sécurité alimentaire globale et sont vitales pour satisfaire les exigences nutritives de milliards d'individus à travers le globe. En Algérie, les céréales et les légumineuses forment le socle de l'alimentation et détiennent une position centrale dans les pratiques alimentaires des Algériens, que ce soit en milieu urbain ou rural **(Laalem & Bennoune, 2023).**

Effectivement, leur consommation est liée à de multiples bénéfices pour la santé. **(Selon Murphy et al., 2018 ; Ferreira et al., 2021)**, il a été prouvé que les céréales du régime méditerranéen, notamment les grains entiers, aident à maintenir un poids sain, à diminuer le taux de cholestérol dans le sang, à baisser la pression artérielle, l'inflammation et

## Introduction Générale

---

le danger de maladies cardiovasculaires (MCV). Pour ce qui est des légumineuses, elles offrent une protection contre les maladies grâce à leur faible niveau de graisses saturées, leur riche concentration en nutriments indispensables et en composés phytochimiques. Néanmoins, en dépit de ces bienfaits, la consommation de céréales et de légumineuses demeure faible dans plusieurs pays développés. L'association de céréales et de légumineuses offre des acides aminés complémentaires, faisant d'elle une ressource précieuse en protéines (**Bharathi & Rajamanickam, 2015**)

L'étude de la capacité des plantes à résister au stress environnemental est un objet de recherche extrêmement large. Plusieurs études ont prouvé que, face à un stress abiotique, les plantes mettent en place des stratégies d'adaptation qui englobent divers caractéristiques morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires (**Mathieu et al., 2024**). Les conditions abiotiques du milieu défavorables peuvent jouer un rôle positif révélé par les changements biochimiques de la plante en synthétisant des métabolites secondaires.

Dans le monde végétal, les métabolites secondaires particulièrement répandus sont les composés phénoliques. Il s'agit d'un groupe de plus de 8000 molécules affichant une diversité chimique remarquable (**Edeas, 2007**). Les composés phénoliques offrent de nombreux bénéfices pour la santé, y compris des capacités anti-inflammatoires, antioxydantes, anticancéreuses, anti-arthérogéniques, ainsi qu'immunomodulatrices, antimicrobiennes, cardioprotectrices et analgésiques (**Lin et al., 2016**).

Dans ce contexte notre travail est focalisé sur l'étude de l'intérêt des céréales et des légumineuses de point de vue phytochimique et d'analyser leur contenu en métabolites secondaires en étudiant pour la première fois l'effet de l'environnement sur l'accumulation de ces biomolécules chez ces plantes dans deux sites ont des climats différents

Le mémoire est structuré en deux parties :

\*Partie théorique : contient des informations sur les plantes étudiées et leurs métabolites secondaires.

\*Partie pratique : passant par le matériel et les méthodes de travail utilisés et comporte l'ensemble des résultats qui seront suivis avec une discussion. Enfin, le mémoire est clôturé par une conclusion générale résumant le travail.

### 1. Céréales

Les céréales constituent le fondement de la première civilisation humaine et restent le principal élément du régime quotidien de la plupart des habitants de notre planète. En Algérie, le secteur des céréales comprend des opérations de production ainsi que de transformation en semoulerie et en boulangerie au sein de l'industrie agro-alimentaire. Ces dernières jouent aussi un rôle crucial dans la nutrition et les pratiques alimentaires des populations, tant en milieu rural qu'urbain. (**Chabane and Boussard, 2012**)

#### 1.1. Importances des céréales

Les céréales jouent un rôle crucial dans la nutrition humaine et sont intégrées dans la fabrication de divers produits alimentaires, offrant de l'énergie par leur forte concentration en protéines et en glucides (**Manach et al., 2004 ; Ward et al., 2008 ; Okarter et al., 2010 ; Romano et al., 2010 ; Sarwar et al., 2013**). De plus, elles se distinguent par une forte concentration en éléments bioactifs solubles et insolubles comme les fibres, les vitamines, les minéraux, les acides gras insaturés, les tocophérols, les lignanes, les flavonoïdes et les acides phénoliques. Face à des conditions oxydatives induites par des facteurs de stress tels que la chaleur, la sécheresse, les rayons UV, les produits chimiques ou les attaques de pathogènes, les plantes génèrent des métabolites secondaires en guise de mécanisme d'autoprotection afin d'intercepter les réactions oxydatives produisant des radicaux libres et de les transformer en molécules inoffensives.

Effectivement, les radicaux libres et les espèces réactives de l'oxygène sont en permanence produits dans le corps grâce aux processus métaboliques habituels. Un système équilibré de défenses antioxydantes et enzymatiques neutralise leurs effets. Un déséquilibre entre ces deux mécanismes engendre un stress oxydatif, susceptible de causer des dommages aux cellules et leur mortalité. Selon (**Naczk et Shahidi, 2006**), on utilise les composés phénoliques dans la thérapie des affections cardiovasculaires. On a recommandé la consommation de céréales riches en antioxydants, issus principalement des phénols. Selon (**Anson et al., 2008**), le blé contient des composés antioxydants majeurs qui appartiennent à la famille des acides phénoliques, majoritairement présents dans le son, ce qui soutient l'idée d'utiliser le grain de blé entier plutôt que sa version raffinée. Habituellement, le grain de blé est broyé pour produire de la farine blanche raffinée en retirant l'enveloppe. D'après (**Dvorakova et al., 2010**), l'orge constitue une source remarquable d'acides

phénoliques, de flavonoïdes, de tanins, de proanthocyanidines et de composés aminés phénoliques. Selon (Adom et al., 2005), le contenu en antioxydants varie en fonction de l'espèce de céréale, des différentes variétés, des conditions environnementales et du procédé de traitement.

Les céréales sont des plantes généralement cultivées pour leur grain, dont l'album en amylicé, une fois transformé en farine, peut être consommé par les êtres humains ou les animaux domestiques. La majorité des céréales sont membres de la famille des Graminées, également connue sous le nom de Poacées. On compte parmi les céréales le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet et le sorgho. Certaines sont classées dans la sous-famille des Festucoïdées, comme le blé, l'orge, l'avoine et le seigle. Comme le maïs, le riz, le sorgho et le millet, les autres espèces sont classées dans la sous-famille des Panicoïdées (Moule, 1971).

### 1.2. Superficie et production

D'après l'observatoire National des Filières Agricoles et Agroalimentaires (ONFAA, 2017), la production de céréales à l'échelle mondiale s'élevait à 2111 millions de tonnes en 2017. Les réserves mondiales ont grimpé à 516 millions de tonnes, soit une augmentation de 8 % comparativement à la période équivalente de l'année précédente. La FAO a revu ses prévisions sur la production mondiale de céréales à la hausse, qui pourrait s'élever à 2611 millions de tonnes, établissant ainsi un nouveau record. Selon le dernier rapport de la FAO sur l'approvisionnement et la demande en céréales (FAO, 2018), les réserves mondiales de céréales devraient également atteindre un niveau record à la fin des saisons en 2018.

En Algérie, les terres céréalières s'étendent sur plus de 3 millions d'hectares, cultivées par près de 600 000 agriculteurs. Le département de Constantine abrite 1 400 000 hectares, tandis qu'Alger en compte 900 000 et Oran environ 700 000 (Cahier du Centenaire de l'Algérie (CCA, 2013). Cela représente approximativement 35% des surfaces arables, produisant une récolte moyenne de 32 millions de quintaux entre les années 2008 à 2012 (Rastoin & Benabderrazik, 2014). On y cultive quatre types principaux de céréales : le blé dur, le blé tendre, l'orge et l'avoine (Djermoun, 2009). Cependant, leur production subit une grande irrégularité en raison des variations climatiques (Rastoin et Benabderrazik, 2014). Selon Rahal-Bouziane et Abdelguerfi (2007), 80% de la superficie cultivée en céréales est dédiée à l'orge et au blé dur chaque année.

Durant les quatre dernières décennies, l'usage global des céréales a connu une multiplication par deux en termes de quantité, s'élevant de 500 millions de tonnes en 1970 à un milliard de tonnes en 2010 (**Pingali, 2015**). Selon l'Organisation Nationale des Aliments et de l'Agriculture (ONFAA, 2017), le Commerce International des Céréales (CIC) a noté une diminution de la consommation de céréales d'environ 5% comparativement à la même période en 2016, soit un total d'environ 2075 millions de tonnes.

Selon une étude de (**Lemeilleur et al., 2009**), en Algérie, les céréales représentent 60% de la ration alimentaire moyenne des habitants. En 2009, leur consommation a été estimée à 230 kg/an d'équivalent-grains par personne, avec une prédominance du blé dur qui forme l'essentiel de l'alimentation algérienne (principalement sous forme de semoule et de pâtes). Cependant, une augmentation rapide de la consommation de blé tendre (pain, biscuits, pâtisseries) a été observée avec l'adoption d'un modèle de consommation occidentalisé (**Rastoin & Benabderrazik, 2014**). Au début du XIXe siècle, l'orge occupait une position primordiale parmi les cultures en raison de sa destination principale pour l'auto-consommation humaine (**Rahal-Bouziane & Abdelguerfi, 2007**). Néanmoins, cette céréale est également destinée à l'alimentation des animaux (**Rastoin & Benabderrazik, 2014**). Dans la nutrition humaine, l'usage de l'orge se retrouve principalement sous forme de galette, couscous et soupe, variant selon les régions en fonction des coutumes locales (**Rahal-Bouziane & Abdelguerfi, 2007**).

### 1.2.1. Blé dur

Le blé (*Triticum durum*) est la céréale dont la culture est la plus répandue, avec actuellement près de 30 000 variantes cultivées. Ce dernier inclut principalement le blé tendre (*Triticum aestivum* L. subsp. *aestivum*), qui est destiné à l'industrie de la meunerie et permet d'obtenir une farine de haute qualité, ainsi que le blé dur (*Triticum durum* Desf), qui est la principale céréale cultivée dans le pays (**Lesage, 2011**).

D'après **Kantety et al., (2005)** et **Ammar et al., (2006)** 10% des terres destinées à la culture de céréales (blé dur, tendre, riz et maïs) sont consacrées à la culture du blé dur. Cette espèce est principalement cultivée dans les pays situés autour de la Méditerranée (Algérie, Maroc, Espagne, France, Italie, Grèce, Syrie), ainsi que dans des régions comme le Kazakhstan, l'Éthiopie, l'Argentine, le Chili, la Russie, le Mexique et le Canada

En Algérie, la surface habituellement dédiée à la culture des céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'hectares. Le blé dur est particulièrement valorisé en raison de son intégration

sous différentes formes dans l'alimentation quotidienne de la population. Pour la période de 2000 à 2007, la superficie moyenne consacrée au blé dur fluctue entre 0,82 et 1,49 x 10<sup>6</sup> ha. Les rendements demeurent modestes et fluctuent considérablement d'une année à l'autre, tout comme la production qui oscille entre 4.9 et 20 millions de quintaux par an pour la même durée. Il est encore difficile de contrôler la culture des céréales d'hiver tant qu'elle est soumise à diverses contraintes (comme les aléas climatiques, une connaissance limitée des techniques culturales, etc.). La production céréalière en Algérie est largement affectée par de faibles rendements potentiels. Il est donc essentiel d'augmenter les rendements par hectare, étant donné qu'il n'est plus envisageable d'accroître les surfaces dédiées aux céréales d'hiver (**Benbelkacem & Kellou, 2001**).

