

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de Technologie  
Département Sciences de la Nature et de la Vie



Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Biochimie  
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie  
Filière : Sciences Biologiques  
Spécialité : Biochimie  
Thème

**Recherche des activités biologiques dans les flocons  
d'Avoine (*Avena sativa*)**

**Présenté Par :**

- 1) Melle. **METTRI** aya
- 2) Melle. **IKHELEF** kawther
- 3) Melle. **KAMBOUCHE** hanene hadil

**Devant le jury composé de :**

**Dr. Mohamed AMARA** MCA UAT.B.B (Ain Temouchent) Président  
**Dr. Farid BENNABI** MCA UAT.B.B (Ain Temouchent) Examineur  
**Dr. Sofiane Mourad BENYAMINA** M C B UAT.B.B (Ain Temouchent) Encadrant

Année Universitaire 2023/2024

# *Remerciement*

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude à Dieu pour nous avoir accordé la force, la patience la clarté d'esprit nécessaire pour mener à bien ce travail.

Une immense gratitude à notre encadrant **Mr. Sofiane Mourad BENYAMINA** pour sa perfection et sa maîtrise du travail, son expertise, et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce mémoire votre mentorat a été essentiel à chaque étape de ce travail.

Nous souhaitons également remercier chaleureusement les membres du jury **Mr. AMARA Mohamed** qui nous a fait l'honneur de présider le jury, ainsi qu'à **Mr. BENNABI Farid** qui a accepté d'examiner notre texte, pour leur temps, leurs précieux commentaires et leur expertise qui ont enrichi ce travail et nous permettre de progresser dans notre réflexion.

Notre remerciements s'adressent également aux professeurs de l'université d'Ain Temouchent pour leur efforts et leur présence tout au long de notre parcours scolaire.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Merci infiniment à vous tous pour votre soutien et votre contribution à la réussite de ce projet.

*Mettri aya*

*Ikhelef Kawther*

*Kembouche Hanane Hadil*

## *Dédicace*

*Je dédier ce travail à moi-même, pour toutes mes efforts, ma patience, mes sacrifices et d'être aussi forte tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*J'ai l'honneur à dédier cet excellent travail à mes **chers parents**, ma source de force et de motivation pour leur amour inconditionnel, leur soutien constant et pour leur sacrifices pendant tout mon cursus scolaire, sans eux je ne pourrais jamais arriver à cette étape, que dieu les gardes et les protèges.*

*A mon cher grand père **TALEB YAHIA** (pais à son âme) à toi qui m'as comblé d'amour, qui m'a toujours encouragé et m'a toujours soutenu pour me voir réussir dans ma vie qu'Allah te fasse miséricorde.*

*A ma cher grand-mère aussi **NIAR YACOUTA** qui a été comme une mère pour moi, qui a pris soin de moi et qui m'as entouré d'amour, de tendresse et de gentillesse, qui m'a soutenu et ne m'a pas oublié dans ses prières.*

*A mon frère **MOHAMED EL AMINE**, ma sœur **HOURIA ALAA***

*A toutes ma famille **METTRI** et **TALEB**, spécialement ma chère tante **TALEB NADIRA** pour son aid et son encouragement.*

*A mes amies proches **SARA** et **NABAHET** pour leur soutien et leur encouragement et pour tous les meilleurs souvenirs que on 'a passer ensemble.*

*À mes chères binômes **HANANE** et **KAWTHER**, pour les beaux jours que nous avons passés ensemble, et qui je les souhaite une vie pleine de joie, de réussite et beaucoup de bonheur.*

*A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.*

*Aya*

## *Dédicace*

*Tout d'abord, je souhaite exprimer ma gratitude envers le bon Dieu, source de toute grâce, pour m'avoir accordé l'intelligence et la vision nécessaires pour atteindre les plus hauts sommets.*

*Je tiens également à me remercier pour mon courage, ma détermination et mes efforts qui ont conduit à cette réussite.*

*Mes sincères remerciements vont à **mes chers parents, IKHELEF ELHADJ ET BELHASSENA ORKIA** pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices incessants et leur soutien indéfectible dans toutes mes décisions.*

*Je souhaite également rendre hommage à ma grand-mère, **BELHASSNA ZAHRA** (que Dieu lui accorde sa miséricorde), pour sa présence constante et ses prières incessantes.*

*A mes grands-parents, **BELHASSNA ABDEL-KADER** et **BELHASSNA KHAIRA** qui ont été un soutien tant matériel que moral pour moi et qui me jamais oublier dans ses prières incessantes.*

*A ma chère sœur, **ANFEL**, ainsi que mes frères, **YOUCEF** et **IBRAHIME**, qui ont été une source de soutien et d'inspiration.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance particulière à mes amis, **HANANE, AYA, MANAR, NABAHET** et **SARA**, pour leur soutien constant, leurs conseils avisés et leur présence bienveillante tout au long de mes années d'études.*

*A quelque un spécial à moi, pour son soutien inébranlable, son inspiration constante et sa présence précieux, tu as été et tu resteras ma source de force et de motivation, **MERCI***

*Kawther*

## *Dédicace*

*Tout d'abord je remercie le bon **Dieu**, le Créateur de l'âme et de la plume, le Créateur de l'atome et de la brise, et le réacteur de tout depuis le néant.*

*A **moi même** d'avoir cru en moi, pour ne jamais arrêter pour avoir toujours été un donateur Et j'essaie de donner plus que ce que je reçois car j'essaie de faire plus de bien que de mal pour être juste moi à tout moment*

*A celui qui m'a appris que le monde est un combat et que son arme est la science et la connaissance. À celui qui ne m'a rien épargné, à celui qui a lutté pour mon confort et ma réussite, à l'homme le plus grand et le plus cher de ma vie, **mon cher père**.*

*A cette femme bien-aimée au cœur pur, à celle que le Très Miséricordieux m'a recommandée dans la droiture et la bonté, à celle qui a lutté et souffert pour moi, à celle dont la supplication a été le secret de ma réussite, **ma mère***

*Au deuxième homme de ma vie avec qui j'ai partagé des moments d'enfance inoubliables et qui a toujours été à mes côtés **mon frère**.*

*À ceux qui ne m'ont pas oublié dans leurs prières et à ceux qui m'ont toujours rendu fier de moi **mes grands-parents**.*

*À mes amis **SARA, NABAHET, MALIKA, SABRINE** avec qui j'ai partagé des moments uniques et inoubliables de mon parcours universitaires.*

*A ceux qui ont été les premiers à m'encourager et à me soutenir mon binôme **AYA et KAWTHER**.*

*À ceux qui se réjouissent de mon succès comme si c'était leur succès avec tout mon amour, je vous dédie mon humble effort.*

*Hanane*

## LISTE DES ABREVIATIONS

% pourcentage

°C degré Celsius

**ADN** Acide désoxyribonucléique

**COX** Cyclooxygénase

**DO** Densité optique

**DPPH** 2,2'-diphényl-1-picryle hydrazyle

**ERN** espèces réactives de l'azote

**ERO** espèces réactives de l'oxygène

**g gramme** mg milli gramme

**H<sub>2</sub>O** Molécule d'eau

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** Peroxyde d'hydrogène

**IC<sub>50</sub>** half-maximal Inhibitory Concentration

**L** litre

**M** mole

**mg** milli gramme

**ml** milli litre

**mm** milli mètre

**mM** milli molaire

**O<sub>2</sub><sup>•-</sup>** l'anion superoxyde

**OH<sup>•</sup>** radical hydroxyl

**pH** potentiel d'Hydrogène

**SOD** superoxyde dismutase

**μL** microlitre

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1 :</b> Illustration de la balance redox en équilibre et en déséquilibre, schéma adapté selon Monaghan et al.,2009 .....	4
<b>Figure 2:</b> mécanismes et réponses inflammatoire selon Muzamil et al., (2022).....	7
<b>Figure 3:</b> Illustration de la réponse immunitaire contre l'infection bactérienne (lallemand, 2017). .....	8
<b>Figure 4:</b> représentation de la liaison de substrat au site actif de l'enzyme (Robinson, 2015) ...	10
<b>Figure 5:</b> <i>Plante d'Avena sativa</i> (Pessoti,2015).....	16
<b>Figure 6 :</b> les graines d'Avena sativa (salgado et al., 2008).....	17
<b>Figure 7:</b> les flocons d'Avena sativa utilisés dans cette étude (A) et leur poudre obtenus après broyage (B).....	19
<b>Figure 8:</b> courbe étalon de la BSA.....	27
<b>Figure 9:</b> courbe étalon de l'H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	28
<b>Figure 10:</b> mise en évidence de l'activité catalasique et de la dégradation de l'H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en fonction de la concentration de la solution des flocons d'Avena sativa (A) : suivi de la disparition de l'H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en fonction de la solution des flocons d'Avena sativa. ....	29
<b>Figure 11 :</b> détermination de l'IC <sub>50</sub> de dégradation de l'H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	31
<b>Figure 12:</b> Courbe étalon du DPPH.....	32
<b>Figure 13:</b> suivi de piégeage de DPPH par les différentes concentrations de la solution des flocons d'Avena sativa (A): suivi de piégeage du DPPH en fonction de la concentration de la solution des flocons d'Avena sativa (B) : pourcentage de piégeage du DPPH par les différentes concentrations de la solution des flocons d'Avena sativa. ....	33
<b>Figure 14:</b> suivi du piégeage du DPPH par les différentes concentrations de l'acide ascorbique (A): suivi du piégeage du DPPH en fonction de la concentration de l'acide ascorbique (B) pourcentage du piégeage du DPPH par les différentes concentrations de l'acide ascorbique.....	34
<b>Figure15:</b> l'IC <sub>50</sub> du piégeage de DPPH (A): piégeage de DPPH par la solution des flocons d'Avena sativa (B): piégeage de DPPH par 'acide ascorbique. ....	35
<b>Figure 16:</b> pourcentage de l'ovalbumine protégée par les différentes concentrations de la solution des flocons d'Avena sativa contre le traitement thermique. ....	37

<b>Figure 17:</b> pourcentages de l'ovalbumine protégée par les différentes concentrations de l'acide acétylsalicylique contre le traitement thermique.....	38
<b>Figure 18:</b> détermination de l'IC <sub>50</sub> de l'inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine (A): protection de l'ovalbumine par la solution des flocons d' <i>Avena sativa</i> (B) : protection de l'ovalbumine par l'Acide acétylsalicylique.....	39
<b>Figure 19:</b> courbe étalon de KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	41
<b>Figure 20:</b> dégradation de l'acide phytique et libération du Pi à 10 et 30 min d'incubation	42
<b>Figure 21:</b> résultats de l'influence du pH sur l'activité phytasique de la solution des flocons d' <i>Avena sativa</i> . .....	43
<b>Figure 22:</b> résultats de l'influence de la température sur l'activité phytasique de la solution des flocons d' <i>Avena sativa</i> . .....	45

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> classification de la plante <i>Avena sativa</i> . .....	15
<b>Tableau 2:</b> la gamme étalon pour la préparation de la courbe étalon de la BSA.....	21
<b>Tableau 3:</b> la gamme étalon pour la préparation de la courbe d'étalon de l'H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	22
<b>Tableau 4:</b> la gamme étalon du DPPH pour la préparation de la courbe étalon.....	23
<b>Tableau 5:</b> la gamme étalon de la solution du KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	26
<b>Tableau 6:</b> Tableau récapitulatif des résultats des activités biologiques des flocons d' <i>Avena sativa</i> .....	47



## *Sommaire*

Remerciements.....	3
<i>Dédicace</i> .....	3
<b>LISTE DES ABREVIATIONS.....</b>	<b>4</b>
<b>LIST DES FIGURES .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>6</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>.....</b>
<b>Synthèse bibliographique.....</b>	<b>2</b>
<b>1 Les propriétés biologiques.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Les propriétés antioxydantes.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Les propriétés anti-inflammatoires .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Les propriétés enzymatiques .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Les différentes sources et provenances des propriétés biologiques .....</b>	<b>13</b>
<b>3 La plante d’avoine et les propriétés biologiques des flocons d’avoine .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 La plante d’avoine (<i>Avena sativa</i>) .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Les flocons d’avoine et leurs propriétés biologiques.....</b>	<b>17</b>
<b>Matériel et Méthodes.....</b>	<b>18</b>
<b>1 Matériel biologique .....</b>	<b>19</b>
<b>2 Préparation de la solution des flocons d’<i>Avena sativa</i> .....</b>	<b>19</b>
<b>3 Dosage des protéines de la solution des flocons d’<i>Avena sativa</i> .....</b>	<b>20</b>
<b>4 Recherche d’activités antioxydantes dans les flocons d’<i>Avenasativa</i> .....</b>	<b>21</b>
<b>4-1- Recherche d’activité catalasiquedans la solution des flocons d’<i>Avenasativa</i>.....</b>	<b>21</b>
<b>4-2-Recherche des capacités de piégeage du DPPH dans la solution des flocons d’<i>Avenasativa</i> .....</b>	<b>22</b>
<b>5 Recherche d’activité anti-inflammatoire dans la solution des flocons d’<i>Avenasativa</i> .....</b>	<b>24</b>
<b>6 Recherche et caractérisation de l’activité phytasique dans la solution des flocons d’<i>Avenasativa</i> .....</b>	<b>25</b>
<b>6-1- Influence de la température sur l’activité phytasique des flocons d’<i>Avenasativa</i> .....</b>	<b>26</b>
<b>6-2- Influence du pH sur l’activité phytasiquedes flocons d’<i>Avenasativa</i> .....</b>	<b>26</b>

<b>Résultats et Discussion .....</b>	<b>27</b>
<b>1 Le matériel biologique.....</b>	<b>28</b>
<b>2 Dosage des protéines de la solution des flocons d’<i>Avenasativa</i> .....</b>	<b>29</b>
<b>3 Recherche d’activitésantioxydantes dans les flocons d’<i>Avena sativa</i> .....</b>	<b>32</b>
<b>3-1- Recherche d’activité catalasique dans la solution des flocons d’<i>Avenasativa</i> ...</b>	<b>32</b>
<b>3-2 Recherche des capacités depiégeage du DPPH dans la solution des flocons d’<i>Avenasativa</i> .....</b>	<b>34</b>
<b>4 Recherche d’activitéanti-inflammatoire dans la solution des floconsd’<i>Avenasativa</i> 2</b>	
<b>5 Recherche d’activités phytasiques dans la solution des flocons d’<i>Avenasativa</i> ....</b>	<b>41</b>
<b>5-1- Influence du pH sur l’activité phytasiquesdes flocons d’<i>Avenasativa</i> .....</b>	<b>42</b>
<b>5-2-Influence de la température sur l’activité phytasique des flocons d’<i>Avena sativa</i> .....</b>	<b>43</b>
<b>Conclusion et Perspective .....</b>	<b>49</b>
<b>Référence Bibliographique .....</b>	<b>50</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>68</b>

# *Introduction générale*

Les différents organismes vivants (plantes, animaux et microorganismes) et ou leur dérivés sont dotés de propriétés biologiques fascinantes et variées (Furst *et al.* 2011.) qui sont essentielles à leur croissance, leur reproduction, leur défense et pour le maintien de leur homéostasie cellulaire (Arulselvan *et al.*, 2016). Parmi ces propriétés biologiques on peut citer : les propriétés antioxydantes, les propriétés anti-inflammatoires et les propriétés enzymatiques.

Les humains ont toujours cherché à exploiter ces propriétés pour répondre à leurs besoins de santé et de nutrition (Singh *et al.* 2017) et elles sont utilisées dans divers processus comme par exemple, les propriétés enzymatiques peuvent être exploitées dans divers processus biotechnologiques, pharmaceutiques et alimentaires (Singh *et al.* 2013).

Bien que ces composés naturels sont remplacées au fil du temps par d'autres propriétés chimiques et synthétiques, ces dernière années plusieurs études et recherches sont en cours de découvrir de nouvelles ressources de propriétés biologiques comme des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et enzymatiques (Singh *et al.*, 2017 ; Martinez *et al.*,2018).

Depuis des siècles, les plantes ou leurs dérivés sont considérés comme une riche source de composés dotés de nombreuses activités biologiques (Famuyide *et al.* 2019), et peuvent être utilisés comme des agents thérapeutiques efficaces dans le traitement des maladies inflammatoires, infectieuses et d'autres types de maladies (Newman *et al.*, 2007).

Par exemple la plante d'avoine (*Avena sativa*) est cultivée dans le monde entier et ses flocons sont largement utilisés et considérés comme une source importante de protéines, de minéraux, de lipides, du  $\beta$ -glucane, des fibres alimentaires et contiennent également divers autres phytoconstituants comme les avenanthramides, flavonoïdes, flavonolignanes, saponines (Emmons *et al.*,1999) qui sont dotés de propriétés antitumorale, diurétique, antidiabétique, antifongiques et antioxydantes (Singh *et al.*,2013).

Vu l'importance de cette plante, l'objectif de notre travail est de rechercher des propriétés biologiques antioxydantes (activité catalasique et anti-radicalaires), anti-inflammatoires (inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine) et enzymatiques (activité phytasique) dans les flocons d'*Avena sativa*.

# *Synthèse Bibliographique*

## **1 Les propriétés biologiques**

La nature est une source riche et fascinante de produits naturels dotés d'une diversité de propriétés biologiques (Furst *et al.*, 2011). Ces propriétés biologiques telles que les propriétés antioxydantes (Arulselvan *et al.* 2016), anti-inflammatoires (Hasanuzzaman *et al.* 2020) et enzymatiques (Kingsley et Lill, 2015) sont très importantes dans une multitude de secteurs présentant un intérêt pour l'être humain comme par exemple la nutrition, l'agriculture, l'industrie et la santé (Singh *et al.*, 2017).

Les propriétés biologiques issues des produits naturels peuvent être récupérées de différents organismes vivants ; les animaux (Costa-Neto *et al.*,2005), les végétaux (Bortolini *et al.*,2022), et les microorganismes (Newman *et al.*, 2007).Ces propriétés biologiques peuvent être récupérés directement à partir des organismes vivants ou à partir de leurs dérivés comme par exemple les huiles essentielles (Walid *et al.*,2022), et elles peuvent être issues des métabolites primaires (Demain, 1999) ou des métabolites secondaires (Vézina *et al.*,1975).

Dans le secteur de la santé, ces propriétés biologiques issues des produits naturels ont prouvé leur efficacité au fil des siècles dans la médecine traditionnelle (Newman *et al.*, 2007) et elles ont été beaucoup utilisées pour traiter et soulager des maladies (Costa-Neto,2005), ce qui a permis aux chercheurs et scientifiques de développer de nouvelles thérapies par de molécules biologiques extraites des produits naturels (Arulselvan *et al.*, 2016). Les propriétés les plus recherchées pour le secteur de la santé sont les propriétés anti oxydantes (Arulselvan *et al.*, 2016), antimicrobiennes (Singh *et al.*,2016) et antiinflammatoires (Hasanuzzaman *et al.*,2020).

En plus de leur intérêt dans le domaine de la santé, les propriétés biologiques sont aussi utilisées dans d'autres industries comme l'industrie de l'alimentation humaine et animale, l'industrie du cuir, l'industrie des textiles (Gurung *et al.*, 2013) et l'industrie du cosmétique (Schueller et Romanowski, 2002).

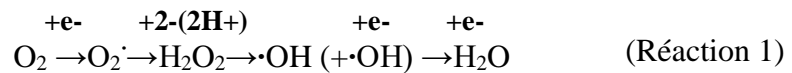
Les propriétés les plus utilisés dans le secteur industriel sont par exemple les propriétés antimicrobiennes, antiparasitaires, propriétés enzymatiques et antioxydantes (Singh *et al.*,2017 ; Martinez *et al.*,2018).