Le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) joue un rôle significatif dans les pratiques alimentaires de la population algérienne. Cette espèce est cultivée sur un vaste territoire, allant de zones subhumides à des régions arides supérieures. Selon **Benbelkacem (2013)**, les surfaces consacrées aux semences fluctuent d'une campagne à l'autre, allant de 0,9 à plus de 1,2 million d'hectares. En moyenne, on dénombre un million d'hectares sur une superficie totale de 3,7 millions d'hectares dédiée à la culture des céréales. Plus de deux tiers de ces zones se trouvent à l'intérieur du pays, sur les hauts plateaux.

Dans cette région, les attentes de rendement grain sont restreintes par les contraintes associées au sol, aux conditions climatiques, aux variétés cultivées et à l'expertise des agriculteurs. La production de blé dur, qui fluctue entre 9 et 20 millions de quintaux d'une année à l'autre, est principalement influencée par la variabilité climatique (**Hannachi, 2013 ; Benbelkacem, 2013**). L'intervalle des rendements en grains, qui fluctue entre 7 et 16 quintaux par hectare, est le plus bas dans l'ensemble du bassin méditerranéen (**Benbelkacem, 2013**).

Les fluctuations de la production de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les zones semi-arides sont majoritairement dues aux impacts des contraintes abiotiques, principalement associés à l'eau et à la température. Selon (**Zhang et al., 2018**), le stress hydrique est un facteur qui limite considérablement la production de blé.

(**Mekhlouf et al., 2006 ; Nouar et al., 2010**) Son aire de culture s'étend du littoral jusqu'à la limite inférieure des hauts plateaux, où il est cultivé sous conditions pluviales et soumis aux impacts des contraintes climatiques, notamment le manque d'eau et les températures élevées à la fin du cycle.

Selon **Agro (2019)**, l'Algérie, qui est le troisième importateur de blé au monde, fait pousser des céréales sur une superficie de 3,5 millions d'hectares. En effet, cette culture est la principale composante de l'alimentation des Algériens et le domaine agricole représente environ 12 % du PIB (Produit Intérieur Brut) (**Ammar, 2014**).

(**Hakimi., 1993 ; Kadi et al., 2010 ; Nouar et al., 2012 ; Adjabi et al., 2014**). Il est déjà nécessaire que les productions végétales s'adaptent à une évolution rapide de la demande, tant en termes de quantité que de qualité. Par ailleurs, la fertilité des sols agricoles est mise à mal par un grand nombre d'obstacles environnementaux et humains. En Algérie, la production de céréales présente des oscillations qui fluctuent de manière irrégulière d'une année à l'autre

Dans les zones à climat semi-aride, plusieurs contraintes abiotiques influent considérablement sur le rendement en grain lors de la culture du blé. Selon **Paulsen et Heysen (1983) ; Gate et al., (1996) ; Bouzerzour et Benmahammed (2002)** ainsi que **Mekhlouf et al., (2002)**, certains stades végétatifs montrent une sensibilité particulière à ces conditions climatiques.

En Algérie, une sélection est constamment effectuée pour les variétés offrant les meilleurs rendements ; le choix du blé dur a été largement basé sur les introductions provenant de centres internationaux de recherche agronomique. Les variétés choisies prospèrent bien dans les zones de plaine intérieure et côtière, cependant, le taux de production en grains demeure très fluctuant sur les hautes plaines. La sélection des nouvelles variétés se fait généralement sur la base de leur rendement, sans prendre en compte les caractéristiques adaptatives qui régulent la production dans des environnements variables. La réussite de leur production repose en grande partie sur le choix de la variété adéquate, notamment sa résistance aux maladies, son adaptation au sol et aux conditions climatiques, son rendement ainsi que la qualité du grain. (**Laala, 2010**).

On attribue directement ou indirectement le changement climatique à toute action humaine, notamment à la production industrielle ainsi qu'à l'utilisation et la couverture des sols (**CCNUCC, 2021**).

Il existe de nombreux traits propices à l'adaptation, qui peuvent varier selon les contextes environnementaux. Pour ajuster au mieux la plante à la variabilité de l'environnement de culture, la sélection assistée par des méthodes physiologiques se présente comme une option indispensable

(Hayes et al., 2007) Actuellement, les principaux éléments qui entravent la productivité végétale sont les températures extrêmes, la sécheresse et la salinisation des sols. Le stress thermique figure parmi les contraintes majeures qui entravent les rendements de la culture du blé dur. Il est décrit comme l'augmentation de la température au-delà d'un certain niveau et pendant une durée assez prolongée pour provoquer des dommages irréparables à la croissance et au développement de la plante cultivée. Le stress thermique entraîne une diminution du poids des grains et du nombre de grains, entraînant ainsi d'importantes pertes de productivité et de qualité des grains

L'augmentation des surfaces cultivables dans les zones à climat défavorable et l'approfondissement des méthodes d'agriculture exposent les plantes à différents stress abiotiques qui nuisent aux rendements (Wang et luthé, 2003).

Au cours de l'Antiquité et jusqu'au IIe siècle avant notre ère, l'orge était la céréale la plus fréquemment employée dans l'alimentation humaine dans les zones du croissant fertile. Il est introduit à partir du Croissant fertile, traversant l'Égypte avant d'atteindre le Maghreb et le bassin méditerranéen (Boulal, 2007 in Kellil, 2010).

(Madic et al., 2012 ; Papathanasiou et al., 2015 ; Hamli et al., 2018) Dans les zones semi-arides, l'Orge (*Hordeum vulgare* L.) est exposée à de nombreux stress abiotiques, l'eau étant le facteur limitant majeur. Ainsi, la recherche en agronomie s'efforce de choisir des génotypes à fort potentiel de productivité et présentant une production plus stable, peu influencée par les fluctuations climatiques d'un site de culture à un autre, ainsi que d'une année à l'autre. Elle cherche aussi toute méthode qui pourrait permettre une meilleure valorisation des faibles précipitations reçues

### 1.2.2. Orge

Vers le début du XIXe siècle, l'orge se classait premier parmi les cultures en raison de son importance. Elle était destinée à la consommation individuelle humaine et constituait un supplément fourrager pour les troupeaux qui étaient entretenus durant la majeure partie de l'année dans les régions steppiques (Hakimi, 1993). À l'heure actuelle, l'orge n'est pas utilisé fréquemment dans la nourriture destinée à l'homme. Il est maintenant reconnu que l'orge est bénéfique pour les maladies cardiaques, la constipation et d'autres troubles digestifs, et possiblement aussi contre le cancer.

Il s'agit de plantes herbacées qui se développent en bouquets, elles comprennent des racines, des feuilles, une tige et un épi qui abrite les graines. Selon **Slafer et al., (2002)**, le cycle évolutif de ces céréales se décompose en trois phases majeures : la phase végétative, la phase reproductrice et la phase de maturation.

## 2. Légumineuses et leurs importances

La famille Fabaceae englobe une vaste gamme de plantes qui ont un intérêt tant sur le plan agroalimentaire que fourrager et ornemental. On distingue trois catégories de plantes d'intérêt : les légumes secs (comme les lentilles, pois secs, pois chiches, haricots secs...), les oléagineux (tels que l'arachide, le soja...) et les légumes à gousses (comme le petit pois, haricot vert...) (**Rémond et Walrand, 2016**).

Les légumineuses, comme les pois, les haricots et les lentilles, ont toujours été intégrées à l'alimentation humaine. D'après des études, les anciennes civilisations mésopotamiennes ont déjà pratiqué la culture de ces légumineuses. Certaines études suggèrent qu'il y a plus de 10 000 ans, des féveroles étaient cultivées dans le nord de la Palestine. Actuellement, ces cultures fondamentales contribuent significativement à garantir la sécurité alimentaire, combattre la malnutrition, diminuer la pauvreté et renforcer la durabilité de l'agriculture (**Madjid, 2018**).

Bien que les légumineuses soient indéniablement importantes, on constate qu'elles n'ont pas réussi à suivre le rythme de croissance du maïs, du blé et du riz, qui ont connu une augmentation de 200 à 800% entre 1961 et 2012. Pendant ce temps, la production de légumineuses n'a progressé que de 59% sur la même période. Ce changement progressif s'attribue à l'évolution des comportements alimentaires des consommateurs qui privilégient les protéines animales telles que les produits laitiers et la viande (**Madjid, 2018**). Les graines de légumineuses se déclinent en différentes formes et nuances. On compte parmi les légumineuses les plus réputées, les lentilles, les pois, les fèves, les haricots, le soja et les arachides (**Schneider & Huyghe, 2015**).

Les légumineuses, en tant que sources de protéines, minéraux, vitamines, fibres alimentaires, amidon et composés bioactifs, jouent un rôle crucial dans l'alimentation humaine. Les légumineuses offrent une multitude de bienfaits pour la santé, notamment en tant que source significative de polyphénols, reconnus pour leurs puissantes actions

antioxydantes (**Singha et al., 2017**). Elles sont également riches en flavonoïdes, leur teneur étant approximativement dix fois supérieure à celle des oranges (**Guggenbühl, 2006**).

Depuis des siècles, les légumineuses constituent un élément essentiel de l'alimentation humaine. La culture de légumineuses a commencé il y a 10 000 ans avant notre ère. Les légumineuses, qui englobent une multitude d'espèces, de variétés et de cultivars, sont cultivées dans des environnements écologiques extrêmement variés à travers le monde. C'est pourquoi elles sont présentes dans une grande variété de régimes alimentaires traditionnels (**FAO, 2016**).

La superficie dédiée à la culture des légumineuses fluctue chaque année, influencée par la disponibilité des semences, les politiques de prix, les subventions et les aides à la production, sans oublier les conditions climatiques, le coût des engrais, les maladies végétales et la concurrence avec d'autres cultures dans les zones concernées. La production mondiale de légumineuses s'est régulièrement accrue depuis les années 1960. En 2014, l'Inde était le premier pays au monde en termes de production de légumineuses. Le Canada, le Myanmar, la Chine, le Brésil et l'Australie suivaient ensuite. Selon la **FAO (2016)**, les trois principaux producteurs de la zone Europe et Asie centrale sont la Fédération de Russie, qui occupe le premier rang, suivie par la Turquie et la France.

Les populations du Moyen-Orient, de l'Afrique du Nord, de l'Amérique latine et du sous-continent indien consomment des légumineuses pour répondre à leurs nécessités nutritionnelles. Elles sont également consommées dans les pays développés, mais en moindre quantité (**Gordan, 2002**). Selon (**Roudaut & Lefrancq, 2005**), la consommation mondiale en 2002 était d'environ 6 kg par an et par individu.

En Algérie, les légumineuses sont considérées comme des aliments essentiels. Cultivés sur les zones côtières et jusqu'aux plateaux, ils sont souvent consommés en grandes quantités. On y dénombre diverses espèces telles que le pois chiche, le haricot, la fève, le pois et la lentille (**Lazali, 2014 ; Meena et al., 2020**).