En raison de leur importance au niveau cellulaire et industriel, plusieurs études recherche ont été effectuées sur les propriétés biologiques chez les différents organismes vivants. Parmi les propriétés biologiques importantes on peut citer :

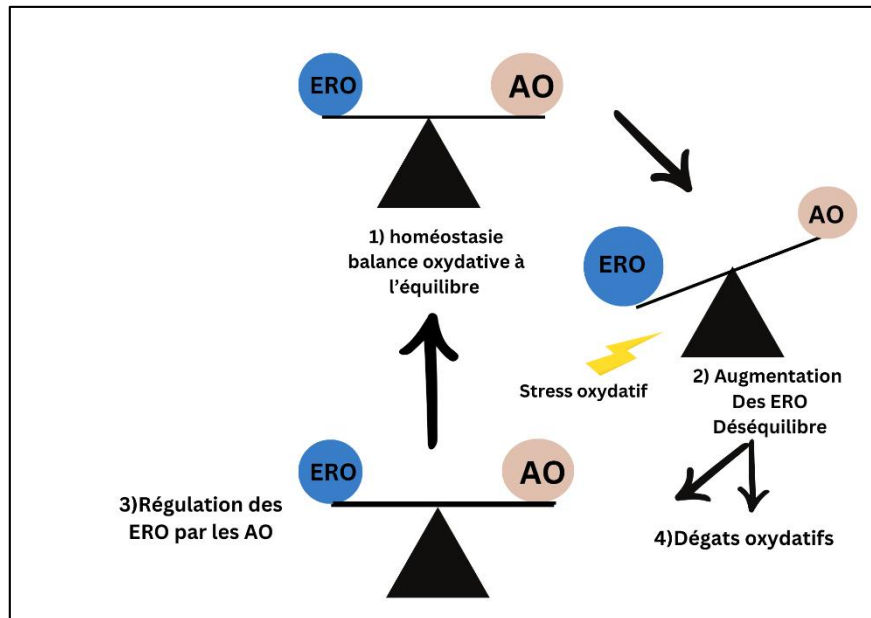
### **1.1 Les propriétés antioxydantes**

La respiration est un processus essentiel à la survie des différents organismes vivants. Dans les cellules de ces organismes vivants, des dérivés de l'oxygène appelés les radicaux libres sont produits *via* la chaîne respiratoire au cours des réactions métaboliques endogènes (Poyton *et al.*, 2009 ; Reuter et Ball, 2010). Les radicaux libres sont des molécules instables qui portent des électrons non appariés et hautement réactifs (Poyton *et al.*, 2009).

Les radicaux libres regroupent les espèces réactives de l'azote (ERN) (Molassiotis et Fotopoulos, 2011) et les espèces réactives de l'oxygène (ERO) (Wang *et al.*, 2022), les ERN sont produites à partir de l'oxyde nitrique (NO), généré par la chaîne respiratoire. (Molassiotis et Fotopoulos, 2011). Les ERO : l'anion peroxyde d'oxygène moléculaire ( $O_2^{\cdot-}$ ), le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) et le radical hydroxyle ( $OH^{\cdot}$ ) sont produites par la réduction tétravalente de l'oxygène en eau, (voir réaction 1) lors du processus respiratoire (Khan et Khan, 2017; Al Mahmud *et al.*, 2019).



La génération d'ERO est un processus physiologique qui est équilibré par le système de défense antioxydant (Poyton *et al.*, 2009). Cependant, dans le cas d'un déséquilibre entre la formation des ERO et le système de défense antioxydant endogènes, il peut y avoir l'apparition d'un stress oxydatif (Bhatia *et al.*, 2003), comme le montre la Figure 1.



**Figure 1 :** Illustration de la balance redox en équilibre et en déséquilibre, schéma adapté selon Monaghan *et al.*, 2009

Le stress oxydatif peut entraîner des modifications et endommagement des macromolécules importantes, notamment l'ADN, conduisant à l'oxydation des bases et du désoxyribose (Brieger *et al.* 2012), les protéines, en modifiant ces structures ce qui peut altérer leurs fonctions, en raison de leur repliement incorrect, les lipides, en conduisant à une peroxydation lipidiques (Al Mahmud *et al.*, 2019).

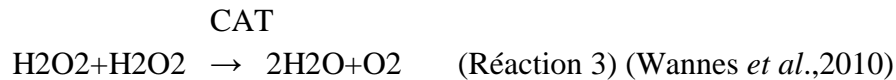
Cette oxydation des molécules biologiques peut conduire à une perturbation des mécanismes cellulaires et un dysfonctionnement ce qui peut entraîner la mort cellulaire (Hsueh *et al.*, 2022).

Lorsqu'une suraccumulation de ERO se produit, un système de défense complexe se déclenche afin d'assurer un équilibre des antioxydants et ces radicaux libres (Bhatia *et al.*, 2003).



Les antioxydantes est un terme utilisé pour décrire toute substance qui retarde ou empêche l'oxydation des biomolécules (Halliwell, 2015) Les antioxydants peuvent être enzymatiques ou non-enzymatiques, de sources naturels ou synthétiques, endogènes ou exogènes (Mirończuk-Chodakowska *et al.*, 2018).

- 1) Les antioxydants enzymatiques qui permettent la catalyse de la réduction des molécules oxydées tels que la superoxydedismutase (SOD) (voire Réaction 2), la catalase (CAT) (voire Réaction 3), l'hème oxygénase (HO) et la glutathion peroxydase (GPX) (Brieger *et al.*, 2012).



Les enzymes appartenant à la famille des peroxydases, comme la GPX (voire Réaction 4), sont également capables de neutraliser les hydroperoxydes lipidiques (Lushchak, 2014).



- 2) Les antioxydants non enzymatiques sont aussi impliqués dans le système de défense antioxydant comme par exemple l'acide ascorbique (vitamine C) qui représente un puissant donneur d'électrons pour les radicaux libres, les anions superoxydes, les radicaux hydroxyles et peroxydes (Mehla *et al.*, 2021). Il existe d'autres antioxydants non-enzymatiques comme le glutathion, (GSH), les acides phénoliques, alcaloïdes, flavonoïdes, caroténoïdes (Hasanuzzaman *et al.*, 2012). Le GSH est considéré comme une première ligne de défense contre les ERO (Pizzorno, 2014) due à son pouvoir réducteur élevé (Roychoudhury *et al.*, 2012), comme le montre la réaction suivante :

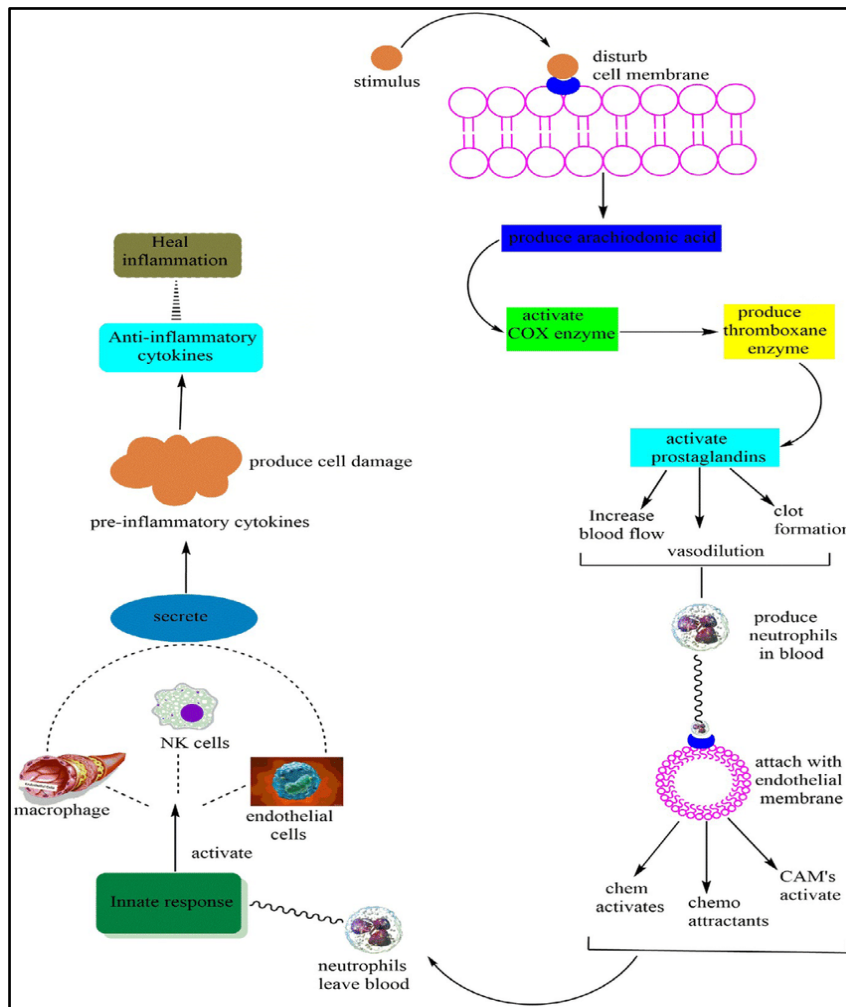


## **1.2 Les propriétés anti-inflammatoires**

L'inflammation est la principale réponse biologique de l'organisme, contre des infections causées par des agents infectieux (bactéries, virus et autres microorganismes) (Lawrence et Fong, 2010) ou des agents physiques (les traumatismes, les radiations...) ou chimiques (les toxines, les irritants chimiques...) (Chen *et al.*, 2020), afin de maintenir l'homéostasie tissulaire et assurer le processus de défense et de guérison (Pahwa *et al.*, 2018).

Le mécanisme de l'inflammation représente une chaîne de réponses organisées et dynamiques comprenant des événements cellulaires et vasculaires dans laquelle une variété de médiateurs chimiques sont synthétisés et sécrétés par les cellules de défense immunitaire (Dalli *et al.*, 2017)

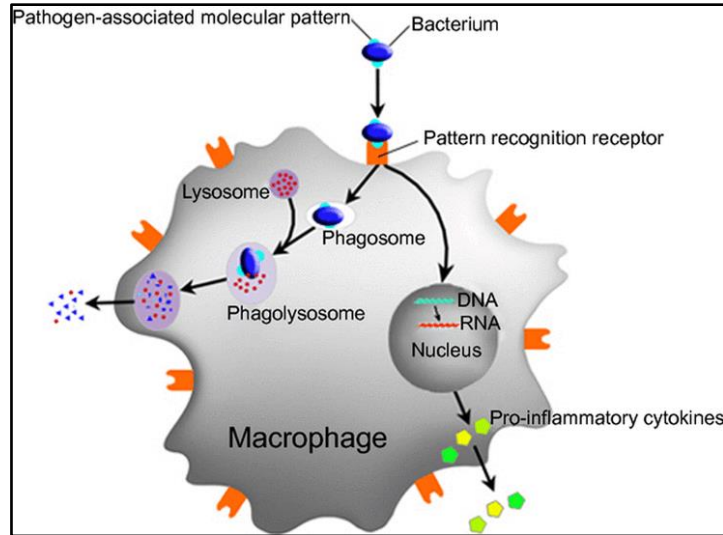
La réaction inflammatoire se caractérise tout d'abord par la vasodilatation et l'augmentation de la perméabilité des vaisseaux sanguins ce qui permet la migration des cellules immunitaires tel que les neutrophiles et les macrophages vers le site d'inflammation (Arulselvan *et al.*, 2016), et la libération des substances inflammatoires; des eicosanoïdes (les thromboxanes, les leucotriènes et les prostaglandines). (Halliwell et Gutteridge, 2015) des médiateurs majeurs générés à partir de l'acide arachidonique (AA) qui est une fois libéré par la membrane cellulaire sera transformé par l'action de la cyclooxygénase (COX) en prostaglandines (PG) et en enzyme thromboxane (Jayesh *et al.*, 2020) (Figure 2).



**Figure 2:** mécanismes et réponses inflammatoire selon Muzamil *et al.*, (2022)

D'autres médiateurs aussi importants dans le processus inflammatoire telles que les amines vasoactives (l'histamine et la sérotonine), les peptides (la bradykinine) (Halliwell et Gutteridge, 2015), les cytokines ('interleukine-1 et le TNF-alpha) sont produites par les cellules immunitaires (Arulselvan *et al.*, 2016).

Par exemple lors d'une infection bactérienne, les agents pathogènes bactériens sont reconnus via les récepteurs du système immunitaire inné de type Toll (TLR) qui sont exprimés dans les macrophages qui stimulent la génération de cytokines inflammatoires (TNF-  $\alpha$ , IL- 1 $\beta$  et IL-6), les chimiokines et la prostaglandine E2 (PGE2) qui vont réagir ensuite sur les tissus cibles (Pecchi *et al.*, 2009) (Figure3).



**Figure 3:** Illustration de la réponse immunitaire contre l'infection bactérienne (lallemand, 2017).

La réponse inflammatoire est déclenchée en deux phases : aiguë et chronique, chacune d'entre elle est déclenchée par un mécanisme différent (Serhan *et al.*, 2015)

L'inflammation aiguë est une procédure courte, qui dure entre quelques minutes à quelques jours, elle est causée, entre autres, par une infection, un traumatisme ou une blessure, et peuvent être éliminés par les médiateurs inflammatoires du système immunitaire (Anderton *et al.*, 2022).

Cependant, l'inflammation chronique est reconnue comme une réponse adaptative produite généralement lorsque les réponses inflammatoires se produisent en l'absence de stimulus réel (Arulselvan *et al.*, 2016) comme par exemple celles produites par des infections qui n'ont pas été résolues par des mécanismes de défenses de l'hôte (Cutolo *et al.*, 2019).

Bien que l'inflammation représente un mécanisme de défense crucial pour la restauration de l'homéostasie des tissus de l'hôte (Perretti *et al.*, 2015), une inflammation prolongée ou incontrôlée se traduit progressivement par diverses pathologies chroniques (Muzamil *et al.*, 2022). telles que des lésions tissulaires (Cutolo *et al.*, 2019), du diabète, des maladies auto-immunes et cardiovasculaires (Grivennikov *et al.*, 2010). Les inflammations peuvent être éliminées par l'utilisation de nombreux types d'anti-inflammatoires : des anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) ou stéroïdiens (AIS)

naturelles ou synthétiques, ces anti-inflammatoires sont des substances importantes pour l'inhibition de l'inflammation incontrôlée et atténuer ainsi les conséquences d'affections associées (Rao et Knaus, 2008).

Les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), tels que l'aspirine (Satani *et al.*, 2019), kétoprofène, diclofénac (Gupta *et al.*, 2019), sont les plus couramment utilisés pour leur action d'inhibition de la COX responsable de la production de prostaglandines et de thromboxanes, qui sont considérés comme des médiateurs inflammatoires (Pereira-Leite *et al.*, 2017).

Les anti-inflammatoires stéroïdiens (AIS) (glucocorticoïdes) tels que la dexaméthasone, la prednisone (Aregbesola *et al.*, 2023) et l'hydrocortisone qui réduisent la synthèse des prostaglandines (PG) et d'autres protéines inflammatoires (Le Bourvellec *et al.*, 2019).

Bien que l'action rapide et efficace de ces anti-inflammatoires synthétiques, nombreux effets indésirables ont été rapportés (Pahwa et Jalal, 2019). À cet égard, la recherche s'est portée sur la recherche de produits naturels, notamment chez les plantes médicinales, qui sont considérées comme les plus prometteuses pour être utilisées comme des agents thérapeutiques et anti-inflammatoires (Moriasi *et al.*, 2021).

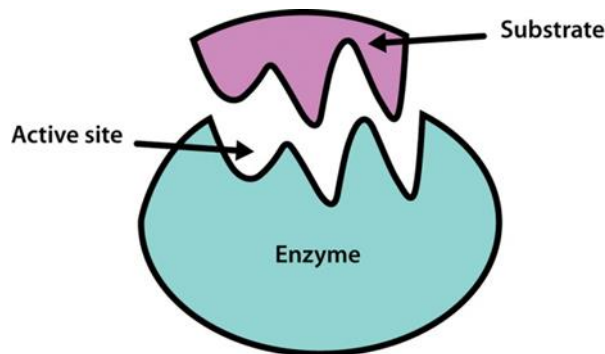
### **1.3 Les propriétés enzymatiques**

Les enzymes sont des catalyseurs biologiques de nature protéique (également appelés biocatalyseurs) (Furukawa *et al.*, 2020) qui accélèrent les réactions biochimiques des organismes vivants sans être elles-mêmes consommées ou altérées pendant la réaction (Agarwal, 2019).

Les enzymes (E) sont capables de catalyser la conversion de molécules de substrat (S) en molécules de produit (P) (Cooper, 1999) comme le montre la réaction suivante :



La liaison du substrat à l'enzyme se fait dans une petite zone connue sous le nom de site actif (Robinson, 2015) (Figure 4).



**Figure 4:** représentation de la liaison de substrat au site actif de l'enzyme (Robinson, 2015)

Cependant, ce sont les propriétés de forme et de charge du site actif qui permettent aux enzymes de se lier à un seul type de molécule de substrat, de sorte que l'enzyme est capable de démontrer une spécificité considérable dans son activité catalytique (cooper, 1999).

Les enzymes sont des molécules importantes dans les processus biologiques chez les différents organismes vivants (les animaux, les végétaux et chez les microorganismes) (Robinson,2015) telles que la glycolyse qui fait intervenir des enzymes comme par exemple l'hexokinase, la lactate deshydrogénase, l'aphosphoglycérate kinase, la pyruvate kinase(Chandel,2021),la digestion qui fait intervenir des enzymes comme par exemple la trypsine, la chimotrypsine, les lipases, les phospholipases, la maltase (Karasov et Douglas,2013), la réplication et la transcription de l'ADN qui font intervenir des enzymes comme par exemple l'ADN et l'ARN polymérase, l'hélicase, l'ADN ligase (Koonin *et al.*,2020).

En plus de leur rôle au niveau cellulaires, les enzymes représentent aussi des propriétés importantes qui leur permettent d'être utilisés dans divers domaines industriels par exemple les  $\alpha$ -amylases utilisées pour la conversion de l'amidon en glucose ou en dextrans dans l'industrie agroalimentaire (Dossat-Letisse *et al.*, 2023) et les protéases alcalines utilisées dans l'industrie des détergents et des lessives (Robinson,2015). En industrie pharmaceutique, les enzymes sont

aussi utilisées par exemple dans la synthèse des agents thérapeutiques comme la synthèse des antimicrobiens par les pénicillines amylases (Avinash *et al.*,2015) ou encore l'asparaginase qui est utilisées en chimiothérapie anticancéreuse (Kurakula *et al.*,2021).

Bien que les enzymes sont des catalyseurs efficaces, divers facteurs environnementaux peuvent affecter la vitesse des réactions catalysées par des enzymes telles que les changements du pH et de la température (cooper, 1999), cependant chaque enzyme à un optimum de réaction à un pH et à une température donnée (Agarwal, 2019).

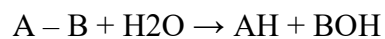
De plus, des changements de la conformation de la structure d'une enzyme peuvent avoir une influence sur sa fonction (Robinson,2015) puisqu'il existe une grande relation entre la structure de l'enzyme et sa fonction (Ouzounis *et al.*,2003).

Ces enzymes sont classées, en fonction de leur réaction de transformation du substrat en produit, par le système numérique de la Commission des enzymes de l'Union internationale de biochimie et de biologie moléculaire (EC-UIBMB) en 7 classes principales (Rawlings, 2020), par un code EC (pour Enzyme Commission). Ces 7 classes sont comme suit : les oxydo-réductases (EC1), les transférases (EC2), les hydrolases (EC3), les lyases (EC4), isomérases (EC5), les ligases (EC6), et récemment, une nouvelle classe, les translocases (EC7), a été ajoutée (McDonald et Tipton, 2023).

Parmi celle-ci, la classe des hydrolases représente une importance industrielle, en raison de leur importance et leur diversité (Shukla *et al.*,2022).De plus, 75 % de toutes les enzymes industrielles sont des enzymes hydrolytiques (Bornscheuer et Kazlauskas,2006).

Par exemple les carboxylases, amylases, cellulases, protéases et les lipases sont les hydrolases les plus utilisées en industries comme l'industrie alimentaire (humaine et animale), l'industrie du cosmétique (Kocabaş *et al.*,2022), l'industrie de cuir, de textiles, du papier (Shukla *et al.*,2022) et en industrie pharmaceutiques (Meghwanshi *et al.*,2020).

Les enzymes de classe des hydrolases, sont des enzymes qui catalysent les clivages de liaisons par réaction avec l'eau (voir réaction) (Rodriguez *et al.*,2019).



**A-B** : substrat

**AH + BOH** : produit après coupure hydrolytique de liaison

Les phosphatases telles que les phytases sont un type spécifique d'hydrolases qui catalysent la rupture des liaisons phosphoesters, libérant ainsi du phosphate inorganique à partir de divers substrats (Singh et Satyanarayana, 2011).

Les phytases sont parmi les hydrolases les plus importantes, en raison de leur rôle crucial dans le cycle du phosphore qui est un élément essentiel pour la croissance et le développement des organismes vivants (Abbasi *et al.*, 2019). Les phytases présentent certaines caractéristiques comme par exemple leur spécificité de substrat et leur stabilité dans les conditions environnementales variées (Madsen et Brinch-Pedersen, 2019).

Cette famille de phosphatases (myo-inositol hexakisphosphate 3-,6- et 5-phosphohydrolase) hydrolyse progressivement le phytate (IP6, myoinositol-(1,2, 3, 4, 5,6)-hexakisphosphate) ce qui permet de fournir du phosphate (P) selon la réaction suivante :

Acide phytique + 6 H<sub>2</sub>O → inositol + 6 O=P(OH)<sub>3</sub> (Réaction 6) (Greiner et Konietzny, 2006).