Les légumineuses, incluant le pois chiche, les lentilles, le lupin, le pois, le niébé et les haricots, sont considérées comme une source vitale de protéines, d'acides aminés essentiels, d'amidon, de fibres, de vitamines et de minéraux pour l'alimentation humaine. Elles sont largement reconnues comme la principale source de protéines végétales sur une vaste partie du monde. Les légumineuses, à leur égard, constituent une excellente source de protéines, elles encouragent le développement musculaire et aident à la restauration et au

renouvellement des cellules corporelles. Ils sont également abondants en micronutriments tels que le magnésium, le phosphore, le potassium, le zinc et le fer, qui offrent une multitude de bénéfices pour la santé. Grâce à leur profil nutritionnel et leur composition chimique, elles se positionnent comme l'option la plus solide parmi les substituts alimentaires à base de viande dans les pays défavorisés et en développement. Leur coût étant moins élevé que celui de la viande, elles sont souvent désignées comme la « viande du pauvre » (Sharif et al., 2018 ; Kumar et al., 2022).

Les légumineuses, classées parmi les féculents, peuvent figurer dans chacun de nos plats. Une consommation minimale de deux portions (60-80g) par semaine est conseillée. L'une de leurs qualités est leur indice glycémique bas (Rémond & Walrand, 2016). Les légumineuses représentent une option attrayante pour remplacer les protéines animales, étant reconnues comme la source végétale la plus abondante en protéines (Singh et al., 2021)

Outre les protéines, les légumineuses apportent aussi une quantité importante d'autres composés phytochimiques indispensables pour la santé humaine. Elles contiennent une quantité appréciable de micronutriments, de vitamines, d'amidon, de fibres alimentaires, d'acides gras essentiels, ainsi que de flavonoïdes et de composés phénoliques (Rémond & Walrand, 2016).

Les fèves-féveroles, les pois chiches et les lentilles constituent principalement la production légumineuse, représentant respectivement 40%, 28% et 21,5% de l'ensemble des productions de légumes secs. Pour l'année agricole 2017/2018, la production totale de légumineuses a été estimée à 1376378 quintaux, comparativement à 1072494 quintaux pour l'année précédente, ce qui représente une hausse notable de 28%. En termes de diversité et par rapport à la production de l'année agricole précédente, toutes les variétés ont enregistré une augmentation de leur production, y compris les haricots secs, les lentilles, les pois chiches, les fèves-féveroles et pois secs avec des hausses respectives de 90%, 55%, 30%, 17% et 16% (ONS, 2019).

### 2.1. Lentilles

Les lentilles (*Lens culinaris* Medik) sont principalement cultivées pour leurs graines comestibles (Bejiga, 2006 ; Ford et al., 2007). Plante annuelle pouvant atteindre une hauteur de 60 à 75 cm. Tiges finement poilues, élancées et fortement ramifiées. Les feuilles présentent une structuration pennée, ornées de vrilles ou de poils à leurs bouts. 5 à 16 folioles disposées

## Introduction Générale

---

en face, de forme oblongue à ovale, mesurant de 3 à 20 mm en longueur et de 2 à 8 mm en largeur.<sup>1</sup> Les fleurs du papillon présentent une palette de couleurs allant du blanc au violet et se développent en grappes axillaires de 2 à 5 cm de longueur. Les fruits se présentent sous la forme de petites gousses comprimées sur les côtés, renfermant deux à trois graines en forme de lentille qui peuvent être grises, vertes, brunes, rougeâtres ou noires. La taille de ces graines varie de 2 à 9 mm x 2-3 mm en fonction du cultivar (**Béjiga, 2006; Ecocrop, 2012**). La sous-espèce cultivée de la lentille *Lens culinaris* présente une diversité de rotation des cultures (**Bejiga, 2006 ; Lardy et al., 2009**). Les lentilles, grâce à leur saveur agréable et leurs bienfaits nutritionnels, sont considérées comme un aliment de valeur, ce qui les rend trop coûteuses à produire pour les animaux d'élevage (**Blair, 2008**).

Dans les régions à hivers froids, les lentilles sont semées en tant que cultures estivales, tandis qu'elles sont mises en terre comme cultures hivernales dans les zones subtropicales. Dans les zones tropicales, leur croissance est possible à des hauteurs supérieures à 1800 m lors de la saison hivernale (**Bejiga, 2006**).

Les lentilles se développent correctement quand les précipitations annuelles sont en dessous de 750 mm et qu'il y a une phase sèche significative avant la récolte. Certaines variétés sont capables de résister à des périodes de sécheresse. Il ne supporte pas la saturation et doit être semé dans les zones plus chaudes à l'issue de la saison des pluies, où il se développe grâce à l'humidité résiduelle (**Bejiga, 2006 ; Ford et al., 2007**). Les lentilles peuvent se développer sur différents types de sols, allant du sable à l'argile lourde, et elles tolèrent un large éventail de pH (4,5 à 9), tant que les sols ne sont pas salins, saturés d'eau ou sujets aux inondations (**Bejiga, 2006**).

Les lentilles peuvent pousser dans divers types de terrains, mais elles ont généralement une préférence pour les sols bien drainés qui évacuent l'excès d'eau, ainsi que pour un pH plutôt acide (5,5 à 6,5) ou légèrement alcalin (7,5 à 9). Il n'est pas conseillé d'avoir des sols à forte salinité. Il est conseillé d'élever des lentilles dans un sol fertile dans les régions où la pluviométrie varie entre 250 et 400 mm, afin de mitiger les conséquences d'éventuelles sécheresses. (**Bamouh, 1999**).

Étant donné son besoin en eau minime, la culture de la lentille est adaptée à divers bassins de production. Toutefois, un risque de chute des fleurs est présent en raison d'une insuffisance d'eau durant la phase de floraison. Par conséquent, un semis précoce et

l'utilisation de variétés à cycle court sont indispensables pour favoriser la survie des plantes. Cycle à la fin de la température élevée (**Bamouh, 1999**).

Les lentilles possèdent des caractéristiques distinctives qui les séparent des autres céréales et légumineuses, leur attribuant une signification et une valeur accrue dans le domaine agricole. Une nutrition adéquate préserve la santé du corps et le défend contre les diverses maladies. Comme l'ont démontré plusieurs recherches, l'étude a révélé que les lentilles sont riches en nutriments indispensables, y compris des protéines importantes. On consomme des glucides ou de petites portions de ceux-ci, comme des minéraux et des vitamines, et en quantités plutôt importantes. Plusieurs études révèlent également que les lentilles sont riches en divers composés végétaux naturels, appelés phytochimiques, qui possèdent une activité biologique et contribuent à la santé (**2008, USDA**).

### 2.2. Pois chiche

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) appartient à la famille des Fabacées, également connue sous le nom de légumineuses. Bien qu'il soit proche du petit pois, il appartient à un genre botanique distinct. La dénomination scientifique arietinum évoque la silhouette de la graine qui rappelle la forme de la tête d'un bélier (aries) accompagnée de ses cornes. Il s'agit d'un poids de taille intermédiaire, arrondi et pointu à l'extrémité. Il est fortement aromatisé et maintient sa forme lors de la cuisson (environ une heure) (**ENCARTA, 2005**).

Le pois chiche est une plante herbacée annuelle qui se propage et se diffuse par ses branches (**Yadav et al., 2007 ; Muelbauer et Rajesh, 2008**). La racine, qui est longue et solide, joue un rôle pivotant. Elle possède de nombreuses racines secondaires dotées de nodules capables de fixer l'azote de l'air (**Cubero, 1987**). Selon (**Duke, 1981**), le système racinaire peut aller jusqu'à 2 mètres de profondeur. Selon (**Obaton, 1980**), la tige présente une forme anguleuse, fortement ramifiée, et peut atteindre une hauteur de 20 cm à 1 mètre. La plante peut avoir une forme qui est soit étalée, soit semi-dressée. La fleur de *C. arietinum*, généralement papilionacée et souvent isolée, se présente en teintes blanches, bleues ou violettes. Les feuilles possèdent entre 7 et 17 folioles, elles sont imparipennées et pétiolées, avec une vrille à leur extrémité. Le fruit se présente sous la forme d'une gousse ovale contenant une ou deux graines de forme ovoïde (**Duke, 1981**).

En Algérie, le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) occupe la seconde place après les fèves en tant que légumineuse alimentaire produite. Durant la période de 1980 à 1990, sa culture a

subi une évolution graduelle en termes de superficies et de consommation, tandis que la productivité connaissait une régression. La productivité du pois chiche en Algérie est fréquemment affectée par des facteurs agro techniques tels que les conditions de semis (moment, méthode de semis, qualité des graines) et l'envahissement par les mauvaises herbes (**Hamadache et ait Abdallah, 1998 ; Attia et al., 2018**)

L'association de légumineuses et de céréales fournit à l'organisme tous les acides aminés indispensables. Les céréales contiennent une faible quantité de lysine. Dans les légumineuses, on constate une carence en méthionine. La combinaison de légumineuses et de céréales offre un apport en protéines complètes. Cette association permet d'obtenir un taux d'assimilation de protéines supérieur de 30 à 50% comparativement à une consommation individuelle. Il est préférable d'opter pour des céréales complètes plutôt que pour des céréales raffinées qui manquent de nutriments lors des repas. Il est recommandé de choisir du riz complet, du quinoa, du sarrasin, de la semoule ou du millet (**Bourre, 2007**).

Dans ce contexte, notre travail se concentre sur l'étude des propriétés antioxydantes des légumineuses et des céréales cultivées dans la wilaya de Khenchela. Cette région, caractérisée par des conditions climatiques semi-arides, pourrait influencer de manière significative le profil phytochimique de ces plantes. Comme l'ont observé (**Benbouza et al., 2021**) dans leurs recherches sur les cultures algériennes, les stress environnementaux tendent à augmenter la production de métabolites secondaires chez les plantes.

Notre étude vise donc à évaluer l'impact de ces conditions climatiques sur la teneur en composés antioxydants des légumineuses locales, tout en comparant leurs propriétés avec celles des céréales cultivées dans la même région et dans des zones caractérisées par un climat sub-humide. Les résultats pourraient avoir des implications importantes tant pour la nutrition humaine que pour les pratiques agricoles dans les zones semi-arides.

# **Matériel et Méthodes**

### 1. Préparation du matériel végétale

Ce travail a été effectué au sein du laboratoire de Biologie d'El Hamma, à l'Université Abbes Laghrour Khenchela. Deux légumineuses comestibles provenant de Khenchela et deux provenant de Souk Ahras, ainsi que deux céréales de Khenchela et deux de Souk Ahras produites localement, ont été employées comme matériel végétal dans cette recherche. Ceci inclut le blé, l'orge, le pois chiche et la lentille. Les graines ont été soigneusement nettoyées et finement moulues, puis stockées pour des analyses futures.



**Figure 1:** les espèces utilisées après broyées (Guenoun,2025)

### 2. Préparation des extraits par macération

Les extraits méthanoliques sont réalisés selon la méthode décrite par (**Khattabi et al., 2022**). En résumé, 10 g de poudre de plante sont macérés dans un mélange de 100 mL de méthanol et d'eau (80 : 20, V/V) pendant 24 heures à l'abri de la lumière et à température ambiante. Cette procédure est répétée trois fois. Après avoir filtré avec du papier Whatman N°1, le méthanol est éliminé par évaporation à basse pression à 40°C en utilisant un évaporateur rotatif (BÜCHI). Les extraits obtenus sont conservés à l'obscurité à 4°C.