Les phytases sont largement distribuées dans la nature et pourraient provenir de plusieurs sources, notamment de plantes, d'animaux et de microorganismes (Sharma *et al.*, 2019). Cependant, ces phytases sont beaucoup plus détectées chez les espèces végétales telles les céréales, les noix, les légumineuses et les graines oléagineuses (Prakash et Balaji, 2017) pour la raison que l'acide phytique est la principale forme de stockage du phosphore dans les céréales, les légumineuses, les graines oléagineuses et les noix (Sharma *et al.*, 2019). L'acide phytique chélate les micronutriments et les empêche d'être biodisponibles pour les animaux monogastriques, y compris les humains, en raison de l'absence des enzymes phytases dans leur tube digestif (Handa *et al.*, 2020). Cependant plusieurs industries agro-alimentaires, ont développé des produits en utilisant les phytases comme additif alimentaire afin de réduire la teneur en acide phytique des aliments et améliorer ainsi leur valeur nutritionnelle (Gupta *et al.*, 2015).

En plus des propriétés mentionnées précédemment, la nature est caractérisée par plusieurs autres propriétés importantes, comme par exemple des propriétés antimicrobiennes



(Cowan,1999), anticancéreuses, anesthésiques (Huang *et al.*, 2021), antidiabétiques (Kury *et al.*, 2022), antidépressives (Cipriani *et al.*, 2009).

Ces propriétés biologiques sont largement présentes dans les différentes sources d'organismes vivants, chez les animaux (Mahawar et Jaroli,2006 ), les microorganismes (Singh *et al.*,2017) et chez les plantes (Suzuki *et al.*,2009).

## **2 Les différentes sources et provenances des propriétés biologiques**

Les animaux et les produits d'origine animale (par exemple, le lait, la graisse, etc.), sont beaucoup utilisées comme agents thérapeutiques en raison des propriétés biologiques qu'ils contiennent comme les propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes, antimicrobiennes et anticancéreuses (Alves et Alves, 2011). Ils sont aussi utilisés en industrie en raison de leurs propriétés enzymatiques (Alves et Rosa, 2005).

Parmi les produits d'origine animale, il y a par exemple les protéines du lait des mammifères, comme la caséine, la  $\beta$ -lactoglobuline, le lysozyme, la lactoferrine sont largement utilisées en industries cosmétiques pour fabrication des crèmes anti-âge et des lotions dotées des propriétés antioxydantes, et en industrie pharmaceutiques, comme des produits pour le traitement des maladies dermatologiques (Kazimierska et Kalinowska-Lis,2021). D'autres dérivés d'espèces aussi peuvent être utilisées pour leurs propriétés biologiques comme par exemple, l'huile et gélatine de poisson, le chitosane issue des crustacés, la cire d'abeille, la lécithine dérivée du jaune d'œuf du poulet et d'autres dérivés peuvent être utilisées pour leurs propriétés antiallergiques et antimicrobiennes (Ismail *et al.*, 2020).

Aussi, les microorganismes sont considérés comme une source importante des propriétés biologiques(Dixit et Suseela,2013) telles que des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antifongiques et anti-cancéreuses utilisées en industrie agroalimentaire, en industrie de textile et en cosmétiques(Gislin *et al.*,2018).Par exemple, les métabolites secondaires notamment des peptides, des polycétides, des alcaloïdes, des lipides issus des cyanobactéries ont prouvé leurs capacités antibactériennes, antifongiques, anticancéreuses et anti-inflammatoires(Shah *et al.*,2017). Aussi, les microorganismes telles que les bactéries, les levures et les champignons représentent une énorme diversité de propriétés enzymatiques.

telles que les protéases, les lipases et les carbohydrases (Liu et Kokare,2023) cependant, parmi celles-ci, les protéases microbiennes représentent les deux tiers du total des enzymes utilisées dans les industries, comme les kératinases et les collagénases, qui jouent un rôle central dans le domaine de la gestion des déchets et du contrôle de la pollution (Bhagwat et Dange 2018 ; Razzaq *et al.* 2019 ; Yusuf *et al.*2019).

Bien que les animaux et les microorganismes sont des sources importantes de propriétés biologiques, les plantes et leur dérivé constituent la majorité des utilisations en raison de leur disponibilité et leur diversité (Newman et Cragge,2013).Les plantes sont utilisées dans la plupart des applications aux niveau thérapeutique due à leur propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires comme par exemple dans le traitement des maladies respiratoires et maladies dermatologiques (Liu et Kokare,2023).

Ces propriétés sont souvent attribuées à la synthèse des métabolites secondaires plus présentes dans les plantes comme les alcaloïdes, flavonoïdes, et les phénols par exemples les composés phénoliques des plantes sont classés comme huiles essentielles et sont également souvent cités comme antimicrobiens telles que l'eugénol présent dans l'huile de clou de girofle (cowan ,1999).

Aussi il est noté que les plantes présentent des propriétés enzymatiques largement utilisées en industrie alimentaires comme par exemple les herbes et les épices font partie des composés naturels actuellement utilisés comme conservateurs alimentaires, qui contiennent des composés aux propriétés antioxydantes et antimicrobiennes marquées(Aminlari,2022).

En plus, diverses enzymes et protéines végétales issue des espèces de plantes sont utilisées dans l'industrie alimentaire, telles que la phénylalanine ammoniacale lyase des semis de blé, aussi, des protéines végétales notamment les protéines de légumineuses (pois, lentilles, pois chiches et haricots) et les protéines du canola, du tournesol, de la pomme de terre, du riz et de l'avoine, sont dotées de propriétés importantes telles que des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes (Ibrahim et Jöudu, 2021).

Ces propriétés biologiques peuvent être présentes dans diverses parties de la plante, telles que les feuilles, les tiges, les racines, les fruits ou les graines (Andreana *et al.*,2019).

Parmi ces végétaux, l'avoine et son espèce (*Avena sativa*) une plante importante au niveau économiques (Xu *et al.*, 2021) et qui se distingue en raison de ses nombreuses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antifongiques et bien d'autres (Tripathi *et al.*,2018).

L'avoine fait partie des céréales essentielles et de plus en plus reconnue comme un aliment important en raison de la présence de multiples substances bénéfiques (Zhang *et al.*, 2023). Ses métabolites secondaires sont largement utilisés en nombreux domaines industriels, comme le domaine alimentaire, pharmaceutique et cosmétique (Ibrahim *et al.*, 2020).

### **3 La plante d'avoine et les propriétés biologiques des flocons d'avoine**

#### **3.1 La plante d'avoine (*Avena sativa*)**

L'avoine (*Avena sativa*) est une plante annuelle appartenant à la famille des *Poaceae* et au genre *Avena* (Salgado *et al.*,2008) (Tableau 1). La plante d'*Avena sativa* est la sixième culture céréalière la plus importante et largement cultivée par l'Union Européenne, suivie du Canada, de la Russie, de l'Australie, des États-Unis et du Brésil (Zhang *et al.*, 2023).

**Tableau 1:**classification de la plante *Avena sativa* selon (salgado *et al.*,2008).

<b>Règne</b>	<i>Plantae</i> (Plante)
<b>Division</b>	<i>Magnoliophytæ</i> (plantes à graines)
<b>Classe</b>	<i>Liliopsida</i> (monocotylédones)
<b>Ordre</b>	<i>Cyperales</i>
<b>Famille</b>	<i>Poaceae</i> (famille des graminées)
<b>Genre</b>	<i>Avena</i> (avoine)
<b>Espèce</b>	<i>Avena sativa</i> L.

Le genre *Avena* comprend une quinzaine d'espèces avec des propriétés biologiques importantes telle que *Avena abyssinica* ; *Avena barbata* ; *Avena brevis* ; *Avena fatua* et d'autres (Salgado *et al.*, 2008).

L'espèce *Avena sativa* est la plus connue et la plus cultivée et la plus utilisée dans le monde (Ploschuk *et al.*, 2020) du fait de ses nombreux avantages économiques dans divers secteurs et ses avantages nutritionnels pour les humains et animaux ainsi que ses avantages dans les industries pharmaceutiques et cosmétiques (Tripathi *et al.*, 2018).

La plante d'avoine (Figure 5) est une plante de grande taille, avec une longueur de 30 à 150 centimètres de hauteur (Salgado *et al.*, 2008), elle comporte une tige constituée d'une série de nœuds et d'entre-nœuds avec des feuilles d'environ 5 à 20 millimètres de large (Tripathi *et al.*, 2018).



**Figure 5:** *Plante d'Avena sativa* (Pessoti, 2015).

Les graines d'*Avena sativa*, sont de forme ovales avec une longueur d'environ 5 à 7 millimètres et une largeur d'environ 2 à 3 millimètres, généralement de couleur beige à brun clair (Loskutov *et al.*, 2021) (Figure 6), elles sont composées de trois structures : le son, l'endosperme et le germe (Robards *et al.*, 2009).



**Figure 6 :** les graines d'*Avena sativa* (salgado *et al.*, 2008)

Du fait de leur richesse en micronutriments essentielles, les graines d'avoine, une fois récoltées sont transformées en différents produits pour diverses utilisations en industries agroalimentaires, pharmaceutiques ou cosmétiques (Tripathi *et al.*, 2018).

### **3.2 Les flocons d'avoine et leurs propriétés biologiques**

Les flocons d'avoine sont l'un des produits issus de la transformation des graines qui se fait par décortilage des graines. Ces graines après qu'elles soient décortiquées sont ensuite chauffées avant qu'elles passent au processus de laminage pour devenir des flocons prêts d'être utilisés (Šmídová et Rysová, 2022). Les flocons d'avoine représentent une riche source de micronutriments, de protéines, d'acides gras insaturés, de vitamines, de composés phénoliques et de quantités importantes de fibres alimentaires, contribuant aux effets bénéfiques sur la santé (Marshall *et al.*, 2013 ; Singh *et al.*, 2013 ; Menon *et al.*, 2016 ). Les  $\beta$ -glucanes présents dans les flocons d'avoine, sont des fibres alimentaires avec un potentiel anticancéreux connu pour la réduction des agents responsables du cancer du côlon, aussi ils interviennent dans la réduction significative du taux de cholestérol sanguin et la pression artérielle (Sang et Chu, 2017). De plus, d'autres fibres alimentaires de type Beta-D-glucane des flocons d'*Avena sativa* ont des propriétés régulatrices sur la glycémie et également sur le taux de cholestérol sanguin et des propriétés anti-inflammatoires (Tripathi *et al.*, 2018).

D'autres molécules telles que les lipides, sont également présentes dans les flocons d'avoine et qui sont composés d'acides gras mono-insaturés tels que l'acide oléique et polyinsaturés les omega-6 et omega-3 en particulier l'acide alpha-linolénique (ALA) (Sang et Chu, 2017) et sont associés à des effets anti-inflammatoires importants (Tripathi *et al.*, 2018).

Aussi, il est à noter que d'autres composés phénoliques présents dans les flocons d'avoine tels que les avenacines et les avenacosides ont également démontré des activités antifongiques et antimicrobiennes (Salazar-Magallón et Huerta de la Peña, 2020).

Les flocons sont également riches en antioxydants et en polyphénols, à savoir les saponines, la vitamine E, la vitamine B<sub>1</sub>, la vitamine B<sub>2</sub>, les flavonoïdes, les stérols et les avenanthramides (Robards *et al.*, 2009). Ces composés bioactifs se caractérisent par des propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et anti-fongiques qui présentent de nombreux intérêts dans des domaines industriels tels que le domaine du cosmétique (Tripathi *et al.*, 2018).

Aussi, les flocons d'avoine sont caractérisés par des propriétés enzymatiques importantes pour être utilisés dans la production alimentaires humaines ou animales (Šmídová et Rysová, 2022), comme par exemple les lipases (Xiang *et al.*, 2022), les amylases (Wei *et al.*, 2021) les protéases (Boukid, 2021), et les glucanases (Mäkelä *et al.*, 2021).

Aussi, les flocons d'avoine possèdent des phytases (décrites précédemment), qui sont des enzymes importantes pour la dégradation de l'acide phytique (Tripathi *et al.*, 2018) qui est le composé majeur responsable de la rétention du fer et du zinc (Hwnag *et al.*, 2020) causant des problèmes de digestion chez les animaux monogastrique et l'être humain (Gasparis *et al.*, 2015).

En raison de ces importances biologiques, pharmacologiques et industrielles des flocons d'avoine, l'objectif de notre travail est de rechercher des activités antioxydantes, anti-inflammatoires et enzymatiques dans les flocons d'*Avena sativa*.

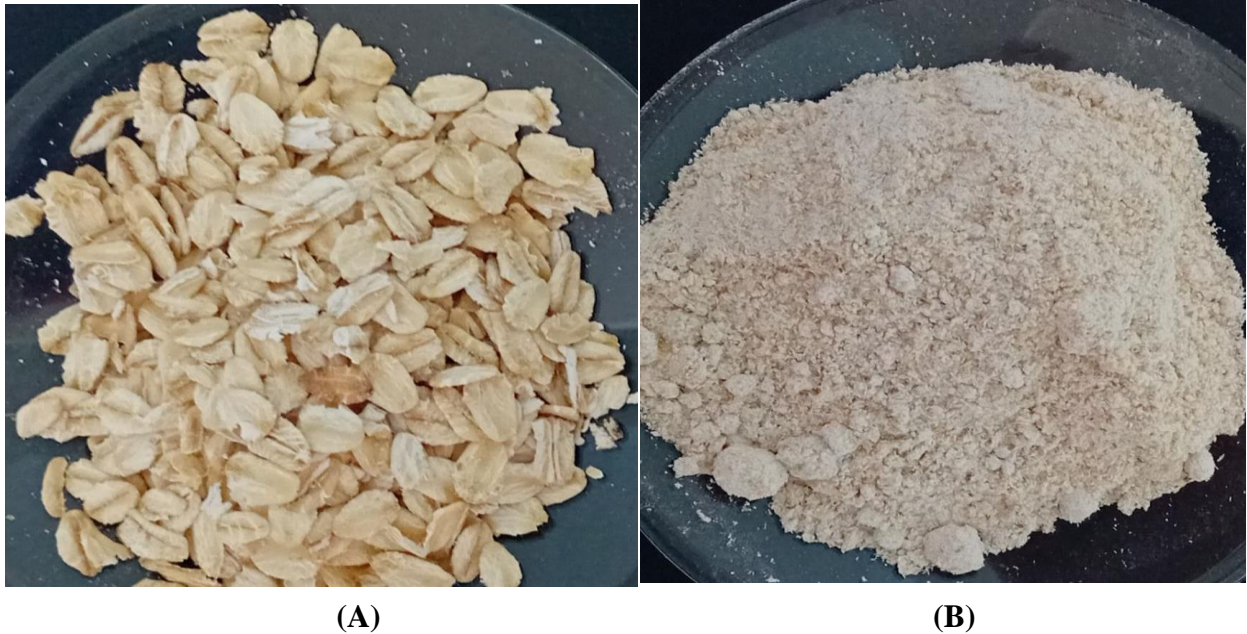
# *Matériel Et Méthodes*

Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire de Biochimie de l'Université Belhadj Bouchaib – Ain Temouchente durant le second semestre du Master 2 de l'année universitaire 2023/2024.

Ce travail a pour but de rechercher des activités biologiques au niveau des flocons d'*Avena sativa* (les flocons d'avoine).

## 1 Matériel biologique

Les flocons d'*Avena sativa* (Figure7A), ont été achetés au niveau du commerce de la ville d'Ain-Temouchent, ensuite ils ont été broyés pour être utilisés sous forme de poudre (Figure7B).



**Figure 7:** les flocons d'*Avena sativa* utilisés dans cette étude (A) et leur poudre obtenus après broyage (B)



## **2 Préparation de la solution des flocons d'*Avena sativa***

Afin de rechercher des activités biologiques dans la poudre des flocons d'*Avena sativa*, 10g de poudre de ces derniers ont été dissous dans 50mL d'eau distillée et mise sous agitation pendant 1h 30min à 2h à température ambiante pour obtenir une solution à concentration de 200 mg/mL de flocons d'avoine.

Ensuite, la solution obtenue est ensuite centrifugée à 6000 tours/min pendant 5min. Le surnageant obtenu est récupéré pour être utilisé dans la recherche des activités biologiques.

## **3 Dosage des protéines de la solution des flocons d'*Avena sativa***

Afin de doser la quantité de protéines dans les flocons d'*Avena sativa*, la méthode de Bradford, (1976) a été utilisée. La méthode de Bradford, est une méthode rapide et assez sensible pour mesurer les concentrations de protéines, elle se base sur l'absorbance du colorant Coomassie Brilliant Blue G-25 à une longueur d'onde de 595 nm (Kielkopf *et al.*, 2020).

La protéine de l'Albumine du Sérum Bovin ou Bovine Serum Albumin (BSA) été utilisée protéine de référence (Mutukuri *et al.*, 2023). Ensuite, une courbe étalon  $DO_{595nm} = f([BSA])$  a été préparée par une gamme de solutions étalon à différentes concentrations (0.05, 0.1, 0.25, 0.5 et 1mg/mL) préparée à partir d'une solution mère à 1mg/mL de BSA (Tableau1). Ensuite, 0.2 mL du réactif de Bradford ont été ajoutés à 0.8 mL de chacune des concentrations.

Pour déterminer la quantité des protéines présentes dans la solution des flocons d'avoine, 0.2 mL du réactif de Bradford ont été ajoutés à 0.8 mL de cette solution d'avoine. Le mélange (les différentes concentrations de la BSA et la solution des flocons d'avoine + le réactif de Bradford) est ensuite laissé à l'obscurité et à température ambiante pendant 5 min, après la DO a été mesurée à 595 nm.

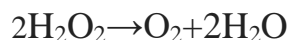
**Tableau 2:** la gamme étalon pour la préparation de la courbe étalon de la BSA

<b>[BSA] mg/mL</b>	<b>0</b>	<b>0.05</b>	<b>0.1</b>	<b>0.25</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
<b>Volume (mL) de la solution mère de la BSA (1mg/mL) (mL)</b>	<b>0</b>	<b>0.05</b>	<b>0.1</b>	<b>0.25</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
<b>Eau distillée (mL)</b>	1	0.95	0.9	0.75	0.5	0

#### **4 Recherche d'activités antioxydantes dans les flocons d' *Avena sativa***

##### **4-1- Recherche d'activité catalasique dans la solution des flocons d' *Avena sativa***

Les catalases sont des enzymes qui permettent la dégradation du peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (Emranet *al.*, 2019) en eau (H<sub>2</sub>O) et en oxygène (O<sub>2</sub>) selon la réaction suivante :



Pour rechercher l'activité catalasique présente dans les flocons d' *Avena sativa*, un mélange réactionnel constitué de 1mL d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 10mM, 0.5mL de tampon phosphate à pH7 et à 0.1M et de 0.5mL de la solution des flocons d' *Avena sativa* a été préparé .Le mélange réactionnel est incubé à température ambiante pendant 15 min.

Ensuite, la disparition de l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (par rapport à la concentration de l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> au temps 0 min d'incubation) due à l'hydrolyse de peroxydes d'hydrogène par les catalases (Moosavi-Movahedi, 2018).a été mesurée par spectrophotométrie a une longueur d'onde de 240 nm contre un blanc préparé dans les mêmes conditions mais en absence du l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Afin de déterminer la quantité de l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>dégradée par l'activité catalasique présente dans les flocons *d'Avena sativa*, une courbe d'étalon  $DO_{240nm} = f([H_2O_2])$  a été préparée à partir d'une solution mère de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 10 mM. Pour cela, une gamme de solution étalon à différentes concentrations d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0, 0,1, 0,5, 1, 5, 10 mM) a été préparée (Tableau2).

**Tableau 3:** la gamme étalon pour la préparation de la courbe d'étalon de l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

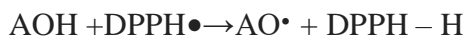
[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] mM	0	0.1	0.5	1	5	10
Volume (mL) d'H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> à 10Mm	0	0.01	0.05	0.1	0.5	1
H <sub>2</sub> O (mL)	1	990	950	900	500	0

#### **4-2-Recherche des capacités de piégeage du DPPH dans la solution des flocons *d'Avena sativa***

Afin de rechercher des propriétés antioxydantes dans l'extrait des flocons *d'Avena sativa*, la méthode de piégeage de DPPH développée par Blois(1958) a été utilisée.

Cette méthode se base sur le principe de caractérisation de l'activité antioxydante par le 1, 1-DiPhényl-2-PicrylHydrazyl (DPPH) qui est un radical libre stable, chromogène violet (Xie et Schaich, 2014) lorsqu'il est réduit par des composés antioxydants, le DPPH se transforme en DPPH-H, provoquant une décoloration ou l'apparition d'une teinte jaune (Musa *et al.*, 2013).

La réaction de réduction du radical DPPH est décrite dans l'équation suivante (Beiranvand *et al.*, 2021) :



**AOH:** l'antioxydant donneur de proton.

Pour déterminer les capacités du piégeage du DPPH, un mélange réactionnel a été préparé. Ce mélange est constitué de 1mL de la solution du DPPH à 0.1mM et 1mL de la solution des flocons d'*Avena sativa* à différentes concentrations (1%, 2.5%, 5%, 7.5%, 15%) et après 30 minutes d'incubation de ce mélange, un suivi de la disparition du DPPH (par rapport à la concentration du DPPH au temps 0 minute d'incubation) a été réalisé par mesure d'absorbance par spectrophotométrie à 517nm, contre un blanc préparé dans les mêmes conditions mais en absence du DPPH.

Pour déterminer les quantités de DPPH consommées, une courbe étalon  $\text{DO}_{517\text{nm}} = f([\text{DPPH}])$  a été préparée à partir d'une gamme étalon (0.0125, 0.025, 0.05, 0.1mM) à différentes concentrations de DPPH, préparées à partir d'une solution mère à 0.1mM de DPPH (Tableau 3). La DO est ensuite mesurée à 517nm.

**Tableau 4:** la gamme étalon du DPPH pour la préparation de la courbe étalon

[DPPH]mM	0	0.0125	0.025	0.05	0.1
<b>Volume (mL) de la solution DPPH à 0.1mM</b>	0	0.125	0.25	0.5	1
<b>Ethanol (mL)</b>	1	0.98	0.75	0.5	0

Afin de comparer l'activité de piégeage du DPPH par la solution des flocons d'*Avena sativa* avec un antioxydant de référence, l'acide ascorbique à différentes concentrations (0.0125, 0.025, 0.05, 0.075 et 0.1 mg/mL) a été utilisé comme un antioxydant standard (Njus *et al.*, 2020).

## **5 Recherche d'activité anti-inflammatoire dans la solution des flocons d'*Avena sativa***

La dénaturation des protéines est un processus qui survient lors de l'inflammation (Reshma *et al.*, 2014). De ce fait, le composé qui permet d'inhiber cette dénaturation des protéines, pourrait être considérée comme un candidat pour être utilisé comme un composé anti-inflammatoire (Banerjee *et al.*, 2014). Pour cette raison, la recherche des activités anti-inflammatoires a été effectuée par la recherche de la capacité de la solution des flocons d'*Avena sativa* à inhiber la dénaturation des protéines. Ce test a été réalisé en adoptant la méthode d'inhibition de la dénaturation d'albumine décrite par (Kumari *et al* en 2015. L'albumine de l'œuf (ovalbumine) a été préparée en mélangeant un blanc d'œuf dans 200mL d'eau distillée en ébullition. Le blanc d'œuf lorsqu'il devient laiteux est récupéré par centrifugation à 6000 trs/min pendant 5 min.

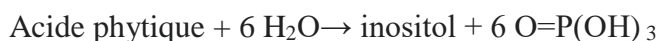
Après centrifugation, la solution de l'albumine de l'œuf qui sera utilisée dans cette étude est ainsi obtenue à une concentration de 200mg/mL.

Afin d'évaluer les capacités de l'échantillon à protéger l'albumine de l'œuf contre la dénaturation par le traitement thermique, une protection révélatrice de la présence d'activités anti-inflammatoire dans les flocons d'*Avena sativa*, un mélange réactionnel constitué de 0.2mL de cette solution d'albumine de l'œuf à 200mg/mL, de 2.8mL de tampon phosphate à 0.1M et à pH 6,4 et de 2mL de l'échantillon à différentes concentration(25%,50%,75%,100%)a été préparée. Ensuite, ce mélange réactionnel est incubé à 37°C pendant 15 min puis traités à 70°C pendant 5min. Après traitement, la quantité de l'albumine de l'œuf dénaturée est mesurée à une longueur d'onde de 660 nm.

Afin de comparer l'activité anti-inflammatoire de la solution des flocons d'*Avena sativa* avec un antiinflammatoire de référence, l'acide acétylsalicylique à différentes concentrations (0.125, 0.25, 0.5 et 1 mg/mL) a été utilisé comme un anti-inflammatoire standard (Mohapatra *et al.*, 2019).

## **6 Recherche et caractérisation de l'activité phytasique dans la solution des flocons d'*Avena sativa***

Les phytases sont des enzymes qui catalysent l'hydrolyse du phytate en phosphate inorganique et en dérivés de myo -inositol moins phosphorylés (Greiner et Konietzny, 2006) selon la réaction suivante :



Dans cette étude, la caractérisation d'activités phytasiques des flocons *d'Avena sativa* a été effectuée par l'étude de l'influence de la température et du pH sur l'activité de l'enzyme.

Afin de doser l'activité des phytases dans la solution des flocons *d'Avena sativa*, préparée préalablement, la méthode de Sajidan *et al.*, (2015) avec quelque modification a été utilisée.

Le mélange réactionnel est constitué de 125  $\mu\text{L}$  de tampon d'acétate d'ammonium-acide acétique à 0,1 M et pH5, contenant le phytate de sodium à 5mM et 25 $\mu\text{L}$  de la solution des flocons *d'Avena sativa*. Le mélange est ensuite incubé à 30°C pendant 10 min.

Le Pi libéré est mesuré selon la méthode modifiée de Heinonen et lahti, (1981) in Sajidan *et al.*, (2015). La réaction enzymatique est stoppée par l'ajout de 750 $\mu\text{L}$  d'une solution fraîchement préparée et contenant de l'acétone, de l'acide sulfurique (2,5 M) et de molybdate d'ammonium (10mM) (2 : 1 : 1 v/v) et 100 $\mu\text{L}$  d'acide citrique à 1M ont été ajoutés (Sajidan *et al.*, 2015). Après 10 min d'incubation à 30°C, l'absorbance est déterminée à 355nm.

Afin de calculer la concentration de Pi libérée par l'activité phytasique, une courbe étalon  $\text{DO}_{355\text{nm}} = f([\text{KH}_2\text{PO}_4])$  a été tracée. Pour cela, une série de concentrations allant de 0.2 à 1mM a été préparée à partir d'une solution mère de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  à 1mM. (Tableau 4).

**Tableau 5:** la gamme étalon de la solution du  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 

<b><math>[\text{KH}_2\text{PO}_4]</math> mM</b>	<b>0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	<b>1</b>
<b>Volume (mL) de la solution mère du <math>\text{KH}_2\text{PO}_4</math> de 1mM</b>	<b>0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	<b>1</b>
<b>Eau distillé (ml)</b>	<b>1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.6</b>	<b>0.4</b>	<b>0.2</b>	<b>0</b>

**6-1- Influence de la température sur l'activité phytasique des flocons d'*Avena sativa***

Afin d'étudier l'influence de la température sur l'activité des phytases, les milieux réactionnels, décrits précédemment, sont incubés pendant 10 min à différentes températures 20, 25, 30,35et 40°C.

**6-2- Influence du pH sur l'activité phytasique des flocons d'*Avena sativa***

Afin d'étudier l'influence de pH sur l'activité des phytases, le tampon d'acétate d'ammonium -acide acétique de la réaction à 0,1M et pH 5est remplacé une fois par un tampon d'acétate d'ammonium -acide acétique à 0,1M et pH 7 et une autre fois par un tampon Glycine-NaOHà 0,1 M et pH 9. Ensuite, les milieux réactionnels, décrits précédemment, sont incubés pendant 10 min à 30°C.

## *Résultats Et Discussion*

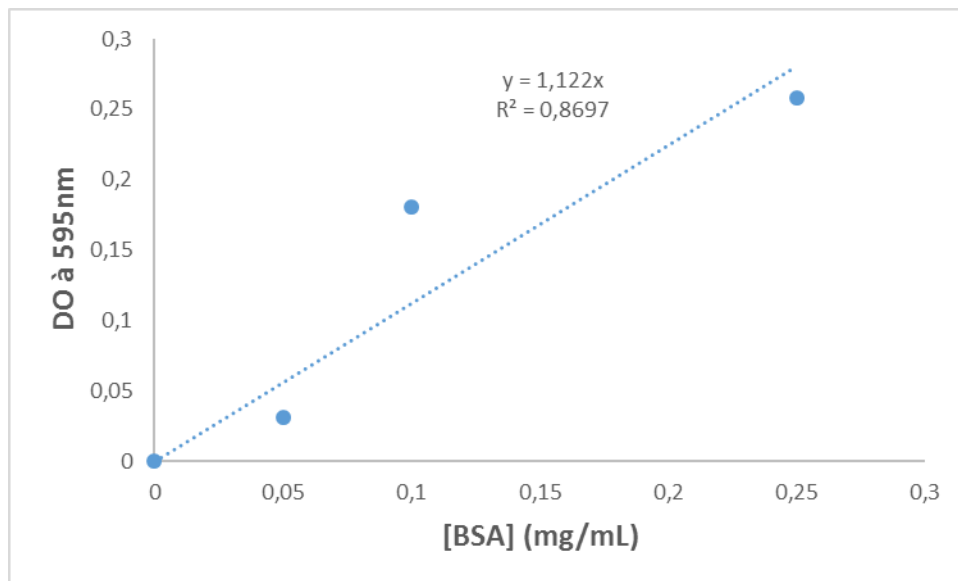


## 1 Le matériel biologique

Pour rechercher les activités biologiques : antioxydantes, anti-inflammatoire et enzymatiques, les flocons *d'Avena sativa* (figure7) achetés du commerce de la ville d'Ain Temouchent ont été utilisés.

## 2 Dosage des protéines de la solution des flocons *d'Avena sativa*

Afin de déterminer les concentrations des protéines dans la solution des flocons *d'Avena sativa*, une courbe étalon  $DO_{595nm} = f([BSA])$  a été tracée (Figure 8).



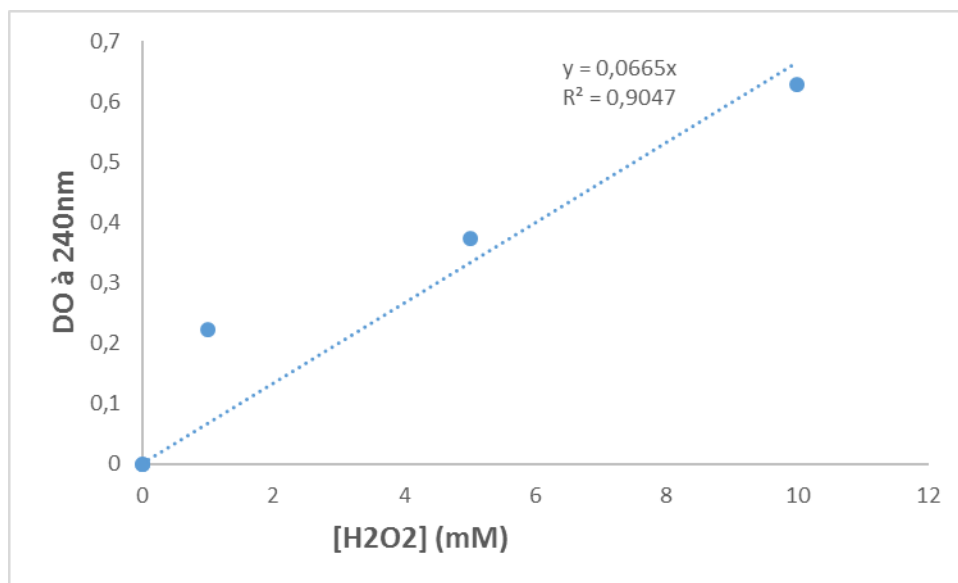
**Figure 8:** courbe étalon de la BSA

Pour chaque activité recherchée, une solution des flocons d'avoine a été préparée comme indiqué dans la partie de matériel et méthodes à 200mg/mL. Les résultats des dosages des protéines sont comme suit : 0.485 mg/mL de protéines pour la solution utilisée dans la recherche d'activité antioxydante, 0.832 mg/mL de protéines pour la solution utilisée dans la recherche d'activité anti-inflammatoire et de 0.639 mg/mL de protéines pour la solution utilisée dans la recherche d'activité phytasique.

### 3 Recherche d'activités antioxydantes dans les flocons d'*Avena sativa*

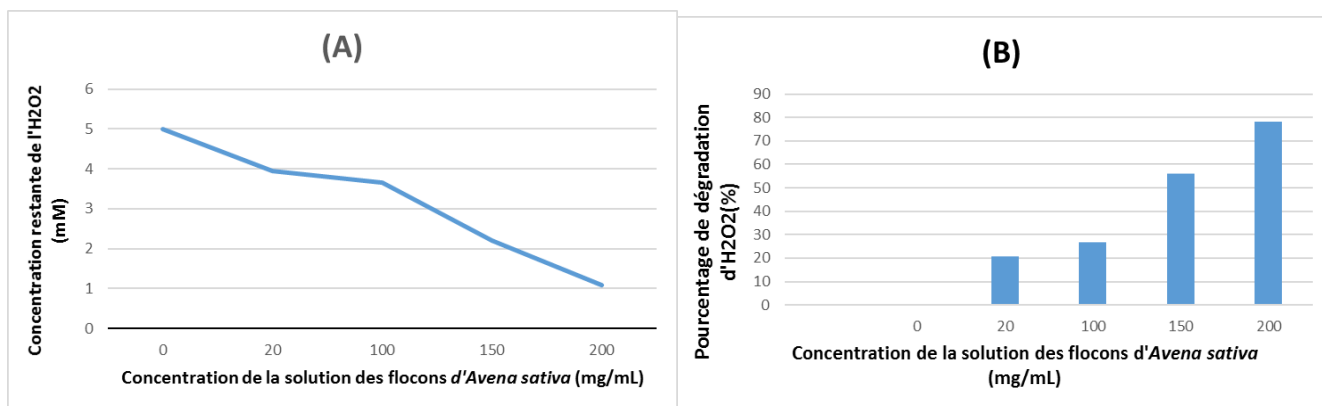
#### 3-1- Recherche d'activité catalasique dans la solution des flocons d'*Avena sativa*

Pour déterminer la quantité d' $H_2O_2$  dégradée par les catalases de la solution des flocons d'*Avena sativa*, une courbe d'étalon  $DO_{240nm} = f([H_2O_2])$  a été tracée (Figure 9).



**Figure 9:** courbe étalon de l' $H_2O_2$

Dans notre étude, la recherche d'activité catalasique dans la solution des flocons d'*Avena sativa* a été réalisée par un suivi de disparition d' $H_2O_2$  en fonction de la concentration de cette solution des flocons d'*Avena sativa* (Figure 10).



**Figure 10:** mise en évidence de l'activité catalasique et de la dégradation de l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en fonction de la concentration de la solution des flocons d'Avena sativa (A) : suivi de la disparition de l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en fonction de la solution des flocons d'Avena sativa.

Les résultats obtenus montrent que la solution des flocons d'avoine possède une activité catalasique. Cette activité catalasique est influencée par la concentration de la solution des flocons d'Avena sativa. En effet, on remarque que plus la concentration de la solution des flocons d'Avena sativa augmente et plus la quantité d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dégradée augmente (Figure 10B).

Ces résultats sont en corrélation avec les résultats obtenus par Singh *et al.*, (2018), qui ont montré la présence d'activités antioxydantes dans les flocons d'Avena sativa.

La solution des flocons d'Avena sativa à 200mg/mL a permis de dégrader une concentration de 3.90mM d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pendant 15min d'incubation (Figure 10A) ce qui correspond à 78.04% d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Figure 10 B). Cela veut dire que les catalases de la solution des flocons d'Avena sativa ont dégradé une concentration d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 0.536 mM par mg de protéines par minute.

Plusieurs travaux comme ceux de Jiao, *et al.*, (2021) ont démontré que la plupart des végétaux contiennent des catalases capables de dégrader l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Par exemple les études de Ghorbel *et al.*, (2022) sur l'activité antioxydant du blé tendre (*Triticum aestivum L.*) ont

montré une dégradation rapide du peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ce qui approuvé une forte activité catalasique de ce blé.

D'autres études ont été faites sur les catalases végétales par exemple celles du riz (*Oryza sativa*) (Goff *et al.*, 2002), de l'orge (*Hordeum vulgare*) (Ghorbel *et al.*, 2022) et du maïs (*Zea mays*L.) (Revilla *et al.*, 2018) qui ont démontré la présence des catalases capables de dégrader l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

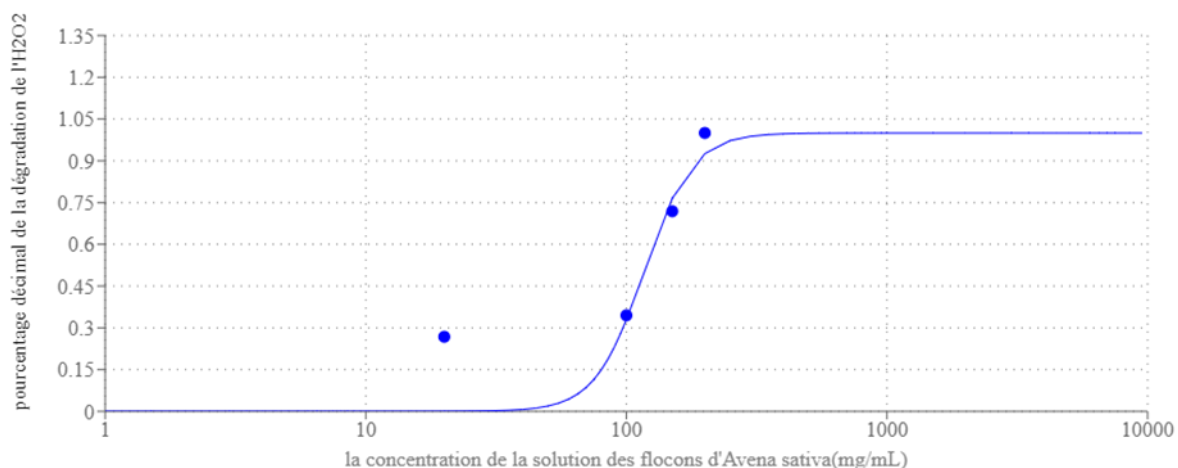
Des études ont montré aussi que les flocons d'avoine sont dotés de l'activité catalasique la plus élevée par rapport à d'autres céréales. En effet, ces travaux ont montré qu'après le suivi de dégradation du peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) par différents céréales, pendant 30 à 60min, la plus grande quantité d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a été dégradée par les flocons d'*Avena sativa* ce qui signifié la présence d'une importante activité catalasique dans les flocons d'*Avena sativa* (Zribi *et al.*, 2023).

Ces catalases sont parmi les substances importantes du système de défense pour les végétaux car elles les aident à se protéger contre les dommages causés par le stress oxydatif (Anjum *et al.*, 2016), à réguler leur métabolisme et à répondre aux stress environnementaux (Bose *et al.*, 2014). Ces enzymes sont donc essentielles pour la survie et la résistance des végétaux dans des environnements changeants et hostiles (Goyal et Kaur, 2018).

L'IC<sub>50</sub> (half-maximal **I**nhibitory **C**oncentration)(Bag et Ghorai, 2016) de la dégradation de l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> par la solution des flocons d'*Avena sativa* a été calculée en utilisant le logiciel AAT Bioquest (AAT Bioquest, 2024). L'IC<sub>50</sub> va correspondre à la concentration d'antioxydants nécessaire pour diminuer la concentration initiale de l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 50 % (Prahastuti *et al.*, 2020).

L'IC<sub>50</sub> (half-maximal **I**nhibitory **C**oncentration ou la **C**oncentration d'**I**nhibition demi-maximale) est la mesure la plus couramment utilisée pour tester les caractéristiques pharmacologiques et biologiques d'un échantillon donné (Neubig *et al.*, 2003). A savoir, plus la valeur IC<sub>50</sub> d'un échantillon est faible plus l'activité antioxydante est élevée (Burlingham et Widlanski, 2003).

Les résultats obtenus montrent une valeur d'IC<sub>50</sub> (la concentration de la solution des flocons d'*Avena sativa* nécessaire pour inhiber 50% de l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) égale à 116,3mg/mL (Figure 11) ce qui correspond à 0.282mg/mL de protéines dans la solution des flocons d'*Avena sativa*.



**Figure 11** : détermination de l'IC<sub>50</sub> de dégradation de l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Afin de savoir si notre solution des flocons d'*Avena sativa* possède une activité antioxydante importante, les résultats obtenus ont été comparés avec d'autres travaux réalisés sur la dégradation de l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> par l'activité catalasique.

Remarque : pour la comparaison des valeurs des IC<sub>50</sub> obtenus dans notre étude avec des IC<sub>50</sub> d'autres études, on va utiliser soit 116,3mg/mL lorsqu'il s'agit de la quantité du matériel végétal, soit 0.282mg/mL lorsqu'il s'agit de quantité des protéines dans ce matériel biologique.