**Figure 2:** préparation des extraits (Guenoun,2025)

### 3. Détermination de rendement d'extraction

Le rendement de l'extraction est déterminé avec la formule suivante :

$$\text{Rendement d'extraction} = (E_s \div E) \times 100$$

$E_s$  : Masse en gramme de l'extrait sec récupéré.

$E$  : Masse en gramme de la matière végétale.

### 4. Screening phytochimique

#### 4.1. Mise en évidence des alcaloïdes

La vérification de la présence d'alcaloïdes se fait en mélangeant 1 ml de solution d'extrait avec 1 ml du réactif de Mayer. Si une couleur jaune pâle apparaît, cela indique un résultat positif (Sadeq et al., 2021).

#### 4.2. Mise en évidence des flavonoïdes

*Première méthode* : Pour identifier les flavonoïdes, on ajoute quelques gouttes de NaOH à 1 mL de solution d'extrait. Si une couleur brun jaunâtre est observée, le résultat est positif (Archana et al., 2012).

*Deuxième méthode* : Test  $AlCl_3$  : quelques gouttes (0,15 mL) de solution de chlorure d'aluminium ( $AlCl_3$  1 % v/pds) ont été ajoutées à 5 mL d'extrait brut, et l'apparition d'une couleur jaune a indiqué la présence de flavonoïdes (Harborne, 1998).

#### 4.3. Mise en évidence des tanins

La présence de tanins est vérifiée en combinant 1 mL de chlorure de fer dilué ( $FeCl_3$ , 1 %) avec 1 mL de la solution d'extrait. Une couleur verdâtre ou bleu noirâtre indique un résultat positif (Sadeq et al., 2021).

#### 4.4. Mise en évidence des terpénoïdes

Pour tester la présence de terpénoïdes, on mélange 2 mL de chloroforme et 3 mL d'acide sulfurique avec 5 mL de la solution d'extrait. Une couleur brun rougeâtre indique un résultat positif (Pathak et Shrivastav, 2015).

### 4.5. Mise en évidence des saponines

On teste la présence de saponines en ajoutant 0,2 mL de solution d'extrait à 5 mL d'eau distillée et en agitant vigoureusement pendant 5 minutes. La formation de mousse indique un résultat positif (Sadeq et al., 2021).



Figure 3: vortex(Guenoun,2025)

### 4.6. Mise en évidence des coumarines

La présence de coumarines est testée en mélangeant 1 mL de la solution d'extrait avec 0,5 mL d'hydroxyde d'ammonium à 25 %. Ensuite, la solution est observée sous une lampe UV à 366 nm. La fluorescence intense prouve la présence de coumarines (Bouabid et al., 2016).

## 5. Dosage et quantification des métabolites secondaires

### 5.1. Teneur en polyphénols

La quantité totale de composés phénoliques présents dans l'extrait végétal a été mesurée selon la méthode établie par Kahkonen et al., (1999). En résumé, on a pris 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (10%) et l'a mélangé avec 0,2 ml de la solution d'extrait. Ensuite, ce mélange a été neutralisé avec 0,8 ml de solution de carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ; 20 % v/p) et 2,8 ml d'eau. Ce mélange a été incubé à température ambiante pendant 30 minutes. On a ensuite mesuré l'absorbance à 760 nm en utilisant un spectrophotomètre Helios (thermospectronique). La courbe d'étalonnage ( $Y=0.001X+0.068$ ;  $R^2 = 0,997$ ) est utilisée pour décrire les résultats en mg d'équivalent acide gallique (GAE) par mg d'extrait (mg GAE/mg).

### 5.2. Teneur en flavonoïdes

La quantité de flavonoïdes a été déterminée par la méthode colorimétrique utilisant du chlorure d'aluminium comme décrite par **Kahkonen et al., (1999)**. L'extrait final (0,5 ml) a été combiné avec 0,5 ml d'une solution de chlorure d'aluminium dans le méthanol (2 % v AlCl<sub>3</sub>/v méthanol). Après une incubation à température ambiante de 10 minutes, l'absorbance a été mesurée à 420 nm à l'aide d'un spectrophotomètre Helios (thermospectronique). La courbe normale ( $y = 0,0048 X$  ;  $R^2 = 0,986$ ,  $R^2 = 0,937$ ) est utilisée pour décrire les résultats en mg d'équivalent quercétine (QE) par mg d'extrait (mg QE/mg).

### 5.3. Teneur en tanins

Pour mesurer les tanins, 50 µl des extraits bruts ont été mélangés avec 500 µl de vanilline (4 %), et ensuite 1,5 mL d'HCl concentré a été ajouté au mélange. Celui-ci a été incubé pendant 20 minutes à température ambiante. La mesure d'absorbance a été réalisée à 500 nm grâce à un spectrophotomètre Helios (thermo-spectronique) (**Heimler et al., 2006**). La courbe d'étalonnage ( $y = 0,0026X + 0,0303$  ;  $R^2 = 0,982$ ) est utilisée pour décrire les résultats en mg d'équivalent catéchine (CE) par mg d'extrait (mg CE/mg).

## 6. Analyse statistique des données

L'analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs des résultats est appliquée par le logiciel Statistica 08 pour examiner les résultats. Les différences considérées très hautement significatives à  $p < 0,001$ .

# **Résultats et Discussion**

### 1. Etude phytochimique

L'analyse des extraits méthanoliques examinés nous a permis d'établir les rendements de leurs extraits bruts (Tableau 01).

**Tableau 1:** Rendement des extraits

Rendement/Espèces	Rendement %			
	Blé dur	Orge	Lentille	Pois chiche
Khenchela (semi-aride)	2,04	3,929	2,41	6,245
Souk Ahras Sub-humide)	5,216	5,832	7,002	6,579

Les rendements constatés (de 2,04% à 7,002%) sont en adéquation avec les informations disponibles dans la littérature, concernant le pois chiche, nos observations (6,245-6,579%) sont similaires à celles de **Hossain et al., (2010)** qui ont mentionné 6,3% pour *Cicer arietinum*.

- Les productions de blé (2,04-5,216%) surpassent celles relevées par **Shewry et al., (2016)** (1,2-3,8%), possiblement dues à des variations entre les variétés. Concernant l'orge, nos pourcentages (3,929-5,832%) se trouvent dans l'intervalle mentionné par Andersson et al. (2014) (3,5-6,1%).

- La lentille révèle une variation géographique significative (2,41% contre 7,002%), corroborant les conclusions de **Zhang et al., (2020)** quant à l'influence de la provenance géographique.

#### 1.1. Screening phytochimique

Les résultats de screening phytochimique des extraits montrent que les extraits des céréales et des légumineuses contiennent une importante quantité de composés phénoliques, terpénoïdes, saponines, coumarines, tanins et flavonoïdes., quel que soit le site d'où provient l'espèce. Les alcaloïdes étaient absents dans tous les extraits. Une forte présence est remarquable dans le site 1 de Khenchela (semi-aride) (Tableau 02).

Les céréales se composent principalement de protéines, d'amidons, et de lipides, et des quantités importantes de minéraux, de fibres, de vitamines et des substances bioactifs tels

## Résultats et Discussion

queles acides phénoliques, les flavonoïdes, les tanins, les lignanes, les caroténoïdes, les stérols, les alkylrésorcinol, la bétaine et la choline. (Hamli et al., 2017 ; Wang et al., 2023). Les légumineuses sont une source précieuse de glucides de protéines, de fibres, vitamines et minéraux essentiels (Roy, 2010). De plus, pour l'homme, les légumineuses constituent une bonne source de molécules phénoliques et flavonoïdes bioactives, dotées d'une activité antioxydante très élevée. Ces substances bioactives, selon Singh et al., (2017), sont importantes pour de nombreuses fonctions physiologiques et métaboliques.

Les composés phénoliques présentent plusieurs avantages pour la santé, notamment leurs propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes, anticancérigènes, anti-arthérogéniques, anticancérigènes, immunomodulatrices, antimicrobiennes, cardioprotectrices, et analgésiques (Lin et al., 2016).

**Tableau 2:** Résultats des tests phytochimiques sur l'extrait méthanoliques

Traitements	Alcaloïdes	Flavonoïdes	tanins	terpénoïdes	saponines	coumarines
Blédur K	-	+++	+	++	-	+
Orge K	-	+++	+	+++	+	+
Lentille K	-	+	+	+++	-	+
Pois chiche K	-	+	+	+	+	-
Blédur S	-	+	+	+	-	-
Orge S	-	+	+	++	-	+
Lentille S	-	+	+	+	-	+
Pois chiche S	-	-	+	+	-	-

+++ indique relativement une forte présence. ++ indique relativement une présence moyenne. + indique relativement une présence faible. - indique relativement une présence nulle.

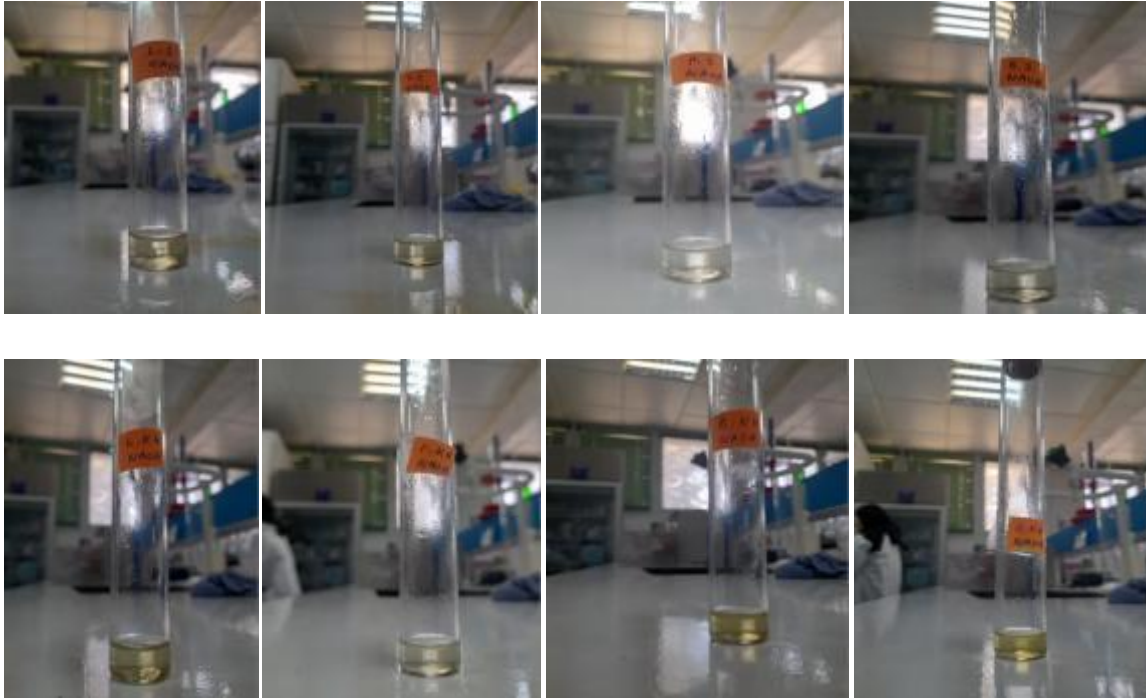
Résultats des alcaloïdes :