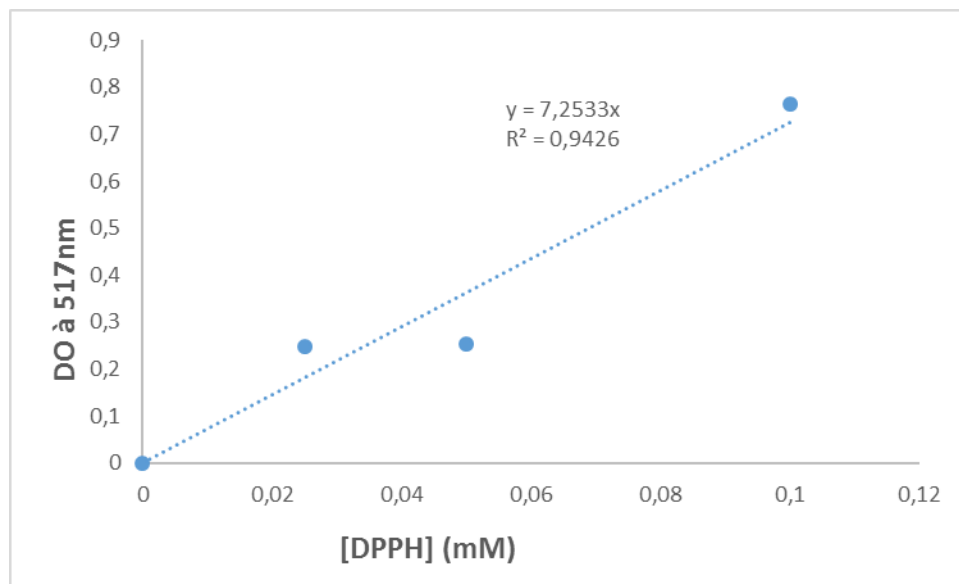
Les résultats des travaux de Zribi *et al.*, (2023) sur l'extrait aqueux des flocons d'*Avena sativa* ont montré une valeur d'IC<sub>50</sub> de 75 mg/mL de l'extrait brut des flocons d'*Avena sativa*, une valeur inférieure à celle obtenue dans notre étude (116,3mg/mL de poudre des flocons d'*Avena sativa*). Cette différence des IC<sub>50</sub> peut être due au procédé d'extraction.

Cependant, les résultats de l'étude de Enemor *et al.*, (2021) sur l'activité antioxydante de l'extrait éthanolique de graines de *sojaglycine max* [L.] *merill* à l'aide du test d'activité de dégradation du peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ont montré une valeur d'IC<sub>50</sub> de 0.402 mg/mL de protéines une valeur supérieure à celle obtenue dans notre étude qui est égale à 0.282 mg/mL de protéines dans la solution des flocons d'*Avena sativa*.

Aussi, selon les résultats des travaux du Li *et al.*, (2023) sur la plante *Ficus deltoidea* qui ont montré une valeur de l'IC<sub>50</sub> de 0.87mg/mL de protéines ce qui signifie une activité catalasique inférieure à celle des flocons d'*Avena sativa* et qui a une valeur d'IC<sub>50</sub> de 0.282 mg/mL de protéines dans la solution des flocons d'*Avena sativa*.

### 3-2 Recherche des capacités de piégeage du DPPH dans la solution des flocons d'*Avena sativa*

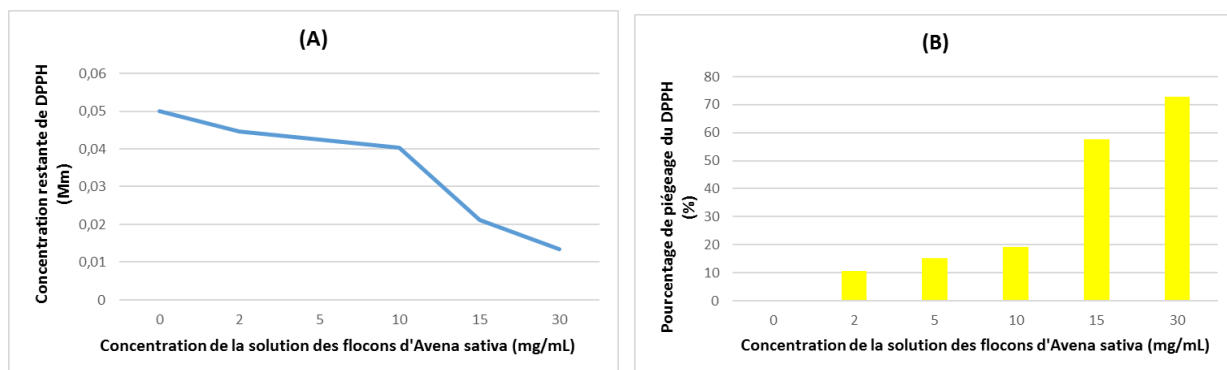
Afin de déterminer la quantité de DPPH consommée par la solution des flocons d'*Avena sativa* une courbe étalon DO<sub>517nm</sub> = f ([DPPH]) a été tracée (Figure 12).



**Figure 12:** Courbe étalon du DPPH

Un 2<sup>ème</sup> test de recherche de l'activité antioxydante qui se base sur le principe de piégeage du radical libre DPPH par la solution des flocons d'*Avena sativa* a été effectué. Ce test permet de

suivre la dégradation par cette solution à différentes concentrations et les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante.



**Figure 13:** suivi de piégeage de DPPH par les différentes concentrations de la solution des flocons d'*Avena sativa* (A): suivi de piégeage du DPPH en fonction de la concentration de la solution des flocons d'*Avena sativa* (B) : pourcentage de piégeage du DPPH par les différentes concentrations de la solution des flocons d'*Avena sativa*.

Comme le montre la Figure 13, la quantité du DPPH dégradée est influencée par les différentes concentrations (2, 5, 10, 15 et 30 mg/mL) de la solution des flocons d'*Avena sativa*.

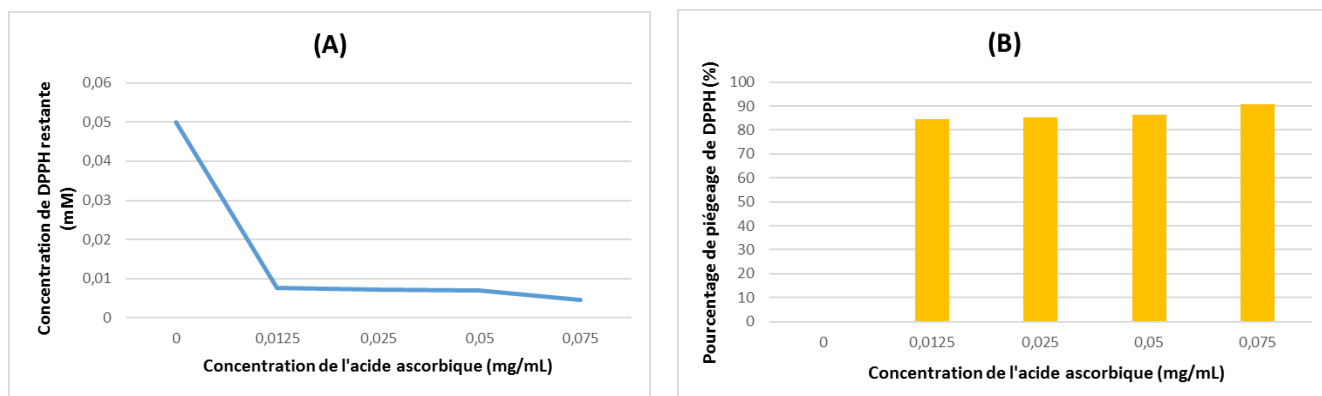
Ces résultats montrent aussi que plus la concentration de cette solution est élevée, plus le pourcentage du DPPH piégé est grand (Figure 13B). En effet, les différentes concentrations de la solution des flocons d'*Avena sativa* 2,5, 10, 15 et 30mg/mL dégradent, respectivement, 10.66%, 15.07%, 19.20%, 57.53%, 72.97% du DPPH (Figure 13B).

Ces résultats sur la capacité de piégeage du DPPH, confirment que les flocons d'*Avena sativa* possèdent une activité antioxydante. Ceci est en accord avec les résultats de Santos *et al.*, (2022) qui ont démontré que les flocons d'*Avena sativa* présentent une activité anti-radicalaire.

Concernant l'antioxydant de référence, la Figure 14, montre que la quantité du DPPH piégé par l'acide ascorbique est aussi influencée par sa concentration (0,0125, 0,025, 0,05, et 0,075mg/mL)

Comme c'est le cas solution des flocons *d'Avena sativa*, les résultats obtenus (Figure 14 B) montrent aussi que plus la concentration de l'acide ascorbique est élevée, plus le pourcentage du DPPH piégé est grand.

En effet, les différentes concentrations de l'acide ascorbique (0,0125, 0,025, 0,05, et 0,075mg/mL) dégradent, respectivement, 84,55% 85,38% 86,21% 90,62% du DPPH (Figure 14 B).

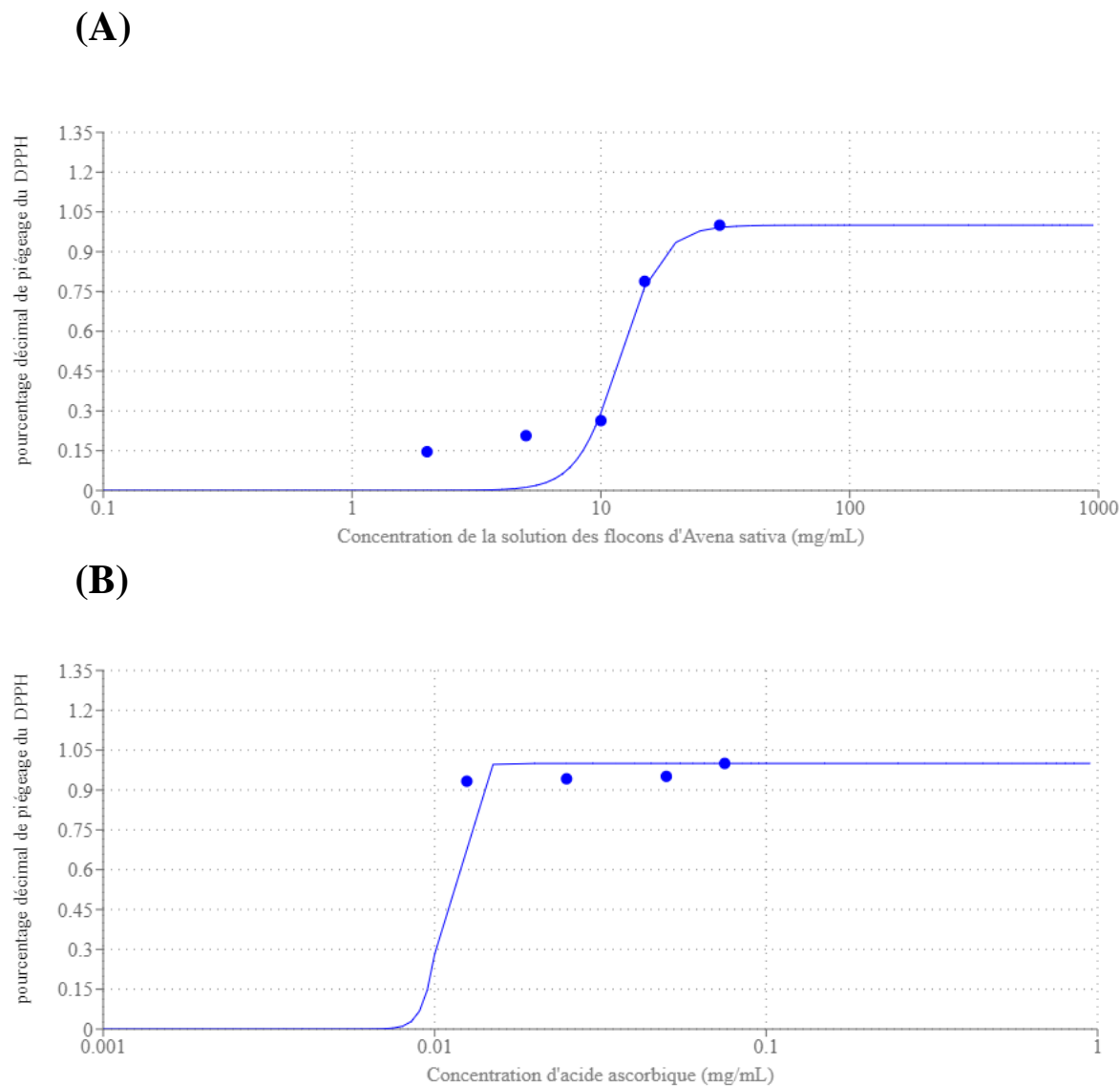


**Figure 14:** suivi du piégeage du DPPH par les différentes concentrations de l'acide ascorbique (A): suivi du piégeage du DPPH en fonction de la concentration de l'acide ascorbique (B) pourcentage du piégeage du DPPH par les différentes concentrations de l'acide ascorbique.

Ensuite, l'IC<sub>50</sub> (la concentration d'antioxydant nécessaire pour inhiber 50% de DPPH) de la solution des flocons *d'Avena sativa* et de l'acide ascorbique ont été calculés.

Les résultats de ces calculs montrent que l'IC<sub>50</sub> de la solution des flocons *d'Avena sativa* est égal à 11,88mg/mL ce qui correspond à 0,028mg/mL de protéines dans la solution des flocons *d'Avena sativa*. (Figure 15A), tandis que celui de l'acide ascorbique est égal à 0,010mg/mL, (Figure 15B). L'IC<sub>50</sub> de l'acide ascorbique est inférieur à celui de la solution des flocons *d'Avena sativa*, ce qui signifie que la solution des flocons *d'Avena sativa* possède une activité anti-radicalaire plus faible que celle de l'acide ascorbique.





**Figure 15:** l'IC<sub>50</sub> du piégeage de DPPH (A): piégeage de DPPH par la solution des flocons d'*Avena sativa* (B): piégeage de DPPH par l'acide ascorbique.

Ces résultats obtenus ont montré la présence d'une activité antioxydante dans la solution de la poudre des flocons *d'Avena sativa*. Ce qui est cohérent avec le fait que l'extrait aqueux (obtenu par macération dans l'eau) est riche et doté d'une forte concentration des fibres alimentaires, protéines, vitamines et des composés phénoliques (Sood *et al.*, 2022) qui sont tous les principaux responsables du potentiel antioxydant des flocons *d'Avena sativa*, pouvant contribuer à la stabilité

oxydative de la plante et sa protection contre le stress oxydatif (Slavin *et al.*, 1997, Banerjee et Rimm, 2003). Par exemple, les études de Bei *et al.*, (2020) ont identifié des composés phénoliques présents dans les flocons d'avoine qui sont dotés d'une capacité à éliminer les radicaux libres, cette activité a été déterminée par le test de piégeage du radical libre DPPH.

Remarque : pour la comparaison des valeurs des IC<sub>50</sub> obtenus dans notre étude avec des IC<sub>50</sub> d'autres études, on va utiliser soit 11,88mg/mL lorsqu'il s'agit de quantité du matériel végétal, soit 0.028mg/mL lorsqu'il s'agit de quantité des protéines dans ce matériel biologique.

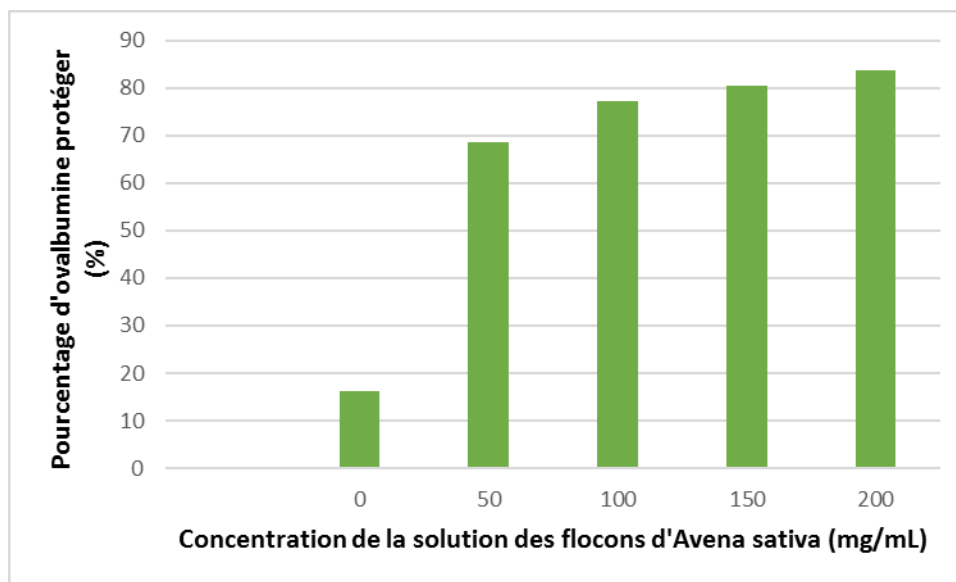
Les résultats de cette étude, sur l'activité anti-radicalaire, faites sur l'extrait éthanolique des flocons d'*Avena sativa*, ont montré une valeur d'IC<sub>50</sub> de 0.962mg/mL, inférieure à l'IC<sub>50</sub> qu'on a obtenu dans notre étude (11.88mg/mL), ce qui signifie que l'activité anti-radicalaire de cet extrait éthanolique des flocons d'*Avena sativa* est supérieure à celle qu'on a trouvé après une macération dans de l'eau distillée de la poudre des flocons d'*Avena sativa*. Cette différence de valeur d'IC<sub>50</sub> est due au type de l'extrait, en effet, l'extrait éthanolique est plus riche en composés phénoliques que l'extrait aqueux et donc l'extrait éthanolique est doté d'une plus forte activité antioxydante (Bose *et al.*, 2014).

D'autres études ont montré la présence d'une activité anti-radicalaires chez *Avena sativa*, comme par exemple celles de Yuanqing *et al.*, (2021) réalisées sur les extraits aqueux des gruaux et des coques d'avoine ont montré des valeurs d'IC<sub>50</sub> respectivement de 3.06mg/mL et 1.20mg/mL, les valeurs d'IC<sub>50</sub> sont inférieures à ce que on a obtenu (11.88mg/mL) pour l'extrait aqueux des flocons d'*Avena sativa*, ce qui signifie que les extraits aqueux des gruaux et des coques d'avoine présentent une activité anti-radicalaire relativement forte par rapport à l'activité de notre extrait.

#### **4 Recherche d'activité anti-inflammatoire dans la solution des flocons d'*Avena sativa*.**

Dans le but de rechercher des activités anti-inflammatoires dans la solution des flocons d'*Avena sativa* le test de la capacité de protéger l'ovalbumine contre la dénaturation suite à un traitement thermique a été effectuée.

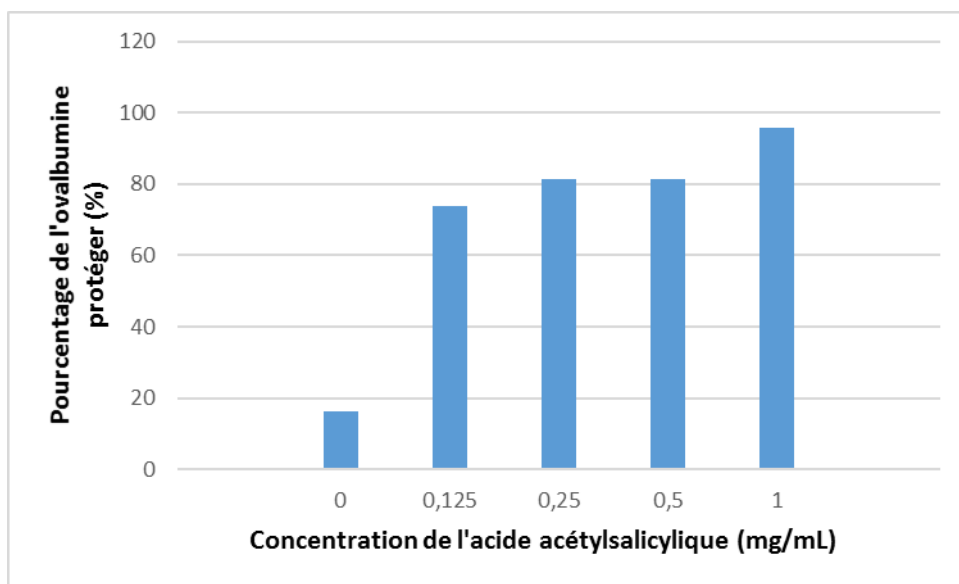
Les résultats obtenus (Figure 16) montrent qu'après traitement à 70°C pendant 5min, 83,7% d'ovalbumine a été dénaturée. Par contre, en présence de la solution des flocons d'*Avena sativa* on remarque que la dénaturation de l'ovalbumine par le traitement thermique diminue, ce qui signifie que cette solution est dotée d'une capacité d'inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine et donc elle est dotée de propriétés anti-inflammatoires.



**Figure 16:** pourcentage de l'ovalbumine protégée par les différentes concentrations de la solution des flocons d'*Avena sativa* contre le traitement thermique.

Aussi, les résultats montrent que la quantité de l'ovalbumine protégée contre le traitement thermique est influencée par la concentration de la solution des flocons d'*Avena sativa*, En effet, plus la concentration de la solution des flocons d'*Avena sativa* augmente plus l'inhibition de la dénaturation augmente (Figure 16), conduisant à une protection de 68,47%, 77,17%, 80,43%, 83,69% en fonction, respectivement, des concentrations 50, 100, 150, et 200mg/mL de la solution des flocons d'*Avena sativa* (Figure 16). Ces résultats obtenus indiquent que la solution des flocons d'*Avena sativa* est dotée d'une activité anti-inflammatoire du fait qu'elle a protégé l'ovalbumine contre la dénaturation par le traitement thermique.

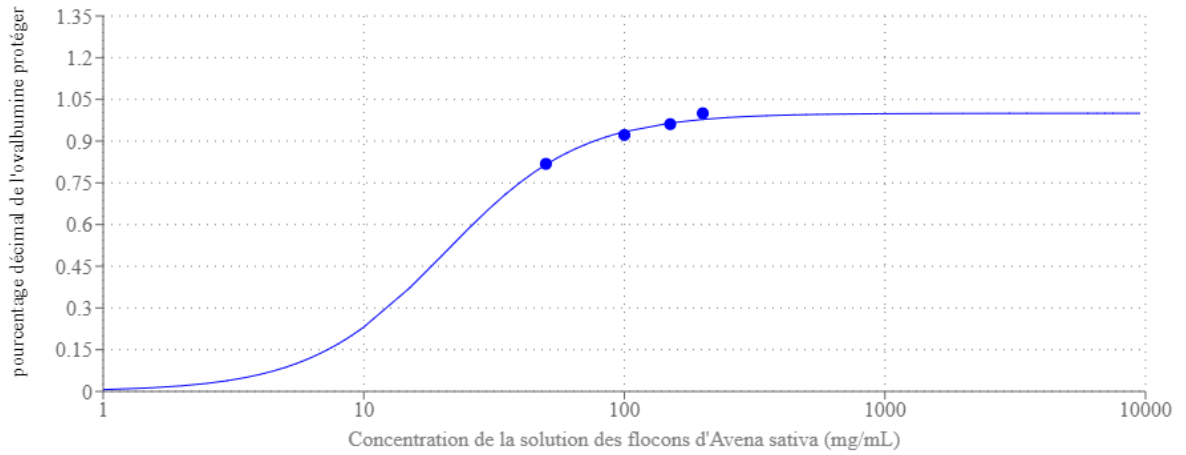
Concernant l'anti-inflammatoire de référence, la Figure 17 montre aussi que, plus la concentration de l'acide acétylsalicylique augmente et plus l'inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine augmente, conduisant à une protection de 73,91% 81,52% 81,52% 95,65% en fonction, respectivement, des concentration 0,125, 0,25, 0,5 et 1mg/mL.(Figure 17).



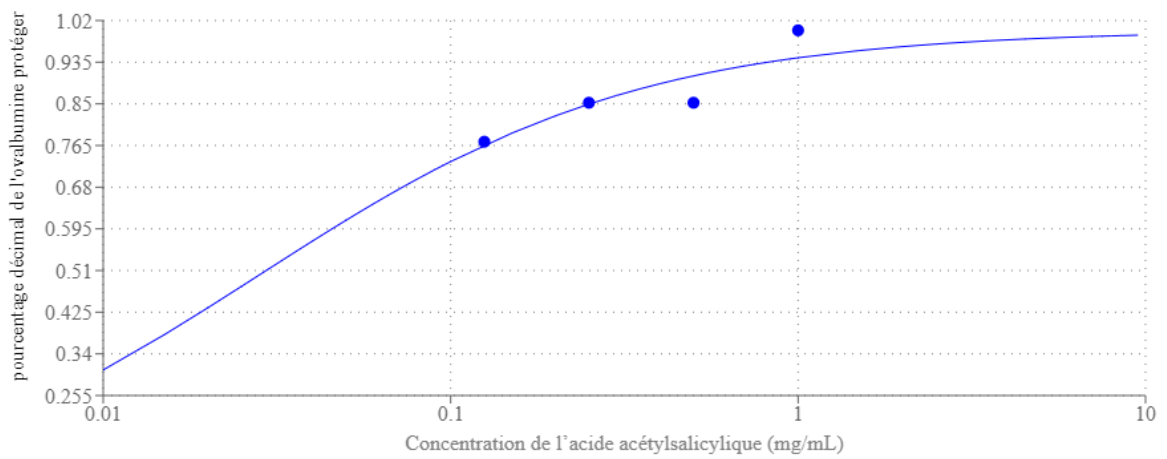
**Figure 17:** pourcentages de l'ovalbumine protégée par les différentes concentrations de l'acide acétylsalicylique contre le traitement thermique.

Le calcul d'IC<sub>50</sub> par le logiciel AAT Bioquest (AAT Bioquest,2024) de la solution des flocons d'*Avena sativa* a montré une activité anti-inflammatoire avec un IC<sub>50</sub> de 20,52mg/mL, ce qui correspond à 0.085mg/mL de protéines dans la solution des flocons d'*Avena sativa*, tandis que l'acide acétylsalicylique a montré une activité anti-inflammatoire avec un IC<sub>50</sub> de 0.028mg/mL ce qui signifie que l'acide acétylsalicylique possède une activité anti-inflammatoire supérieure à celle de la solution des flocons d'avoine.

(A)



(B)



**Figure 18:** détermination de l'IC<sub>50</sub> de l'inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine (A): protection de l'ovalbumine par la solution des flocons d'*Avena sativa* (B) : protection de l'ovalbumine par l'Acide acétylsalicylique.

Remarque : pour la comparaison des valeurs des IC<sub>50</sub> obtenus dans notre étude avec des IC<sub>50</sub> d'autres études, on va utiliser soit 20,52mg/mL lorsqu'il s'agit de quantité du matériel végétal, soit 0.085mg/mL lorsqu'il s'agit de quantité des protéines dans ce matériel biologique.

Comme c'est le cas pour l'activité antioxydante, les résultats obtenus sur l'activité anti-inflammatoire (par la méthode d'inhibition de dénaturation de l'ovalbumine) des flocons d'*Avena sativa* ont été comparés avec d'autres travaux. Par exemple, selon l'étude de Darewicz *et al.*, (2022) les résultats du test d'inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine par les peptides dérivés des protéines des graines entières de l'avoine ont une valeur d'IC<sub>50</sub> de 10,82 mg/mL de protéines supérieur à la valeur de notre résultat de 0.085 mg/mL. Ce qui signifie la présence d'une plus forte activité anti-inflammatoire dans la solution de poudre des flocons d'*Avena sativa*.

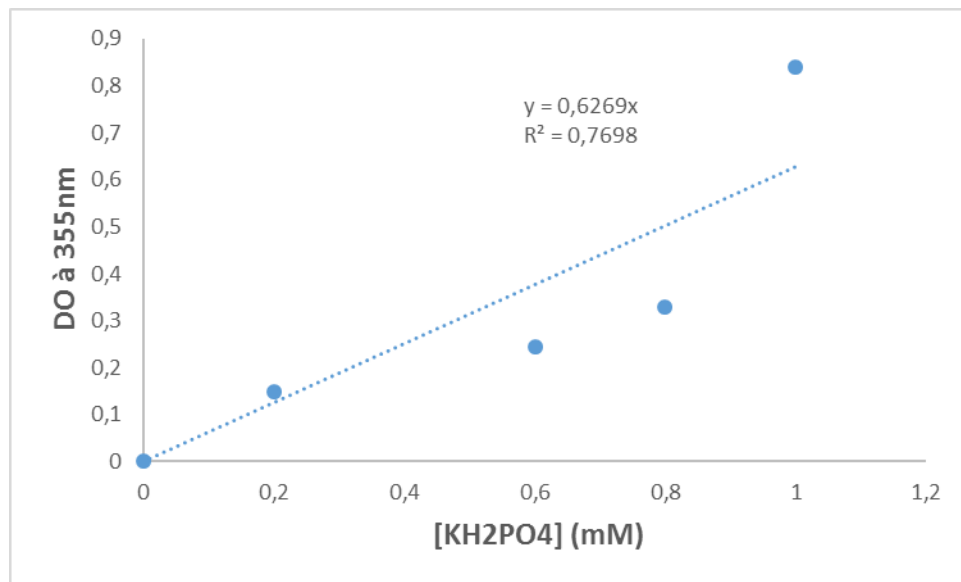
Certaines études ont expliqué pourquoi la présence d'activité anti-inflammatoire au niveau de l'avoine, par exemple, des travaux ont démontré l'existence d'un lien entre la présence accrue de protéines (comme la protéine de l'avenine présente dans les flocons d'avoine) et l'activité anti-inflammatoire, qui permettent de réduire la sécrétion et l'expression de marqueurs inflammatoires (Bose *et al.*, 2014). En plus, plusieurs molécules d'avoine peuvent être responsables de leur activité anti-inflammatoire telle que les avenanthramides qui agissent en réduisant la production de molécules pro-inflammatoires dans le corps, telles que les cytokines et les prostaglandines (Yang *et al.*, 2014). D'autres composés présents dans l'avoine, tels que les fibres solubles, les bêta-glucanes, peuvent également contribuer à ses propriétés anti-inflammatoires (Hu *et al.*, 2019).

D'autres travaux sur les activités anti-inflammatoire (Dharmadeva *et al.*, 2018) de l'extrait de l'écorce de *Ficus racemosa* L. par extraction à l'eau froid et à l'eau chaude et en utilisant la méthode de l'inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine, ont montré que la valeur de l'IC<sub>50</sub> de l'extrait à l'eau froide et l'extrait à l'eau chaude sont respectivement de 3,691 et 4, 207 mg/mL des valeurs inférieures à la valeur qu'on a obtenue (20,52mg/mL) ce qui signifie que l'écorce de *Ficus racemosa* possède une activité anti-inflammatoire supérieure à celle des flocons d'*Avena sativa*. Aussi les travaux de Yesmin *et al.*, (2020) sur l'étude de l'activité anti-inflammatoire de l'extrait éthanolique brut de racine de Choi (*Piper chaba*) réalisée par les méthodes de dénaturation de l'ovalbumine et de l'albumine humaine, ont obtenus une valeur d'IC<sub>50</sub> de 13 mg/mL une valeur inférieure à la valeur que on a obtenue (20,52 mg/mL) mais la différence n'est pas très grand.

## 5 Recherche d'activités phytasiques dans la solution des flocons d'*Avena sativa*

Afin de rechercher des activités phytasiques dans la solution des flocons d'*Avena sativa*

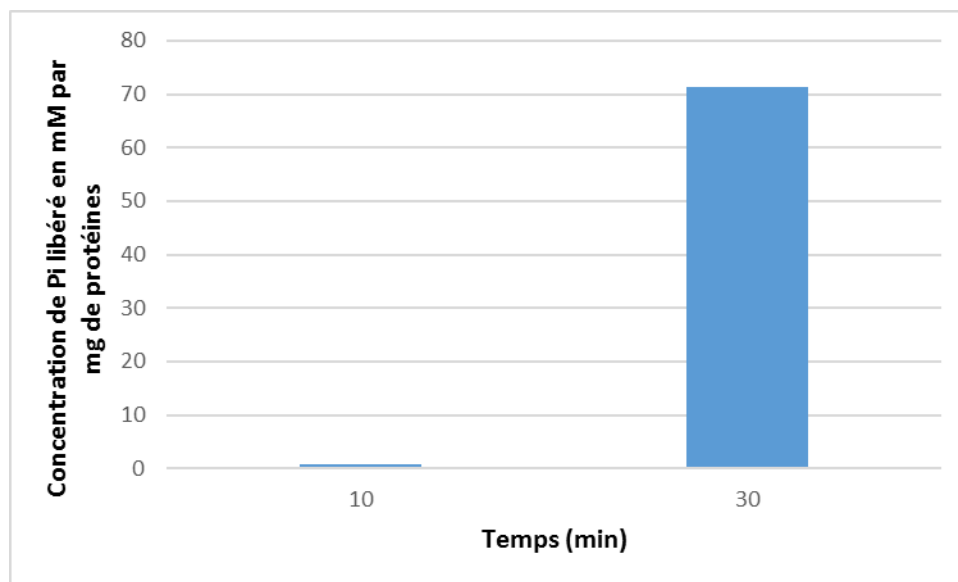
Une courbe étalon  $DO_{355nm} = f([KH_2PO_4])$  a été tracée (figure19) pour déterminer la quantité de Pi libérée par les phytases présentes dans les flocons d'*Avena sativa*.



**Figure 19:** courbe étalon de kH2PO4

Ensuite, l'activité phytasique a été recherchée dans les flocons d'*Avena sativa* selon le protocole indiqué dans la partie Matériel et Méthodes.

Après 10 min d'incubation à 30°C la concentration de Pi libéré est de 0,78mM/mg de protéines des flocons d'*Avena sativa*, ensuite cette concentration augmente pour arriver à 71,39 mM/mg de protéines des flocons d'*Avena sativa* après 30min d'incubation, ce qui signifié la présence d'une activité phytasique dans les flocons d'*Avena sativa* (Figure 20).



**Figure 20:** dégradation de l'acide phytique et libération du Pi à 10 et 30 min d'incubation

Les résultats obtenus dans notre étude sont en accord avec les résultats de Li *et al.*, (2014) qui ont montré une activité phytasique relativement forte dans les flocons d'avoine.

Cette activité phytasique est considérée comme une activité importante pour l'avoine dans la période de germination (Greiner et Alming, 1999), puisque la décomposition du phytate libère le phosphore et d'autres nutriments essentiels pour sa croissance et son développement. Ce qui est essentiel pour assurer la vigueur et la survie de la plante (Bartnik et Szafrńska, 1987).

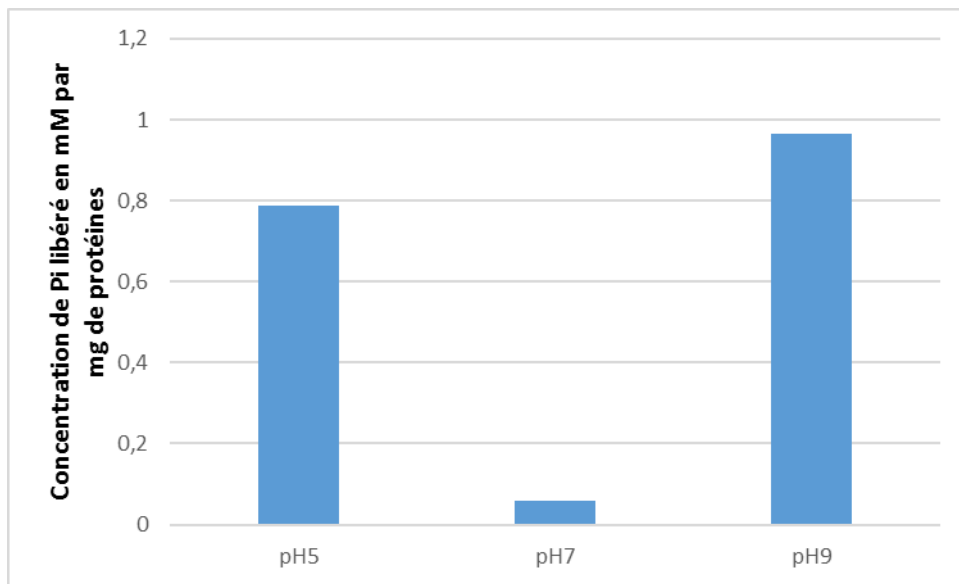
Chez les végétaux en général, l'acide phytique a été trouvé à différentes concentrations dans toutes les céréales, noix et les graines qui sont dotées aussi d'une importante activité phytasique jouant ainsi un rôle dans leur métabolisme phosphoré. (Coulibaly *et al.*, 2011) comme par exemple celle trouvée dans les graines de *Moringa oleifera*, les pois et les haricots (Schlegel *et al.*, 2013 ; Shahzad *et al.*, 2021),

Ensuite, une fois trouvée, l'activité phytasique de la solution des flocons d'*Avena sativa* a été caractérisée par étude de l'influence du pH et de la température sur cette activité.



### 5-1- Influence du pH sur l'activité phytasique des flocons d'*Avena sativa*

L'étude de l'influence de pH sur l'activité des phytases de la solution des flocons d'*Avena sativa* a été effectuée à pH 5, pH 7 (tampon d'Acétate d'Ammonium-Acide Acétique à 0.1M) et à pH 9 (tampon Glycine-NaOH à 0,1 M) (Figure 21), par incubation du milieu réactionnel à 30°C pendant 10 min.



**Figure 21:** résultats de l'influence du pH sur l'activité phytasique de la solution des flocons d'*Avena sativa*.

Il a été démontré que les changements de pH peuvent influencer les activités enzymatiques (Chugh *et al.*,2022) en modifiant la structure tridimensionnelle de l'enzyme, en altérant les charges électriques dans le site actif, et en affectant la solubilité des substrats ou des produits, ce qui pouvant conduire à la dénaturation protéique (Coulibaly *et al.*,2011).

A partir des résultats obtenus (Figure 22), on remarque que l'activité phytasique est détectée aux différents pH testés. L'activité phytasique est plus élevée à pH9, suivi de celle à pH5 et la plus faible activité est détectée à pH7.

Ces résultats ont montré la présence de deux pH optimaux (5 et 9) ce qui signifie la présence de deux types de phytases dans la solution des flocons d'*Avena sativa*. Des phytases avec un optimum d'activité à un pH acide (pH5) et des phytases avec un optimum d'activité à un alcalin (pH9). Ceci signifie que la solution de la poudre d'*Avena sativa* possède 2 types de phytases : acides et basiques. Les études de Chugh *et al.*, (2022) ont montré la présence de deux types de phytases dans l'extrait brut des flocons d'*Avena sativa*, acide avec un pH optimum de 5 et un phytase alcalin avec un pH optimum de 8 ce qui est en accord avec notre résultat obtenu.

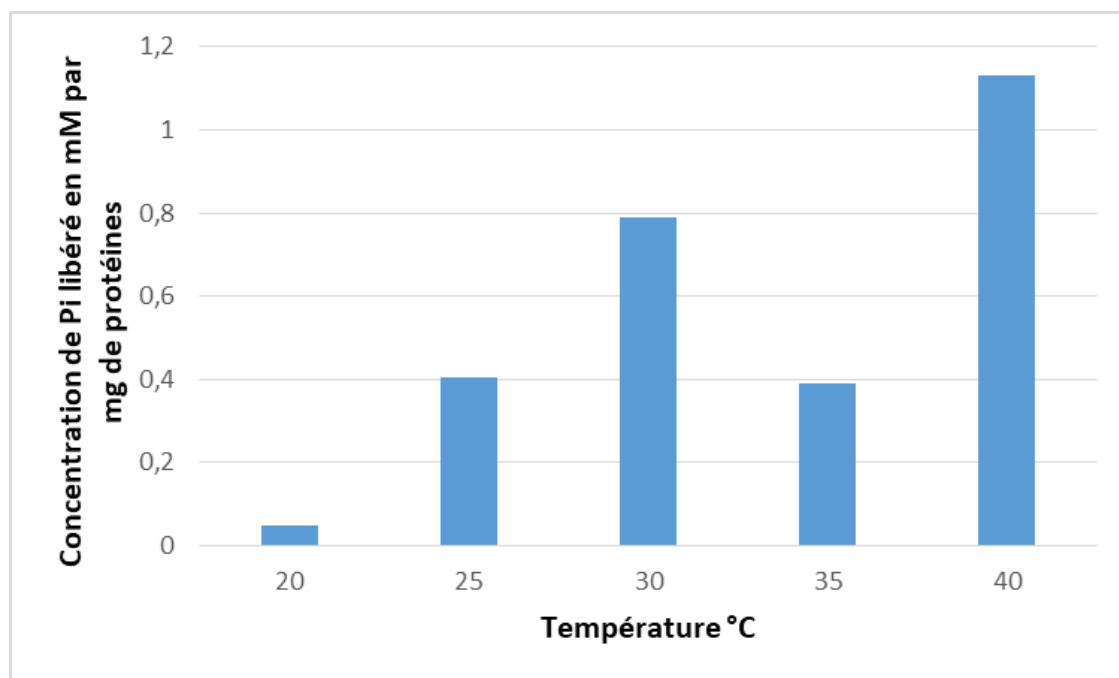
Cependant, les études de Koréissi-Dembélé *et al.*, (2013) sur la solution du blé entier ont montré la présence des phytases avec un optimum de pH à 5 donc la présence d'un seul type de phytase acide. Aussi, l'étude de Ngozi *et al.*, (2014) sur l'extrait des graines de citrouille (*Cucurbita pepo*), les résultats ont montré une activité phytasique à pH 5.5 par contre à pH 9 ces graines n'ont présenté aucune activité phytasique, ce qui signifie la présence d'un seul type de phytase acide dans l'extrait des graines de *Cucurbita pepo*.