**Figure 4:** résultats des alcaloïdes ;1=orge, 2=lentille, 3=pois chiche, 4=blé dur. (Soukahras)  
5=orge, 6=lentille, 7=pois chiche, 8=blé dur (khenchela)(Guenoun,2025)

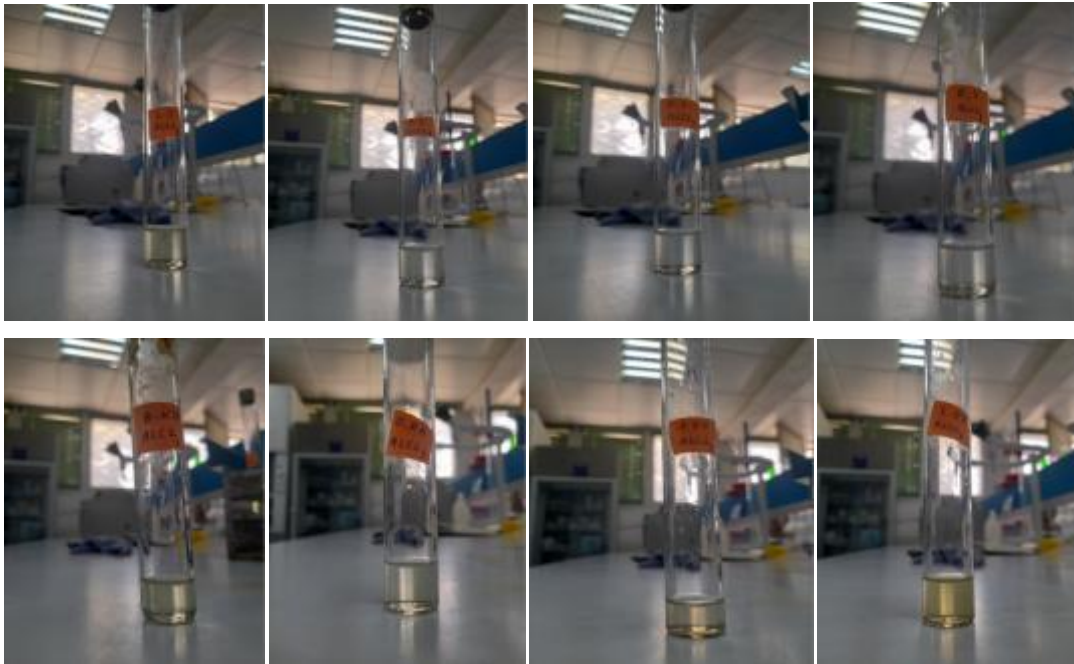
Résultats des flavonoïdes :

*Méthode de NaOH*



**Figure 5:** résultats des flavonoïdes (NAOH) ; 1=lentille, 2=orge, 3=pois chiche, 4blé dur. (Soukahras) 5=lentille, 6=pois chiche,7= blé dur,8= orge . (khenchela)(Guenoun,2025)

*Méthode d'AlCl<sub>3</sub> :*



**Figure 6:** résultats des flavonoïdes (AlCl<sub>3</sub>) ; 1=lentille, 2=pos chiche, 3=orge, 4=blé dur. (souk ahras). 5=blé dur, 6=orge, 7=pois chich, 8=lentille. (khenchela)(Guenoun,2025)

**Résultats des terpénoïdes :**



**Figure 7:** résultats des terpénoïdes ; 1= blé dur, 2=lentille, 3=pos chiche, 4=orge. (Soukahras). 5=orge, 6=pois chiche, 7=blé dur, 8=lentille. (khenchela)(Guenoun,2025)

Résultats des saponines :



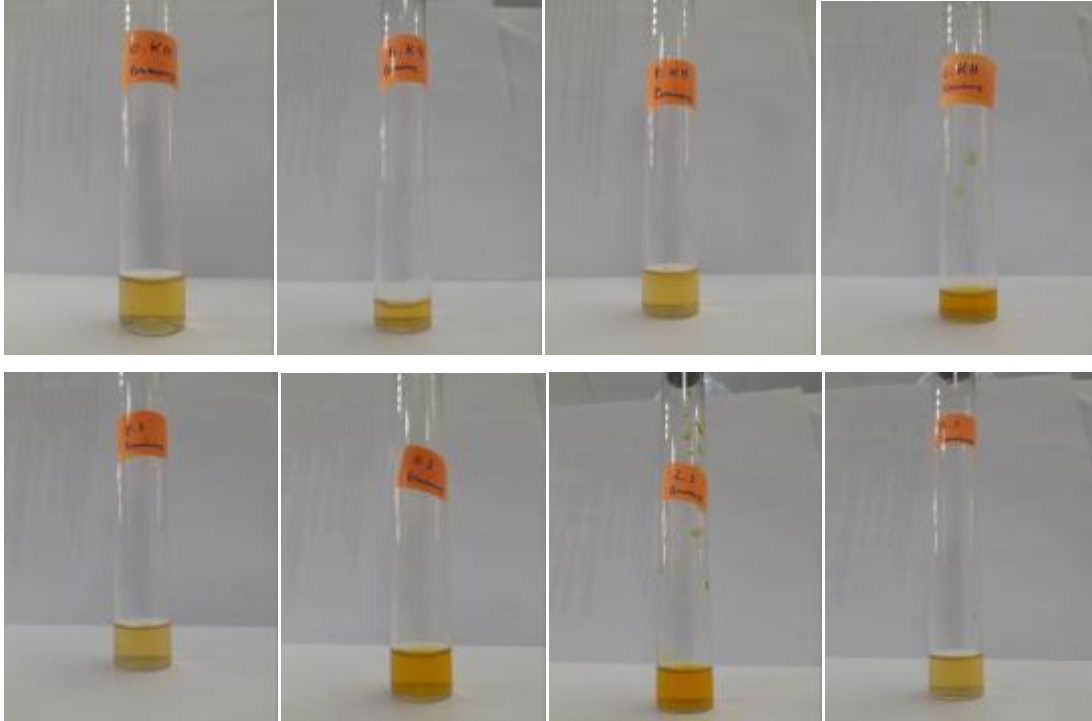
Figure 8: résultats des saponines ; 1=pois chiche, 2=blé dur, 3=orge, 4=lentille . (Souk ahras).  
5=blé dur, 6=pois chiche, 7=lentille, 8=orge, (khenchela)(Guenoun,2025)

Résultats des coumarines :



Figure 9: résultats des coumarines ; 1=lentille, 2=blé dur, 3=pois chiche, 4=orge. (Soukahras).  
5=blé dur, 6=pois chiche, 7=lentille, 8=orge. (khenchela)(Guenoun,2025)

### Résultats des tanins :



**Figure 10:** résultats des tanins ; 1=orge,2=blé dur, 3=pois chiche, 4=lentille. (khenchela).  
5=pois chiche, 6=orge, 7=lentille, 8=blé dur. (Soukahras)(Guenoun, 2025)

## 2. Etude quantitative des composés phénoliques

### 2.1. Etude des moyennes des variables mesurées

Nous avons soumis les résultats des différents paramètres étudiés à une analyse de la variance (ANOVA). Les résultats montrent un effet espèce est significatif à très hautement significatif pour tous les paramètres mesurés (Tableau 3). Un effet espèce est hautement significatif sauf pour le teneur en polyphénols, alors que l'effet interaction (espèce\*site) est significatif à très hautement significatif pour les flavonoïdes et les tanins. En revanche cet effet n'est pas significatif pour les polyphénols (Tableau 3). La signification statistique de l'effet espèce, site et de l'interaction (espèce\*site) suggère que la réponse des espèces évalués diffère en fonction des espèces utilisées et du site étudié.

## Résultats et Discussion

**Tableau 3:** Carrés moyens des écarts des caractères mesurés des extraits des espèces des céréales et des légumineuses

Source de variation	ddl	Flav	Pol	Tan
Effet Espèce	3	1.040***	3568.5*	606.52***
Effet Site	1	0.04 <sup>ns</sup>	10922.6**	1.16 <sup>ns</sup>
Effet interaction (E*S)	3	0.480*	2201.4 <sup>ns</sup>	415.9***
Résiduelle	16	0.1126	1044.4	24.955

Ns, \*\*et\*\*\* : effet non significatif, hautement et très hautement significatif à 5%, 1% et à 1% respectivement. Flav: Flavonoïdes, Pol : Polyphénols, Tan : Tanins

### 2.1.1. Effet moyen de l'espèce

Tableau 4 montre l'effet moyen de l'espèce qui est significatif à très hautement significatif pour tous paramètres étudiés. Pour cet effet les moyennes des teneurs en polyphénols varient entre 22.50±10.96 chez le pois chiche à 68.00±3.66 EAGmg/mg E chez Lentille (Figure 11). Concernant les flavonoïdes les valeurs oscillent entre 5.78±3.66 EAQ mg/ mg E chez le pois chiche à 6.76±0.01 EAQ mg/ mg E chez le blé dur. Le maximum du contenu en tanins est enregistré chez le pois chiche avec une moyenne de 55.41±0.01 EACmg/mg E, alors que la concentration minimale est détectée chez l'orge avec 33.921 ±0.01 EACmg/mg E.

**Tableau 4:** Effet moyen de l'espèce et groupes homogènes des paramètres mesurés des extraits des espèces étudiées

Paramètres	Pol	Flav	Tan
	EAG mg/mg E	EAQ mg/mg E	EACmg/mg E
Ppds 5%	39.55	0.29	6.11
Lentille	68.00 a	6.43 a b	39.78 b
orge	61.75 a b	6.16 b c	33.921b
Blé dur	56.58 a b	6.76 a	34.36 b
Pois chiche	22.50 b	5.78 c	55.41 a

a, b et c: groupe homogènes, EAQ mg/ mg E : milligrammes d'équivalent de la quercitrine par milligramme d'extrait ; mg EAG/mg E : milligrammes d'équivalent de l'acide gallique par

milligramme d'extrait. EACmg/mg E : milligrammes d'équivalent de la catechique par milligramme d'extrait. Flav:Flavonoïdes, Pol : Polyphénols, Tan : Tanins.

Selon **Shaimardan et al., (2023)**, les acides phénoliques constituent une catégorie de composés phénoliques caractérisés par la présence simultanée d'un groupe carboxylique et d'un hydroxyle phénolique. Selon **Aissani et al., (2025)**.

Les polyphénols les plus abondants dans le blé sont les acides phénoliques et les flavonoïdes. Par ailleurs, il est probable que les molécules phénoliques sont fortement affectées par le génotype du blé, les conditions environnementales de sa culture, les transformations qu'il subit, le moment de la moisson et la partie du blé examinée.

### 2.1.2. Effet moyen du site

Cet effet n'est pas significatif pour les flavonoïdes, ça reflète qu'il n'y a pas un effet du site sur le contenu de cette métabolite secondaire, d'un autre côté la signification de cet effet pour les polyphénols et les tanins indique que l'accumulation de ces substances varie d'une zone climatique à l'autre et tant que la zone de Khenchela appartient au étage semi-aride caractérisé par la sécheresse; une contrainte agit sur la croissance des plantes et la provoque de synthétiser des métabolites secondaires afin de tolérer les conditions défavorables de l'environnement.

Les résultats révèlent qu'il y a des différences apparentes entre les sites d'étude. Le site 1 favorise l'accumulation des trois métabolites chez les plantes. Concernant les polyphénols, les moyennes allant de 30.88 EAG mg/mg E comme valeur minimale dans le site 2 à 73.54±0.01 EAG mg/mg E valeur maximale enregistrée dans le **site 1** (Tableau 5). Pour les flavonoïdes et les tanins les deux sites constituent le même groupe ; des différences modérées entre les deux. Ces résultats sont en accord avec celle de **Hamli et al., (2024)** et **Aissani et al., (2025)** qui constatent que les céréales cultivées en zones semi-arides riches en biomolécules en particulier les polyphénols et les flavonoïdes et leur consommation peut améliorer considérablement la santé des consommateurs en augmentant leur apport quotidien en antioxydants.

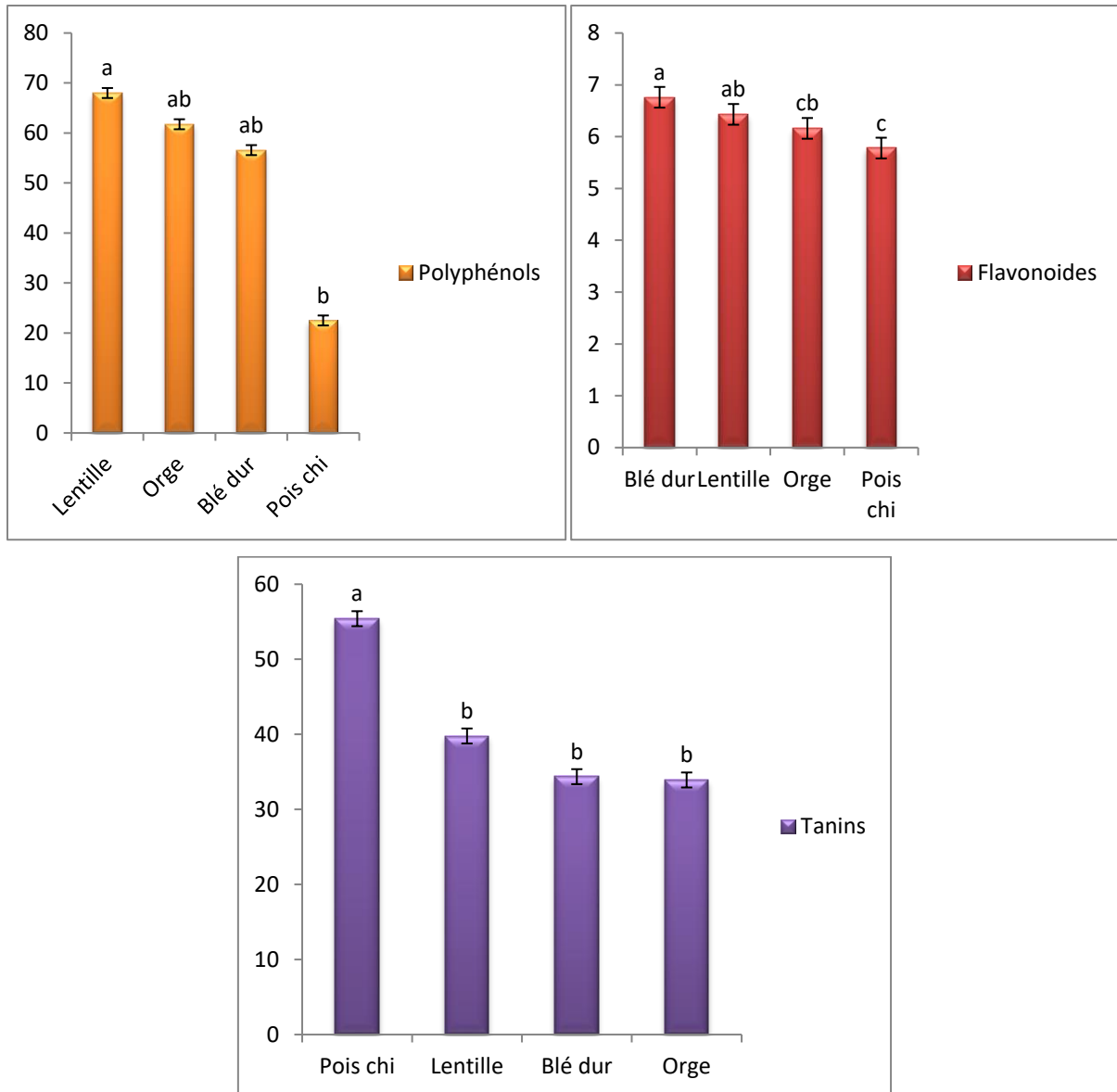
## Résultats et Discussion

**Tableau 5:** Effet moyen du site et groupes homogènes des paramètres mesurés des extraits des espèces étudiées

Paramètres	Pol EAG mg/mg E	Flav EAQmg/mg E	Tan EACmg/mg E
Ppds 5%	27.97	0.2904	4.3234
Khenchela (Semi-aride)	73.54a	6.2442a	41.092 a
Souk Ahras (Sub-humide)	30.88 b	6.3275 a	40.651a

a,b etc: groupe homogènes, EAQ mg/ mg E : milligrammes d'équivalent de la quercitrine par milligramme d'extrait ; mg EAG/mg E : milligrammes d'équivalent de l'acide gallique par milligramme d'extrait. EACmg/mg E : milligrammes d'équivalent de la catechique par milligramme d'extrait. Flav:Flavonoïdes, Pol : Polyphénols, Tan : Tanins.

## Résultats et Discussion



**Figure 11:** contenu phytochimique de polyphénols en EAG mg/mg E (**ppds=39.55**), flavonoïdes en EAQ mg/mg E (**ppds= 0.41**) et tanins en EAC mg/mg E (**ppds=6.11**) des espèces étudiées ; céréales et légumineuses.

Dans cette étude, chez les céréales le blé dur accumule plus des polyphénols, des flavonoïdes et des tanins en comparaison avec l'orge. Selon les résultats de **Hamli et al., (2017)**, l'orge possède un contenu moyen de polyphénols et de flavonoïdes et un contenu plus élevé des tanins par rapport aux trois variétés de blé dur étudiées. Concernant les légumineuses lentilles accumule davantage les polyphénols et de flavonoïdes à l'exception les tanins le pois chiche excède lentille.

### 2.1.3. Effet de l'interaction espèce x site sur les paramètres mesurés

Les céréales et les légumineuses de l'étage semi-aride de Khenchela accumulent plus de polyphénols, flavonoïdes et tannins en comparaison avec l'étage sub-humide de Souk Ahras que ce soit le blé dur, l'orge ou lentille. Alors que le contenu phénolique du pois chiche de Souk Ahras excède celui de Khenchela pour les trois métabolites secondaires quantifiées (Figure 1) (Tableau 6).

Tableau 6 montre des différences notables de composés phytochimiques entre les espèces étudiées et les deux sites climatiques d'où provenant ces espèces avec certain écart-types indiquent une variabilité significative. Le site 1 de la zone semi-aride semble favoriser une teneur plus élevée en polyphénols, flavonoïdes et tannins pour certaines espèces en comparaison avec le deuxième site de la zone sub-humide de Souk Ahras.

Concernant les polyphénols lentille présente des valeurs les plus élevées (47-144 EAG mg/mg E), pois chiche; des valeurs faibles à modérés (12 à 37 EAG mg/mg E), le blé dur et l'orge montrent des valeurs intermédiaires de 13 à 137 pour le blé dur et 25 à 115 pour l'orge. Pour les flavonoïdes le blé dur du site 2 montre un pic de 8EAG mg/ mg E plus élevés que la moyenne et la variation moins importante entre sites que pour les polyphénols.

En ce qui concerne les tanins; pois chiche montre des concentrations très élevées au site 2 avec 76.2, 67.19, 67.18 EAC mg/mg E comparés au **site 1**. Lentille du site 1 des chiffres plus variables 35-57EAC mg/mg E, site 2 modéré (27-38EAC mg/mg E), blé dur et orge les valeurs plus homogènes (31-39 EAC mg/mg E).

Les différences entre sites sont remarquables pour l'accumulation des trois métabolites secondaires (Tableau 6). Les espèces du **site 1** sont plus riches en substances bioactives qui donnent une certaine tolérance aux plantes vis à vis du milieu aride caractérisé par la sécheresse en zones semi-arides par rapport aux zones humides et sub-humide.

Plusieurs études ont établi que, face à un stress abiotique, les plantes mettent en place des mécanismes d'adaptation englobant divers caractéristiques morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires (Mathieu et al., 2024). Selon Das et al., (2024), les environnements défavorables peuvent jouer un rôle bénéfique, comme le montrent les modifications biochimiques de la plante en stimulant la synthèse des métabolites secondaires.

## Résultats et Discussion

**Tableau 6:** Effets de l'interaction espèce x site sur les paramètres mesurés des extraits des plantes

site	Espèce	Poly EAG mg/mg E	Flav EAQ mg/ mg E	Tanins EAC mg/mg E	Ecart-type
1	blé dur	13	6.11	38.75	0,01
1	blé dur	137	6.49	38.76	
1	blé dur	125	6.3	38.74	
1	orge	115	5.91	39.11	0.002
1	orge	68	6.31	39.115	
1	orge	91,5	6.61	39.11	
1	Lentille	144	6.66	57.19	10.96
1	Lentille	47	6.34	35.26	
1	Lentille	95.5	6.5	46.22	
1	Pois chi	19	6	39.88	3.66
1	Pois chi	12	5.8	47.192	
1	Pois chi	15.5	5.9	43.84	
2	blé dur	29	8	35.26	1.92
2	blé dur	14	6.46	31.42	
2	blé dur	21.5	7.23	33.34	
2	orge	39	6.06	28.75	0.01
2	orge	25	6.06	28.74	
2	orge	32	6.06	28.73	
2	Lentille	16	6.63	38.73	5.38
2	Lentille	65	6.09	27.96	
2	Lentille	40.5	6.36	33.34	
2	Pois chi	37	5.86	67.2	0.01
2	Pois chi	22	5.46	67.19	
2	Pois chi	29.5	5.66	67.18	

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

---

Ce travail de recherche a permis d'examiner le contenu phytochimique et les caractéristiques antioxydantes des céréales (blé dur et orge) et des légumineuses (lentille et pois chiche), provenant de deux régions climatiques différentes en Algérie : Khenchela (zone semi-aride) et Souk Ahras (zone sub-humide). Les données recueillies ont montré des différences notables dans la composition phytochimique de ces espèces, soulignant l'impact des conditions environnementales sur leur profil phytochimique.

Les taux d'extraction ont fluctué entre 2,04 % et 7,002 %, des valeurs supérieures ayant été notées pour les légumineuses, surtout le pois chiche. Des études phytochimiques ont attesté la détection de composés bioactifs comme les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins, alors que tous les extraits se sont révélés dépourvus d'alcaloïdes. Les végétaux cultivés dans une région semi-aride (Khenchela) ont démontré une accumulation plus significative de ces métabolites secondaires, indiquant une adaptation aux conditions environnementales difficiles.