En industrie, les phytases alcalines sont généralement plus utilisées que les phytases acides. Les phytases alcalines ont une activité optimale à un pH plus élevé (pH alcalin), ce qui les rend plus adaptées à de nombreuses applications industrielles (Khan, 2017). Ces phytases sont souvent utilisées dans l'alimentation animale pour améliorer la digestibilité du phosphore chez les animaux, ce qui peut réduire la nécessité d'ajouter des phosphates inorganiques aux aliments pour animaux (Handa *et al.*, 2021).

En revanche, les phytases acides sont moins courantes en industrie, bien qu'elles puissent être utilisées dans des applications spécifiques, comme par exemple en applications pharmaceutiques (Sharma *et al.*, 2020) ou encore dans des applications environnementales, telles que la déphosphatation des eaux usées (Prajapati et Shah, 2022).

### 5-2-Influence de la température sur l'activité phytasique des flocons d'*Avena sativa*

L'étude de l'influence de la température sur l'activité des phytases de la solution des flocons d'*Avena sativa*, a été testée à pH 5 (comme précédemment décrit dans le protocole) à différentes températures 20, 25, 30,35et 40°C (Figure 22).



**Figure 22:** résultats de l'influence de la température sur l'activité phytasique de la solution des flocons d'*Avena sativa*.

Comme pour le pH, la température peut aussi influencer les activités enzymatiques en modifiant la structure des enzymes, ce qui peut altérer leur capacité à interagir avec leur substrat et à catalyser la réaction chimique (Vyas *et al.*, 2022).

Les variations de température peuvent affecter l'activité des phytases qui peuvent être sensibles aux températures basses ou élevées, ce qui peut avoir des impacts sur leur efficacité dans diverses applications industrielles (Coban et Demirci, 2017).

Les résultats montrent que l'activité phytasique est détectée aux différentes températures testées (Figure 22).

A 20°C, les phytases présentent une activité relativement faible à presque nulle, par contre à la température 25°C et 30°C, l'activité enzymatique augmente significativement (Figure 22).

A 35°C, l'activité phytasique a diminué, ensuite, elle a fortement augmenté à 40°C. Ceci indique que la température optimale de l'activité phytasique de la solution des flocons d'*Avena sativa* est de 40°C. Ce qui est en accord avec les études de Greiner et Alminger, (1999)

ont montré que la température optimale de l'activité phytasique des flocons d'*Avena sativa* est à 38°C. D'autres études sur le blé (*Triticum aestivum*) Esmailipour et al., (2012), le maïs (*Zea mays*) (Chen et al., 2013) et le soja (*Glycine max*) (Chantasartrasamee et al., 2005), ont montré aussi une activité phytasique avec un optimum de température de 40°C. Les résultats d'Ebrahimian *et al.*, (2017) sur les haricot (*Phaseolus vulgaris*) qui ont montré des fortes activités à des températures de 30°C, 37°C et 40°C mais son optimum de température a été à 37°C.

Aussi, des études sur les pois (*Pisum sativum*) (Urbano, 2003) ont montré une activité phytasique avec une température optimale de 37°C, par contre, à des températures de 20°C et 25°C ils ont montré une faible activité phytasique. Ce qui est en accord aussi avec nos résultats (Figure 22).

L'avoine est actuellement parmi les plantes les plus recherchées en raison de leurs précieuses propriétés biologiques importantes dans de nombreux domaines industriels, tels que l'industrie alimentaire et pharmaceutiques (Salgado *et al.*, 2008). Pour cela nous sommes intéressés à rechercher des propriétés biologiques dans les flocons d'*Avena sativa* qui sont les propriétés antioxydantes (activité catalasique et anti-radicalaire), propriétés anti-inflammatoires (inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine) et enzymatiques (activité phytasique). Le Tableau 7 récapitule les différents résultats obtenus de cette étude. D'après les résultats obtenus de notre étude, on constate que les flocons d'*Avena sativa* ont une bonne activité antioxydante puisqu'ils sont dotés d'une importante activité catalasique et ils ont montré une forte capacité de piégeage du radical libre DPPH (Tableau 7). De plus, les résultats de test d'inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine ont montré que la solution des flocons d'*Avena sativa* présente une activité anti-inflammatoire avec une capacité d'inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine (Tableau 7). Concernant l'activité phytasique des flocons d'*Avena sativa* notre résultat montre que la solution des flocons d'avoine

a permis de dégrader le phytate et libérer le Pi ce qui signifie qu'ils sont dotés d'une activité phytasique relativement bonne (Tableau 6).

**Tableau 6:** Tableau récapitulatif des résultats des activités biologiques des flocons *d'Avena sativa*.

		<b>IC<sub>50</sub> en mg de poudre des flocons d'avoine</b>	<b>IC<sub>50</sub> en mg de protéines présentes dans les flocons d'avoine</b>
<b>Activité antioxydante</b>	Dégradation de l'H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	116,3	0.282
	Piégeage du DPPH	11,88	0.028
<b>Activité anti-inflammatoire</b>	Inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine	20,52	0.085
	<b>Quantité Pi libéré (mM/ mg de protéine/ min)</b>	<b>pH optimal</b>	<b>Température optimale</b>
<b>Activité phytasique</b>	2,37	5 et 9	40°C

## *Conclusion Et Perspectives*

Afin de rechercher des propriétés biologiques au niveau des flocons d'*Avena sativa*, les propriétés antioxydantes (catalasiques et anti-radicalaires), anti-inflammatoires (inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine) et enzymatique (activité phytasique) ont été recherchées.

Les résultats obtenus montrent la présence de propriétés antioxydantes avec une activité de dégradation d' $H_2O_2$  avec un  $IC_{50}$  de 116,3 mg/mL de poudre des flocons d'avoine ou de 0.282 mg/mL de protéines présentes dans les flocons d'avoine, une activité anti-radicalaire de dégradation du DPPH) avec un  $IC_{50}$  de 11,88 mg/mL de poudre et de 0.028 mg/mL de protéines.

Cette solution possède aussi une propriété anti-inflammatoire qui a permis d'inhiber la dénaturation de l'ovalbumine avec un  $IC_{50}$  de 20,52 mg/mL de poudre des flocons d'avoine ou de 0.085mg/mL de protéines présentes dans les flocons d'avoine.

Concernant la propriété enzymatique, les résultats de l'étude des capacités de la solution de la poudre des flocons d'*Avena sativa* sur la dégradation des phytates, a révélé la présence d'activité phytasique au niveau des flocons d'*Avena sativa* avec une concentration de Pi libéré de 71,39 mM/mg de protéines après 30 min d'incubation. Ces phytases possèdent deux pH optimaux de 5 et 9 et une température optimale de 40°C.

La solution des flocons d'*Avena sativa* possède donc des propriétés biologiques importantes, cette étude peut être complétée par :

- Des tests plus approfondis de ces 3 activités (antioxydantes, anti-inflammatoires et enzymatique) pour mieux les caractériser et pour mieux comprendre les mécanismes d'action des molécules dotés de propriétés biologiques ;
- Recherche de ces propriétés biologiques dans d'autres extraits comme par exemple l'extrait méthanolique afin de mieux les caractériser.
- Recherche d'autres propriétés biologiques importantes comme par exemple, les propriétés antifongiques, anticancéreuses, antivirales, antivieillessement, antidiabétique, enzymatiques....
- Tester les possibilités d'utiliser ces propriétés biologiques dans des applications industrielles

## *Références Bibliographiques*



1. **AAT Bioquest, Inc. (2024, February 13).** *Quest Graph™ IC50 Calculator*. AAT Bioquest.
2. **Abbasi, F., Fakhur-un-Nisa, T., Liu, J., Luo, X. et Abbasi, IHR (2019).** Faible digestibilité du phosphore phytate, leurs impacts sur l'environnement et opportunité de phytase dans l'industrie avicole. *Recherche sur les sciences de l'environnement et la pollution* , 26 , 9469-9479.
3. **Agarwal P. K. (2019).** A Biophysical Perspective on Enzyme Catalysis. *Biochemistry*, 58(6), 438–449.
4. **Akbari, A., Izadi-Darbandi, A., Bahmani, K., Farhadpour, M., Ebrahimi, M., Ramshini, H., & Esmaceli, Z. (2023).** Assessment of phenolic profile, and antioxidant activity in developed breeding populations of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 48, 102639.
5. **Al Mahmud, J., Bhuyan, M. B., Anee, T. I., Nahar, K., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2019).** Reactive oxygen species metabolism and antioxidant defense in plants under metal/metalloid stress. *Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches*, 221-257.
6. **Alves, R. R., & Alves, H. N. (2011).** The faunal drugstore: animal-based remedies used in traditional medicines in Latin America. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 7, 9.
7. **Alves, RR et Rosa, IL (2005).** Pourquoi étudier l'utilisation des produits d'origine animale dans les médecines traditionnelles ?. *Journal d'ethnobiologie et d'ethnomédecine* , 1 , 1-5.
8. **Aminlari, M. (2022).** Enzymes d'origine végétale et animale et leur application potentielle dans la transformation et la conservation des aliments. Dans *Nouvelles enzymes de qualité alimentaire : applications dans les industries de transformation et de conservation des aliments* (pp. 17-63). Singapour : Springer Nature Singapour.
9. **Anderton, H., & Alqudah, S. (2022).** Cell death in skin function, inflammation, and disease. *Biochemical Journal*, 479(15), 1621-1651.

10. **Anjum, N. A., Sharma, P., Gill, S. S., Hasanuzzaman, M., Khan, E. A., Kachhap, K., ... & Tuteja, N. (2016).** Catalase and ascorbate peroxidase—representative H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-detoxifying heme enzymes in plants. *Environmental science and pollution research*, 23, 19002-19029.
11. **Aregbesola, A., Tam, C. M., Kothari, A., Le, M. L., Ragheb, M., & Klassen, T. P. (2023).** Glucocorticoids for croup in children. *The Cochrane database of systematic reviews*, 1(1), CD001955.
12. **Arulselvan, P., Fard, M. T., Tan, W. S., Gothai, S., Fakurazi, S., Norhaizan, M. E., & Kumar, S. S. (2016).** Role of antioxidants and natural products in inflammation. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2016.
13. **Asada, K. (2006).** Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. *Plant physiology*, 141(2), 391-396.
14. **Avinash, V. S., Ramasamy, S., Suresh, C. G., & Pundle, A. (2015).** Penicillin V acylase from *Pectobacterium atrosepticum* exhibits high specific activity and unique kinetics. *International journal of biological macromolecules*, 79, 1–7.
15. **Aykul, S., & Martinez-Hackert, E. (2016).** Determination of half-maximal inhibitory concentration using biosensor-based protein interaction analysis. *Analytical biochemistry*, 508, 97–103.
16. **Bag, A., & Ghorai, P. K. (2016).** Development of Quantum Chemical Method to Calculate Half Maximal Inhibitory Concentration (IC<sub>50</sub>). *Molecular informatics*, 35(5), 199–206.
17. **Bag, A., & Ghorai, P. K. (2016).** Development of quantum chemical method to calculate half maximal inhibitory concentration (IC<sub>50</sub>). *Molecular informatics*, 35(5), 199-206.
18. **Banerjee, S., Chanda, A., Adhikari, A., Das, A. K., & Biswas, S. (2014).** Evaluation of phytochemical screening and anti inflammatory activity of leaves and stem of *Mikania scandens* (L.) wild. *Annals of medical and health sciences research*, 4(4), 532-536.
19. **Bartnik, M., & Szafrńska, I. (1987).** Changes in phytate content and phytase activity during the germination of some cereals. *Journal of Cereal Science*, 5(1), 23-28.

20. **Beiranvand, S., Williams, A., Long, S., Brooks, P. R., & Russell, F. D. (2021).** Use of kinetic data to model potential antioxidant activity: Radical scavenging capacity of Australian Eucalyptus honeys. *Food Chemistry*, 342, 128332.
21. **Bhatia, S., Shukla, R., Madhu, S. V., Gambhir, J. K., & Prabhu, K. M. (2003).** Antioxidant status, lipid peroxidation and nitric oxide end products in patients of type 2 diabetes mellitus with nephropathy. *Clinical biochemistry*, 36(7), 557-562.
22. **Blois, M. S. (1958).** Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199-1200.
23. **Bornscheuer, UT et Kazlauskas, RJ (2006).** Hydrolases en synthèse organique : biotransformations régio- et stéréosélectives . John Wiley et fils.
24. **Bortolini, D. G., Maciel, G. M., Fernandes, I. D. A. A., Rossetto, R., Brugnari, T., Ribeiro, V. R., & Haminiuk, C. W. I. (2022).** Biological potential and technological applications of red fruits: An overview. *Food Chemistry Advances*, 1, 100014.
25. **Bose, J., Rodrigo-Moreno, A., & Shabala, S. (2014).** ROS homeostasis in halophytes in the context of salinity stress tolerance. *Journal of experimental botany*, 65(5), 1241-1257.
26. **Boukid, F. (2021).** Les protéines d'avoine comme ingrédients émergents pour la formulation alimentaire : où en sommes-nous ?. *Recherche et technologie alimentaires européennes* , 247 (3), 535-544.
27. **Brady, P. N., & Macnaughtan, M. A. (2015).** Evaluation of colorimetric assays for analyzing reductively methylated proteins: Biases and mechanistic insights. *Analytical biochemistry*, 491, 43-51.
28. **Brady, P. N., & Macnaughtan, M. A. (2015).** Evaluation of colorimetric assays for analyzing reductively methylated proteins: Biases and mechanistic insights. *Analytical biochemistry*, 491, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2015.08.027>
29. **Brantner, A., Maleš, Ž., Pepeljnjak, S. et Antolić, A. (1996).** Activité antimicrobienne de *Paliurus spina-christi* Mill. (épine du Christ).
30. **Brieger, K., Schiavone, S., Miller Jr, F. J., & Krause, K. H. (2012).** Reactive oxygen species: from health to disease. *Swiss medical weekly*, 142(3334), w13659-w136

31. **Burlingham, B. T., & Widlanski, T. S. (2003).** An intuitive look at the relationship of Ki and IC50: a more general use for the Dixon plot. *Journal of chemical education*, 80(2), 214.
32. **Chandel, Nouvelle-Écosse (2021).** Glycolyse. Perspectives de Cold Spring Harbor en biologie
33. **Chantasarasamee, K., Ayuthaya, D. I. N., Intarareugsorn, S., & Dharmsthiti, S. (2005).** Phytase activity from *Aspergillus oryzae* AK9 cultivated on solid state soybean meal medium. *Process Biochemistry*, 40(7), 2285-2289.
34. **Chen, K., & Arnold, F. H. (2020, January 20).** Engineering new catalytic activities in enzymes. *Nature Catalysis*, 3(3), 203–213. <https://doi.org/10.1038/s41929-019-0385-5>
35. **Chen, L., Deng, H., Cui, H., Fang, J., Zuo, Z., Deng, J., Li, Y., Wang, X., & Zhao, L. (2017, December 14).** Inflammatory responses and inflammation-associated diseases in organs. *Oncotarget*, 9(6), 7204–7218.
36. **Chugh, L. K., Kumar, V., Pal, A., & Arti, K. (2022).** Plant phytases: Occurrence, classes, purification strategies and physico-chemical and kinetic properties.
37. **Coban, H. B., & Demirci, A. (2017).** Phytase as a diet ingredient: from microbial production to its applications in food and feed industry. In *Microbial production of food ingredients and additives* (pp. 33-55). Academic Press.
38. **Cooper, directeur général (1999).** La cellule : une approche moléculaire. De Boeck Supérieur.
39. **Costa-Neto, E. M. (2005).** Animal-based medicines: biological prospection and the sustainable use of zootherapeutic resources. *Anais da Academia Brasileira de ciências*, 77, 33-43.
40. **Coulibaly, A., Kouakou, B., & Chen Jie, C. J. (2011).** Phytic acid in cereal grains: structure, healthy or harmful ways to reduce phytic acid in cereal grains and their effects on nutritional quality.
41. **Cowan M. M. (1999).** Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*, 12(4), 564–582.

42. **Cutolo, M., Soldano, S., & Smith, V. (2019).** Pathophysiology of systemic sclerosis: current understanding and new insights. *Expert review of clinical immunology*, 15(7), 753-764.
43. d'action des peptides antimicrobiens et de la résistance bactérienne. *Frontières en microbiologie* , 4 , 71808.
44. **Dalli, J., Colas, RA, Arnardottir, H. et Serhan, CN (2017).** La régulation vagale des cellules lymphoïdes innées du groupe 3 et le PCTR1, immunorésolvant, contrôlent la résolution de l'infection. *Immunité* , 46 (1), 92-105.
45. **Darewicz, M., Pliszka, M., Borawska-Dziadkiewicz, J., Minkiewicz, P., & Iwaniak, A. (2022).** Multi-bioactivity of protein digests and peptides from oat (*Avena sativa* L.) kernels in the prevention of the cardiometabolic syndrome. *Molecules*, 27(22), 7907.
46. Demain, A. L. (1999). Pharmaceutically active secondary metabolites of microorganisms. *Applied microbiology and biotechnology*, 52, 455-463.
47. **Dharmadeva, S., Galgamuwa, L. S., Prasadinie, C., & Kumarasinghe, N. (2018).** In vitro anti-inflammatory activity of *Ficus racemosa* L. bark using albumin denaturation method. *AYU (An international quarterly journal of research in Ayurveda)*, 39(4), 239-242.
48. **Dixit, RB et Suseela, MR (2013).** Cyanobactéries : candidats potentiels pour la découverte de médicaments. *Antonie Van Leeuwenhoek* , 103 , 947-961.
49. **Dossat-Letisse, V., Foulon, J., Marcato-Romain, C. E., & Girbal-Neuhauser, E. (2023, June).** Screening de communautés bactériennes issues de granules aérobies épuratifs. In *CNRIUT 2023 Saint Pierre-La Réunion*. 18 , 1-8.
50. **Duke, JA (2002).** Manuel des herbes médicinales . Presse CRC.
51. **Emmons, C. L., Peterson, D. M., & Paul, G. L. (1999).** Antioxidant capacity of oat (*Avena sativa* L.) extracts. 2. In vitro antioxidant activity and contents of phenolic and tocol antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(12), 4894-4898.
52. **Emran, M. Y., El-Safty, S. A., Shenashen, M. A., & Minowa, T. (2019).** A well-thought-out sensory protocol for screening of oxygen reactive species released from cancer cells. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 284, 456-467.

53. **Enemor, V. H. A., Orji, E. C., Ogbodo, U. C., Nworji, O. F., & Ibeneme, C. L. (2021).** Extraction and comparative characterization of oils from edible seeds of glycine max and sesamum indicum. *Asian Journal of Research in Biochemistry*, 8(4), 1-9.
54. **Enemor, V. H. A., Orji, E. C., Ogbodo, U. C., Nworji, O. F., & Ibeneme, C. L. (2021).** Extraction and comparative characterization of oils from edible seeds of glycine max and sesamum indicum. *Asian Journal of Research in Biochemistry*, 8(4), 1-9.
55. **Esmailipour, O., Moravej, H., Shivazad, M., Rezaian, M., Aminzadeh, S., & Van Krimpen, M. M. (2012).** Effects of diet acidification and xylanase supplementation on performance, nutrient digestibility, duodenal histology and gut microflora of broilers fed wheat based diet. *British Poultry Science*, 53(2), 235-244.
56. **Famuyide, I. M., Aro, A. O., Fasina, F. O., Eloff, J. N., & McGaw, L. J. (2019).** Antibacterial and antibiofilm activity of acetone leaf extracts of nine under-investigated south African *Eugenia* and *Syzygium* (Myrtaceae) species and their selectivity indices. *BMC complementary and alternative medicine*, 19, 1-13.
57. **Furst, L., & Stephenson, C. R. (2011).** Nature-inspired total synthesis. *Nature Chemical Biology*, 7(9), 582-583.
58. **Furukawa, R., Toma, W., Yamazaki, K., & Akanuma, S. (2020).** Ancestral sequence reconstruction produces thermally stable enzymes with mesophilic enzyme-like catalytic properties. *Scientific reports*, 10(1), 15493.
59. **Gasparis, S. et Nadolska-Orczyk, A. (2015).** Avoine (*avena sativa* L.). *Protocoles Agrobacterium : Volume 1*, 143-153.
60. **Ghorbel, M., Zribi, I., Besbes, M., Bouali, N., & Brini, F. (2023).** Catalase gene family in durum wheat: Genome-wide analysis and expression profiling in response to multiple abiotic stress conditions. *Plants*, 12(14), 2720.
61. **Gislin, D., Sudarsanam, D., Raj, G. A., & Baskar, K. (2018).** Antibacterial activity of soil bacteria isolated from Kochi, India and their molecular identification. *Journal of genetic engineering and biotechnology*, 16(2), 287-294.
62. **Goyal, M., & Kaur, N. (2018).** Low temperature induced oxidative stress tolerance in oats (*Avena sativa* L.) genotypes. *Indian journal of plant physiology*, 23, 316-324.