L'analyse de l'ANOVA a montré un effet espèce est hautement significatif sauf pour le teneur en polyphénols, alors que l'effet interaction (espèce\*site) est significatif à très hautement significatif pour les flavonoïdes et les tanins. En revanche cet effet n'est pas significatif pour les polyphénols. La signification statistique de l'effet espèce, site et de l'interaction (espèce\*site) suggère que la réponse des espèces évalués diffère en fonction des espèces utilisées et du site étudié.

Les résultats révèlent qu'il ya des différences apparentes entre les sites d'étude. Le site 1 favorise l'accumulation des trois métabolites chez les plantes. Concernant les polyphénols, les moyennes allant de 30.88 EAG mg/mg E comme valeur minimale dans le site 2 à 73.54±0.01 EAG mg/mg E valeur maximale enregistrée dans le site 1. Pour les flavonoïdes et les tanins les deux sites constituent le même groupe; des différences modérées entre les deux. Dans les espèces examinées, le blé dur et la lentille ont été remarqués pour leur haute concentration en polyphénols et flavonoïdes, alors que le pois chiche a manifesté des niveaux notables de tanins, surtout dans la zone sub-humide. Ces résultats mettent en évidence non seulement la variation phytochimique des plantes cultivées en Algérie, mais également leur potentiel en tant que sources naturelles d'antioxydants.

Cette étude a plusieurs implications. D'un point de vue nutritionnel et de thérapeutique, ces plantes pourraient aider à la santé des consommateurs en raison de leurs vertus antioxydantes. Sur le plan agricole, le choix de variétés adaptées à des conditions

## **Conclusion Générale**

---

climatiques particulières pourrait améliorer leur valeur nutritive. En définitive, cette étude pave la voie pour des recherches ultérieures, en particulier sur les processus moléculaires liés à l'accumulation de métabolites secondaires et l'influence des techniques de transformation des aliments sur leur biodisponibilité.

Pour conclure, cette étude souligne le potentiel des céréales et légumineuses algériennes en tant que ressources naturelles de grande valeur, tout en mettant l'accent sur l'impact des éléments environnementaux sur leur composition biochimique. Ces résultats pourraient constituer un fondement pour des applications concrètes dans les secteurs de l'agriculture, de la nutrition et de la santé, augmentant par conséquent la valeur des productions locales dans le cadre des changements climatiques.

# **Références Bibliographiques**

### Référence

- **Adom, K. K., Sorrells, M. E., & Liu, R. H. (2005).** Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (8), 2297–2306. <https://doi.org/10.1021/jf048456d>
- **Agro. (2019).** Statistiques agricoles en Algérie.
- **Aissani, N., Hamli, S., Benahmed, A., Khattabi, L., Bensouici, C., Maghboune, I., Trad Khodja, E. A., Benbelkacem, A., & Nagaz, K. (2025).** In vitro assessment of biological activities and chemical profile of whole seed extract of new Algerian durum and soft wheat varieties. *Biology Bulletin*, Vol. 52:16.
- **Ammar, K. (2014).** Production céréalière et développement agricole en Algérie. Publications INRAA.
- **Ammar, K., Mergoum, M., & Rajaram, S. (2006).** The history and evolution of durum wheat breeding. In *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges* (pp. 3–12). CIHEAM.
- **Anson, N. M., van den Berg, R., Havenaar, R., Bast, A., & Haenen, G. R. M. M. (2008).** Antioxidant activities of whole grain wheat. *Journal of Cereal Science*, 48(1), 21–29.
- **Archana, D., Singh, B., & Rani, K. (2012).** Flavonoid identification using NaOH method. *Journal of Phytochemistry*, 5(2), 34–40.
- **Bamouh, A. (1999).** Agronomie des légumineuses alimentaires en milieux arides. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
- **Benbelkacem, A. (2013).** Situation de la céréaliculture en Algérie: Contraintes et perspectives. ITGC Algérie.
- **Benbelkacem, A., & Kellou, K. (2001).** La culture du blé dur en Algérie. ITGC.
- **Bharathi, B., & Rajamanickam, G. V. (2015).** Nutritional value of legumes and cereals. *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 5(3), 1–3.
- **Bourre, J.-M. (2007).** Valeur nutritionnelle des céréales complètes et raffinées. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 21 (3), 165–173.
- **Bouabid, R., Lahrichi, M., & Ziti, S. (2016).** Analyse des coumarines par UV. *Revue Marocaine de Chimie*, 4(2), 23–29.
- **Bouzerzour, H., & Benmahammed, A. (2002).** Performance des variétés de blé dur en zone semi-aride. *Revue Céréaliculture*, 12(1), 14–19.
- **Cahier du Centenaire de l'Algérie (CCA). (2013).** Les grandes cultures en Algérie.

## Références Bibliographiques

---

- **CCNUCC. (2021).** Rapport sur les changements climatiques. Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.
- **Chabane, M., & Boussard, J.-M. (2012).** La production céréalière en Algérie: Des réalités d'aujourd'hui aux perspectives stratégiques de demain. (INRAE).
- **Cooper, D., Campbell, K., & Hall, M. (2017).** Impact des céréales sur la santé humaine. *Food and Nutrition Research*, 61(1), 133–140.
- **Das, S., Parvin, S., Islam, M. M., Rahman, A., Mohi-Ud-Din, M., Ahmed, M., ... & AlMunqedhi, B. M. A. (2024).** Morpho-physiological and biochemical responses of *Vitex negundo* to seawater-induced salt stress. *South African Journal of Botany*, 166, 648–662.
- **Davila, J. (2007).** Le rôle des légumineuses dans l'alimentation du sportif. *Revue Sport & Nutrition*, 12(2), 34–37.
- **Djermoun, A. (2009).** Statut des cultures céréalières en Algérie. *ITGC Bulletin*, 14, 27–35.
- **Dvorakova, M., Moreira, M. M., & Silva, A. M. S. (2010).** Barley phenolic compounds. *Journal of the Institute of Brewing*, 116(1), 26–34.
- **ENCARTA. (2005).** Chickpea. Microsoft Corporation.
- **Edeas, M. (2007).** Les polyphénols et les polyphénols de thé. *Phytothérapie*, 5(5), 264.
- **FAO. (2016).** Les légumineuses : grains nutritives pour un avenir durable. Rome.
- **FAO. (2018).** Bulletin sur l'offre et la demande de céréales.
- **Ferreira, M. S., da Silva Pereira, T., da Silva, F. L., & Faria, J. A. (2021).** Health benefits of legumes and cereals. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(15), 8372.
- **Ford, R., Materne, M., & Taylor, P. W. J. (2007).** Lentil cultivation and diversity. *Plant Genetic Resources*, 5(3), 150–161.
- **Gate, P., Brisson, N., & Collaborateurs. (1996).** Le développement végétatif du blé en zone sèche. *Agronomie*, 16(4), 253–260.
- **Guggenbühl, B. (2006).** Flavonoids in legumes. ETH Zurich Publications.
- **Guillouty, A. (2016).** Antioxydants et santé. *Nutrition & Santé*, 8(2), 23–26.
- **Hakimi, N. (1993).** Situation des céréales en Algérie. *Revue de l'Agriculture*, 9(1), 45–50.
- **Hamli, S., Kadi, K., Addad, D., & Bouzerzour, H. (2017).** Phytochemical screening and radical scavenging activity of whole seed of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) and

## Références Bibliographiques

---

- barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 10(4), 323–327.
- **Harborne, J. B. (1998).** *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis* (3rd ed.). Springer.
  - **Hayes, J. D., Flanagan, T. C., & Dean, M. (2007).** Thermotolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 58(5), 1049–1062.
  - **Heimler, D., Vignolini, P., & Dini, M. G. (2006).** Polyphenol content and radical scavenging activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(1), 26–29.
  - **Jacobs, D. R., Pereira, M. A., Meyer, K. A., & Kushi, L. H. (2007).** Whole-grain intake and cardiovascular health. *Current Atherosclerosis Reports*, 9(6), 422–429.
  - **Kadi, K., Benmahammed, A., Hamli, S., & Collaborateurs. (2010).** *Céréaliculture algérienne : Problèmes et solutions*. ITGC.
  - **Kahkonen, M. P., Hopia, A. I., & Heinonen, M. (1999).** Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10), 3954–3962.
  - **Kantety, R. V., Riera-Lizarazu, O., & Gustafson, J. P. (2005).** Molecular breeding of durum wheat. *Euphytica*, 143(1), 19–29.
  - **Kellil, M. (2010).** L'évolution de l'orge en Afrique du Nord. Mémoire de Master, Université d'Alger.
  - **Khattabi, L., Boudiaf, B., & Hamli, S. (2022).** Méthode de macération des extraits méthanoliques. *Journal Algérien de Biologie*, 34(2), 33–39.
  - **Kumar, A., Sharma, N., & Verma, P. (2022).** Nutritional composition of legumes. *Legume Research*, 45(4), 334–340.
  - **Laala, A. (2010).** Évaluation de nouvelles variétés de blé dur. *Bulletin ITGC*, 19, 21–30.
  - **Laalem, S., & Bennoune, H. (2023).** Importance des légumineuses en Algérie. *Revue des Sciences de l'Agriculture*, 17(2), 145–152.
  - **Lazali, M. (2014).** Légumineuses alimentaires: situation et perspectives en Algérie. *Revue Agronomie Maghreb*, 19(1), 25–31.
  - **Lesage, L. (2011).** Le blé et son évolution génétique. *Céréales & Avenir*, 11(3), 12–18.
  - **Lewis, G. A., Schrire, B. B., Mackinder, B. C., & Lock, M. D. (2005).** *Legumes of the World*. Royal Botanic Gardens, Kew.

## Références Bibliographiques

---

- **Lin, D., Xiao, M., & Zhao, J. (2016).** An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes. *Molecules*, 21(10), 1374.
- **Madic, J., Montaigne, E., Réchauchère, O., & Benoit, M. (2012).** Cultures en zones semi-arides. *Agriculture Méditerranéenne*, 143(3), 178–185.
- **Madjid, B. (2018).** Légumineuses et sécurité alimentaire. Publications de l'Université de Batna.
- **Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004).** Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727–747.
- **Mathieu, D., Anca, L., & Béatrice, R. (2024).** JFM7 7èmes Journées Francophones
- **Meena, R. S., Yadav, G. S., Yadav, A., Gopinath, K. A., & Hazra, K. K. (2020).** Legumes in human nutrition. *Legume Science*, 2(1), e36. <https://doi.org/10.1002/leg3.36>
- **Mekhlouf, M., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Kadi, K. (2002).** Comportement du bléen condition semi-aride. *Agronomie*, 22(4), 365–374. <https://doi.org/10.1051/agro:2002027>
- **Moule, G. (1971).** Les céréales dans l'alimentation humaine. Éditions Techniques Agricoles.
- **Murphy, M. M., Barraij, L. M., Herman, D., & Bi, X. (2018).** Cereal and legume consumption and health outcomes in the US. *Nutrients*, 10(4), 423. <https://doi.org/10.3390/nu10040423>
- **Naczka, M., & Shahidi, F. (2006).** Phenolics in cereals. *Journal of Food Chemistry*, 84(4), 473–479.
- **Obaton, M. (1980).** Morphologie du pois chiche. *Bulletin de l'INRA*, 10, 24–31.
- **Okarter, N., Liu, C. S., Sorrells, M. E., & Liu, R. H. (2010).** Health benefits of whole grain phytochemicals. *Nutrition Reviews*, 68(7), 444–452. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00296.x>
- **ONFAA. (2017).** Observatoire National des Filières Agricoles et Agroalimentaires – Rapport Annuel.
- **ONS. (2019).** Office National des Statistiques – Rapport Agricole Annuel.

## Références Bibliographiques

---

- **Papathanasiou, F., Kalivas, A., & Koutsika-Sotiriou, M.(2015).**Adaptability of barley landraces under stress conditions. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 10(3), 120–127. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2015.120.127>
- **Pathak, A., & Shrivastav, S. (2015).** Terpenoids detection methods. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 3(6), 196–200.
- **Paulsen, G. M., & Heysen, M. J. (1983).** Effects of heat stress on wheat growth. *Crop Science*, 23(1), 45–50.
- **Pingali, P. L. (2015).** Agricultural transformation in the developing world. *Journal of Development Studies*, 51(3), 133–143.
- **Prakash, S., Singh, R. K., & Kumar, A. (2023).** Global trends in cereal and legume consumption. *Journal of Food and Nutrition Research*, 61(2), 89–102.
- **Rahman, A., Islam, S., & Ahmed, S. (2020).** Cereal-legume combinations in human nutrition. *Nutrition & Food Science*, 50(4), 707–716.
- **Rahal-Bouziane, H., & Abdelguerfi, A. (2007).** Céréaliculture et durabilité en Algérie. *Revue Agriculture et Environnement*, 10, 44–49.
- **Rastoin, J. L., & Benabderrazik, H. (2014).** L'évolution de la consommation de céréales en Algérie. *Revue Economie et Prévision*, 12, 85–95.
- **Rémond, D., & Walrand, S. (2016).** Valeur nutritionnelle des légumineuses. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 51(4), 195–200.
- **Richards, R. A., Rebetzke, G. J., Condon, A. G., & van Herwaarden, A. F.(2002).**Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Field Crops Research*, 73(2–3), 115–129. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00187-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00187-6)
- **Romano, R., Padovese, M., & Brighenti, F. (2010).**Polyphenols in cereals and legumes. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 21(6), 435–440. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2009.10.006>
- **Roudaut, J., & Lefrancq, B. (2005).** Les légumineuses dans l'alimentation humaine. Éditions Lavoisier.
- **Roy F., Boye J.I., Simpson B. K. 2010** – Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil – *Food Research International*, 43: 432–442.
- **Sadeq, A., Benabdelkader, T., & Chikhi, I.(2021).** Méthodes de dépistage phytochimique des composés bioactifs des plantes médicinales. *Revue Africaine de Chimie*, 14(2), 134–140.

## Références Bibliographiques

---

- Sarwar, M. H., Sarwar, M. F., & Sarwar, M. (2013). The importance of cereals. *Journal of Cereals and Grains Research*, 3(1), 1–6.
- Schneider, A., & Huyghe, C. (2015). Diversité et intérêts des légumineuses dans les systèmes agricoles et alimentaires. *Fourrages*, 222, 143–152.
- Shaimardan, E., Kabdrakhmanova, S. K., Beisebekov, M. M., Selenova, B. S., Kantay, N., Akatan, K., ... & Sagdollin, Z. (2023). Influence of liquid-phase oxidation of activated carbon “BAU-A” grade with hydrogenic acide on its surface structure. *Вестник НЯЦ РК выпуск*.
- Sharif, M. K., Butt, M. S., Anjum, F. M., Khan, S. H., & Rafiq, S. (2018). Health promoting potential of pulses: A review. *Food Chemistry*, 250, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.079>
- Siddiq, M., Uebersax, M. A., & Boye, J. I. (2022). Current trends in legume research. *Legume Science*, 4(3), e119. <https://doi.org/10.1002/leg3.119>
- Singh, N., Kaur, A., Shevkani, K., & Singh, B. (2017). Pulses: An overview. *Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 853–857. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2537-4>
- Singh, S. K., Yadav, R. B., & Mishra, S. (2021). Glycemic index of legumes and its significance in human health. *Journal of Nutrition & Metabolism*, 2021, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/6627357>
- Slafer, G. A., Molina-Cano, J. L., Savin, R., Araus, J. L., & Romagosa, I. (Eds.). (2002). *Barley science: Recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality* (665 p.). New York: Food Products Press.
- U.S. Department of Agriculture. (2008). *Lentils, cooked, boiled, with salt – Nutrition Facts and Phytochemical Profile*. USDA National Nutrient Database for Standard Reference.
- Wang, W., & Luthe, D. S. (2003). Heat shock protein expression in plants is regulated by hormone signaling and environmental stress. *Plant Science*, 164(4), 627–635. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00417-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00417-2)
- Wang, Y., Tu, M., He, G., Li, Y., & Chang, J. (2023). Toward exploring and utilizing the nutritional and functional properties of cereal crops. *Foods*, 12(5), 10–12. <https://doi.org/10.3390/foods12051086>
- Yadav, S. S., Redden, R. J., Chen, W., & Sharma, B. (Eds.). (2007). *Chickpea breeding and management*. Wallingford, UK: CABI Publishing.

## Références Bibliographiques

---

## RESUME

Cette recherche a analysé contenu phytochimique et les caractéristiques antioxydantes des céréales (blé dur et orge) et des légumineuses (lentille et pois chiche), cultivées dans deux zones climatiques différentes de l'Algérie : Khenchela (zone semi-aride) et Souk Ahras (zone sub-humide). Des extraits méthanoliques ont été élaborés à partir de graines moulues, et leur composition phytochimique a été examinée en utilisant des méthodes colorimétriques et des tests qualitatifs. L'étude a montré des taux d'extraction variant de 2,04 % à 7,002 %, avec des valeurs supérieures pour les légumineuses, en particulier le pois chiche. L'examen phytochimique a attesté la présence de composés bioactifs comme les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins, les terpénoïdes et les coumarines, alors que l'absence d'alcaloïdes a été constatée dans tous les extraits analysés. Les végétaux cultivés en région semi-aride (Khenchela) ont démontré une concentration plus élevée de métabolites secondaires, indiquant une adaptation aux conditions environnementales difficiles. Des analyses ont révélé des niveaux élevés de polyphénols (atteignant jusqu'à 144 EAG mg/mg E) et de flavonoïdes (jusqu'à 8 EAQ mg/mg E) dans le blé dur et la lentille, alors que le pois chiche a affiché des concentrations notables en tanins (pouvant aller jusqu'à 76,2 EAC mg/mg E), surtout dans les zones sub-humides. Ces fluctuations mettent en évidence l'impact notable du climat et du génotype sur le profil antioxydant des espèces examinées. Cette étude met en évidence le potentiel des céréales et légumineuses algériennes en tant que sources naturelles d'antioxydants, ce qui pourrait avoir des répercussions significatives pour la nutrition, l'agriculture et la santé. Les conclusions offrent des possibilités pour des recherches futures sur les mécanismes moléculaires sous-tendant et les applications pratiques dans un cadre de changement climatique.

**Mots-clés** : Antioxydants, polyphénols, flavonoïdes, tanins, stress abiotique, adaptation climatique.

## **ABSTRACT**

This research analyzed the phytochemical compounds and the antioxidant properties of cereals (durum wheat and barley) and legumes (lentil and chickpea) grown in two distinct climatic zones of Algeria: Khenchela (semi-arid zone) and Souk Ahras (sub-humid zone). Methanolic extracts were prepared from ground seeds, and their phytochemical composition was assessed using colorimetric techniques and qualitative assays. The study showed extraction yields ranging from 2.04% to 7.002%, with higher values observed in legumes, particularly chickpeas. Phytochemical screening confirmed the presence of bioactive compounds such as polyphenols, flavonoids, tannins, terpenoids, and coumarins, while alkaloids were absent in all analyzed extracts. Plants cultivated in the semi-arid region (Khenchela) exhibited higher concentrations of secondary metabolites, indicating an adaptation to harsher environmental conditions. Analyses revealed high levels of polyphenols (up to 144 mg GAE/mg extract) and flavonoids (up to 8 mg QE/mg extract) in durum wheat and lentils, while chickpeas exhibited notable tannin concentrations (up to 76.2 mg CE/mg extract), especially in sub-humid zones. These variations highlight the significant influence of climate and genotype on the antioxidant profiles of the studied species. This study underscores the potential of Algerian cereals and legumes as natural sources of antioxidants, with important implications for nutrition, agriculture, and health. The findings open up prospects for future research into underlying molecular mechanisms and practical applications in the context of climate change.

**Keywords:** Antioxidants, polyphenols, flavonoids, tannins, abiotic stress, climate adaptation

## ملخص

اجريت هذه الدراسة لتحليل المحتوى الفيتوكيميائي الخصائص المضادة للأكسدة للحبوب (القمح الصلب والشعير) والبقوليات (العدس والحمص)، المزروعة في منطقتين مناخيتين مختلفتين في الجزائر: خنشلة (منطقة شبه جافة) وسوق أهراس (منطقة شبه رطبة). تم تحضير مستخلصات ميثانولية من البذور المطحونة، وتم فحص تركيبها الفيتوكيميائي باستخدام طرق لونية واختبارات نوعية. أظهرت الدراسة نسب استخلاص تراوحت بين 2.04% و7.002%، مع قيم أعلى في البقوليات، لا سيما الحمص. أثبت الفحص الفيتوكيميائي وجود مركبات نشطة بيولوجيًا مثل البوليفينولات، الفلافونويدات، التانينات، التربينويدات، والكومارينات، في حين لوحظ غياب القلويدات في جميع المستخلصات المحللة. أظهرت النباتات المزروعة في المنطقة شبه الجافة (خنشلة) تركيزات أعلى من المستقلبات الثانوية، مما يدل على تكيفها مع الظروف البيئية القاسية. كشفت التحاليل عن مستويات مرتفعة من البوليفينولات (حتى 144 ملغ مكافئ حمض الغاليك/ملغ مستخلص) والفلافونويدات (حتى 8 ملغ مكافئ كيرسيتين/ملغ مستخلص) في القمح الصلب والعدس، بينما أظهر الحمص تركيزات ملحوظة من التانينات (قد تصل إلى 76.2 ملغ مكافئ كاتيشين/ملغ مستخلص)، خاصة في المناطق شبه الرطبة. وتبرز هذه التغيرات التأثير الكبير للمناخ والطرز الوراثي على الملف المضاد للأكسدة لأنواع المدروسة. تسلط هذه الدراسة الضوء على إمكانات الحبوب والبقوليات الجزائرية كمصادر طبيعية لمضادات الأكسدة، مما قد تكون له آثار هامة في مجالات التغذية والزراعة والصحة. وتفتح النتائج آفاقًا للبحث المستقبلي في الآليات الجزيئية الأساسية والتطبيقات العملية في ظل التغيرات المناخية.

**الكلمات المفتاحية:** مضادات الأكسدة، البوليفينولات، الفلافونويدات، التانينات، الإجهاد اللاأحيائي، التكيف المناخي،