63. **Greiner, R., & Alminger, M. L. (1999).** Purification and characterization of a phytate-degrading enzyme from germinated oat (*Avena sativa*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(11), 1453-1460.
64. **Greiner, R., & Konietzny, U. (2006).** Phytase for food application. *Food Technology & Biotechnology*, 44(2).
65. **Grivennikov, S. I., Greten, F. R., & Karin, M. (2010).** Immunity, inflammation, and cancer. *Cell*, 140(6), 883-899.
66. **Guilhelmelli, F., Vilela, N., Albuquerque, P., Derengowski, L., Silva-Pereira, I. et Kyaw, C. (2013).** Enjeux du développement des antibiotiques : les différents mécanismes.
67. **Gupta, RK, Gangoliya, SS et Singh, NK (2015).** Réduction de l'acide phytique et amélioration des micronutriments biodisponibles dans les céréales alimentaires. *Journal des sciences et technologies alimentaires* , 52 , 676-684.
68. **Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (2015).** *Free radicals in biology and medicine*. Oxford university press, USA.
69. **Handa, V., Sharma, D., Kaur, A. et Arya, SK (2020).** Applications biotechnologiques de la phytase microbienne et de l'acide phytique dans les industries agroalimentaires. *Biocatalyse et biotechnologie agricole* , 25 , 101600.
70. **Handa, V., Thakur, K., & Arya, S. K. (2021).** Exploit of oxalate and phytate from the oilseeds with phytase treated seeds for dietary improvement. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 37, 102168.
71. **Hannoodee, S., & Nasuruddin, D. N. (2020).** Acute inflammatory response.
72. **Haque, I., Subramanian, A., Huang, C. H., Godwin, A. K., Van Veldhuizen, P. J., Banerjee, S., & Banerjee, S. K. (2017).** The Role of Compounds Derived from Natural Supplement as Anticancer Agents in Renal Cell Carcinoma: A Review. *International journal of molecular sciences*, 19(1), 107.
73. **Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., ... & Fotopoulos, V. (2020).** Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, 9(8), 681.

74. **Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., da Silva, J. T., & Fujita, M. (2012).** Crop stress and its management: perspectives and strategies. *Plant response and tolerance to abiotic oxidative stress: antioxidant defense is a key factor*, 261-315.
75. **Hsueh, Y. J., Chen, Y. N., Tsao, Y. T., Cheng, C. M., Wu, W. C., & Chen, H. C. (2022).** The pathomechanism, antioxidant biomarkers, and treatment of oxidative stress-related eye diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1255.
76. **Hwnag, JU, Yang, YH et Choe, TB (2020).** Caractéristiques physiologiques de l'extrait d'avoine germée (*Avena sativa*) comme matière première pour les cosmétiques. *Journal asiatique de beauté et de cosmétologie* .
77. **Ibrahim, MS, Ahmad, A., Sohail, A. et Asad, MJ (2020).** Caractérisation nutritionnelle et fonctionnelle de différents cultivars d'avoine (*Avena sativa* L.). *Journal international des propriétés alimentaires* , 23 (1), 1373-1385.
78. **Ismail, BP, Senaratne-Lenagala, L., Stube, A. et Brackenridge, A. (2020).** Demande en protéines : examen des protéines végétales et animales utilisées dans le développement et la production de produits protéiques alternatifs. *Frontières des animaux* , 10 (4), 53-63.
79. **Jayesh, K., Karishma, R., Vysakh, A., Gopika, P., & Latha, M. S. (2020).** Terminalia bellirica (Gaertn.) Roxb fruit exerts anti-inflammatory effect via regulating arachidonic acid pathway and pro-inflammatory cytokines in lipopolysaccharide-induced RAW 264.7 macrophages. *Inflammopharmacology*, 28, 265-274.
80. **Jiao, Z., Tian, Y., Cao, Y., Wang, J., Zhan, B., Zhao, Z., ... & Fan, Z. (2021).** A novel pathogenicity determinant hijacks maize catalase 1 to enhance viral multiplication and infection. *New Phytologist*, 230(3), 1126-1141.
81. **Jin, L., Quan, C., Hou, X., & Fan, S. (2016).** Potential pharmacological resources: Natural bioactive compounds from marine-derived fungi. *Marine drugs*, 14(4), 76.
82. **Jumarie, C., Séide, M., Marcocci, L., Pietrangeli, P., & Mateescu, M. A. (2017).** Diamine Oxidase from White Pea (*Lathyrus sativus*) Combined with Catalase Protects the Human Intestinal Caco-2 Cell Line from Histamine Damage. *Applied biochemistry and biotechnology*, 182(3), 1171–1181
83. **Kalliokoski, T., Kramer, C., Vulpetti, A., & Gedeck, P. (2013).** Comparability of mixed IC50 data—a statistical analysis. *PloS one*, 8(4), e61007



84. **Karasov, W. H., & Douglas, A. E. (2013).** Comparative digestive physiology. *Comprehensive Physiology*, 3(2), 741.
85. **Kazimierska, K. et Kalinowska-Lis, U. (2021).** Protéines de lait – Leurs activités biologiques et leur utilisation en cosmétique et en dermatologie. *Molécules*, 26 (11), 3253.
86. **KHADANGA, M., SAHOO, N., PANDA, SK, MISHRA, H., & SETHI, AK (2022).** Article de synthèse sur la plante Avena Sativa Linn. *Journal de psychologie scolaire positive*, 6973-6979.
87. **Khan, M. I. R., & Khan, N. A. (Eds.). (2017).** Reactive oxygen species and antioxidant systems in plants: role and regulation under abiotic stress. Singapore: Springer Singapore.
88. **Kielkopf, C. L., Bauer, W., & Urbatsch, I. L. (2020).** Bradford assay for determining protein concentration. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2020(4), pdb-prot102269.
89. **Kingsley, L. J., & Lill, M. A. (2015).** Substrate tunnels in enzymes: structure–function relationships and computational methodology. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 83(4), 599-611
90. **Kocabaş, DS, Lyne, J. et Ustunol, Z. (2022).** Enzymes hydrolytiques dans l'industrie laitière : applications, marché et perspectives d'avenir. *Tendances en science et technologie alimentaires*, 119, 467-475.
91. **Koonin, EV, Krupovic, M., Ishino, S. et Ishino, Y. (2020).** La machinerie de réplication de LUCA : origine commune de la réplication et de la transcription de l'ADN. *Biologie BMC*,
92. **Koréissi-Dembélé, Y., Fanou-Fogny, N., Moretti, D., Schuth, S., Dossa, R. A., Egli, I., ... & Brouwer, I. D. (2013).** Dephytinisation with intrinsic wheat phytase and iron fortification significantly increase iron absorption from fonio (*Digitaria exilis*) meals in West African women. *PLoS One*, 8(10), e70613.
93. **Kurakula, M., Gorityala, S., Basim, P., Sun, M. et Mannem, C. (2021).** Rationalisation des nanolivrables pour une administration efficace de L-asparaginase en chimiothérapie : mise à jour 2020. *Cancer Sci. Rés*, 4 (1), 1-7.
94. **Lallemant, F., Schmitt, M., Bourges, J. L., Gurny, R., Benita, S., & Garrigue, J. S. (2017).** Cyclosporine A delivery to the eye: A comprehensive review of academic

95. **Lawrence, T., & Fong, C. (2010).** The resolution of inflammation: anti-inflammatory roles for NF- $\kappa$ B. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 42(4), 519-523.
96. **Le Bourvellec, C., Bagano Vilas Boas, P., Lepercq, P., Comtet-Marre, S., Auffret, P., Ruiz, P., Bott, R., Renard, C. M. G. C., Dufour, C., Chatel, J. M., & Mosoni, P. (2019).** Procyanidin-Cell Wall Interactions within Apple Matrices Decrease the Metabolization of Procyanidins by the Human Gut Microbiota and the Anti-Inflammatory Effect of the Resulting Microbial Metabolome In Vitro. *Nutrients*, 11(3), 664.
97. **Li, X., Zhou, L., Yu, Y., Zhang, J., Wang, J., & Sun, B. (2022).** The Potential Functions and Mechanisms of Oat on Cancer Prevention: A Review. *Journal of agricultural and food chemistry*, 70(46), 14588–14599.
98. **Li, Y., Cheng, X., Feng, C., & Huang, X. (2023).** Interaction of lead and cadmium reduced cadmium toxicity in *Ficus parvifolia* seedlings. *Toxics*, 11(3), 271.
99. **Liu, X. et Kokare, C. (2023).** Enzymes microbiennes utiles dans l'industrie. Dans *Biotechnologie des enzymes microbiennes* (pp. 405-444). Presse académique.
100. **Liu, X. et Kokare, C. (2023).** Enzymes microbiennes utiles dans l'industrie. Dans *Biotechnologie des enzymes microbiennes* (pp. 405-444). Presse académique.
101. **Loskutov, IG, Gnutikov, AA, Blinova, EV et Rodionov, AV (2021).** L'origine et le potentiel de ressources des espèces sauvages et cultivées du genre avoine (*Avena L.*). *Journal russe de génétique*, 57 (6), 642-661.
102. **Lozano-Navarro, J. I., Díaz-Zavala, N. P., Velasco-Santos, C., Melo-Banda, J. A., Páramo-García, U., Paraguay-Delgado, F., ... & Zapién-Castillo, S. (2018).** Chitosan-starch films with natural extracts: Physical, chemical, morphological and thermal properties. *Materials*, 11(1), 120.
103. **Lushchak, V. I. (2014).** Classification of oxidative stress based on its intensity. *EXCLI journal*, 13, 922.

104. **Madsen, CK et Brinch-Pedersen, H. (2019).** Avancées moléculaires sur les phytases de l'orge et du blé. *Revue internationale des sciences moléculaires* , 20 (10), 2459.
105. **Mahawar, M. M., & Jaroli, D. P. (2006).** Animals and their products utilized as medicines by the inhabitants surrounding the Ranthambhore National Park, India. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 2, 46.
106. **Mäkelä, N., Rosa-Sibakov, N., Wang, YJ, Mattila, O., Nordlund, E. et Sontag-Strohm, T. (2021).** Rôle de la teneur en  $\beta$ -glucane, du poids moléculaire et du phytate dans la liaison des acides biliaires du  $\beta$ -glucane d'avoine. *Chimie alimentaire* , 358 , 129917.
107. **Marshall, A., Cowan, S., Edwards, S., Griffiths, I., Howarth, C., Langdon, T., & White, E. (2013).** Crops that feed the world 9. Oats-a cereal crop for human and livestock feed with industrial applications. *Food security*, 5, 13-33.
108. **McDonald, A. G., & Tipton, K. F. (2014).** Fifty-five years of enzyme classification: advances and difficulties. *The FEBS journal*, 281(2), 583-592.
109. **McDonald, AG et Tipton, KF (2023).** Nomenclature et classification des enzymes : l'état de l'art. *La revue FEBS* , 290 (9), 2214-2231.
110. **Medzhitov, R. (2010).** Inflammation 2010: new adventures of an old flame. *Cell*, 140(6), 771-776.
111. **Meghwanshi, GK, Kaur, N., Verma, S., Dabi, NK, Vashishtha, A., Charan, PD, ... et Kumar, R. (2020).** Enzymes pour applications pharmaceutiques et thérapeutiques. *Biotechnologie et biochimie appliquée* , 67 (4), 586-601.
112. **Mehla, N., Kothari Chhajer, A., Kumar, K., Dahiya, S., & Mohindroo, V. (2021).** Applications of Antioxidants: A Review. *Plant Antioxidants and Health*, 1-29.
113. **Mirończuk-Chodakowska, I., Witkowska, A. M., & Zujko, M. E. (2018).** Endogenous non-enzymatic antioxidants in the human body. *Advances in medical sciences*, 63(1), 68-78.
114. **Mittler, R. (2002).** Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, 7(9),

115. **Mohapatra, T. K., Nayak, R. R., & Subudhi, B. B. (2019).** Exploration of anti-inflammatory and hepatoprotective effect of curcumin on co-administration with acetylsalicylic acid. *J Pharm Pharmacogn Res*, 7(5), 310-22.
116. **Molassiotis, A., & Fotopoulos, V. (2011).** Oxidative and nitrosative signaling in plants: two branches in the same tree?. *Plant Signaling & Behavior*, 6(2), 210-214.
117. **Moosavi-Movahedi, A. A. (2018).** Catalase and its mysteries. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 140, 5-12.
118. **Moriasi, GA, Ileri, AM, Nelson, EM et Ngugi, MP (2021).** Efficacité anti-inflammatoire, antinociceptive et antioxydante in vitro et effets de toxicité orale aiguë des extraits aqueux et méthanoliques d'écorce de tige de *Lonchocarpus eriocalyx* (Harms.). *Héliyon*, 7 (5).
119. **Mullineaux, P. M., & Rausch, T. (2005).** Glutathione, photosynthesis and the redox regulation of stress-responsive gene expression. *Photosynthesis research*, 86, 459-474.
120. **Mustafa, HM et Hayder, G. (2021).** Études récentes sur les applications des plantes aquatiques adventices dans la phytoremédiation des eaux usées : un article de synthèse. *Journal d'ingénierie d'Ain Shams*, 12 (1), 355-365.
121. **Mutukuri, T. T., Ling, J., Du, Y., Su, Y., & Zhou, Q. T. (2023).** Effect of buffer salts on physical stability of lyophilized and spray-dried protein formulations containing bovine serum albumin and trehalose. *Pharmaceutical Research*, 40(6), 1355-1371.
122. **Muzamil, A., Tahir, H. M., Ali, S., Liaqat, I., Ali, A., & Summer, M. (2022).** Inflammatory process and role of cytokines in inflammation: An overview. *Punjab Univ J Zool*, 36, 235-50.
123. **Muzamil, A., Tahir, H. M., Ali, S., Liaqat, I., Ali, A., & Summer, M. (2022).** Inflammatory process and role of cytokines in inflammation: An overview. *Punjab Univ J Zool*, 36, 235-50.
124. **Neubig, R. R., Spedding, M., Kenakin, T., & Christopoulos, A. (2003).** International Union of Pharmacology Committee on Receptor Nomenclature and Drug Classification. XXXVIII. Update on terms and symbols in quantitative

125. **Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2012).** Natural products as sources of new drugs over the 30 years from 1981 to 2010. *Journal of natural products*, 75(3), 311–335.
126. **Ngozi, A. A. (2014).** Effect of whole wheat flour on the quality of wheat-baked bread. *Global Journal of Food Science and Technology*, 2(3), 127-133.
127. **Njus, D., Kelley, P. M., Tu, Y. J., & Schlegel, H. B. (2020).** Ascorbic acid: The chemistry underlying its antioxidant properties. *Free Radical Biology and Medicine*, 159, 37-43.
128. **Ouzounis, CA, Coulson, RM, Enright, AJ, Kunin, V. et Pereira-Leal, JB (2003).** Schémas de classification pour la structure et la fonction des protéines. *Nature Reviews Genetics* , 4 (7), 508-519.
129. **Pahwa, R., Goyal, A., & Jialal, I. (2018).** Chronic inflammation.
130. **Pecchi, E., Dallaporta, M., Jean, A., Thirion, S., & Troadec, J. D. (2009).** Prostaglandins and sickness behavior: old story, new insights. *Physiology & behavior*, 97(3-4), 279-292.
131. **Pereira-Leite, C., Nunes, C., Jamal, S. K., Cuccovia, I. M., & Reis, S. (2017).** Nonsteroidal anti-inflammatory therapy: a journey toward safety. *Medicinal research reviews*, 37(4), 802-859.
132. **Perretti, M., Leroy, X., Bland, E. J., & Montero-Melendez, T. (2015).** Resolution pharmacology: opportunities for therapeutic innovation in inflammation. *Trends in pharmacological sciences*, 36(11), 737-755.
133. **Pizzorno, J. (2014).** Glutathione!. *Integrative Medicine: A Clinician's Journal*, 13(1), 8
134. **Ploschuk, R. A., Miralles, D. J., Colmer, T. D., & Striker, G. G. (2020).** Waterlogging differentially affects yield and its components in wheat, barley, rapeseed and field pea depending on the timing of occurrence. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206(3), 363-375.
135. **Poyton, R. O., Ball, K. A., & Castello, P. R. (2009).** Mitochondrial generation of free radicals and hypoxic signaling. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 20(7), 332-340.

136. **Prahastuti, S., Hidayat, M., Hasiana, S. T., Widowati, W., Widodo, W. S., Handayani, R. A. S., ... & Kusuma, H. S. W. (2020).** The ethanol extract of the bastard cedar (*Guazuma ulmifolia* L.) as antioxidants. *Pharmaciana*, 10(1), 77-88.
137. **Rao, P., & Knaus, E. E. (2008).** Evolution of nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs): cyclooxygenase (COX) inhibition and beyond. *Journal of pharmacy & pharmaceutical sciences*, 11(2), 81s-110s.
138. Rateb ME, Ebel R. Métabolites secondaires de champignons provenant d'habitats marins. *Nat. Prod. Rapport 2011* ; 28 : 290-344: 10.1039/c0np00061b.
139. **Rawlings, ND (2020).** Vingt-cinq ans de nomenclature et de classification des enzymes protéolytiques. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Protéines et protéomique*, 1868 (2), 140345.
140. **Reshma, A. K., & Brindha, P. (2014).** In vitro anti-inflammatory, antioxidant and nephroprotective studies on leaves of *Aegle marmelos* and *Ocimum sanctum*. *Asian J Pharm Clin Res*, 7(4).
141. **Reshma, A. K., & Brindha, P. (2014).** In vitro anti-inflammatory, antioxidant and nephroprotective studies on leaves of *Aegle marmelos* and *Ocimum sanctum*. *Asian J Pharm Clin Res*, 7(4).
142. **Reuter, S., Gupta, S. C., Chaturvedi, M. M., & Aggarwal, B. B. (2010).** Oxidative stress, inflammation, and cancer: how are they linked?. *Free radical biology and medicine*, 49(11), 1603-1616.
143. **Robards, K., Prenzler, P., Ryan, D., & Kamal-Eldin, A. (2009).** Oat Oil. In *Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils* (pp. 433-454). AOCS Press.
144. **Robinson, P. K. (2015).** Enzymes: principles and biotechnological applications. *Essays in biochemistry*, 59, 1.
145. **Rodríguez-Ruiz, M., González-Gordo, S., Cañas, A., Campos, M. J., Paradela, A., Corpas, F. J., & Palma, J. M. (2019).** Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) Fruits Contain an Atypical Peroxisomal Catalase That is Modulated by Reactive Oxygen and Nitrogen Species. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 8(9), 374.

146. **Roychoudhury, A., Basu, S., & Sengupta, D. N. (2012).** Antioxidants and stress-related metabolites in the seedlings of two indica rice varieties exposed to cadmium chloride toxicity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34, 835-847.
147. **Sajidan, Wulandari, R., Sari, E. N., Ratriyanto, A., Weldekiros, H., & Greiner, R. (2015).** Phytase-producing bacteria from extreme regions in Indonesia. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 58(5), 711-717.
148. **Salazar-Magallón, JA et Huerta de la Peña, A. (2020).** Production de saponines antifongiques en bioréacteur airlift avec une lignée cellulaire transformée à partir de *Solanum chrysotrichum* et son activité contre les phytopathogènes du fraisier. *Biochimie préparatoire et biotechnologie*, 50 (2), 204-214.
149. **Salgado, P., Cuong, VC, Van Thu, T. et Ly, NTH (2008).** Production et utilisation de l'avoine fourragère (*Avena strigosa* et *Avena sativa*) au nord du Vietnam: une solution pour résoudre le déficit fourrager en hiver. (Proposition pour la prise en compte de l'avoine fourragère dans la liste officielle d'espèces fourragères du Vietnam).
150. **Sang, S., & Chu, Y. (2017).** Whole grain oats, more than just a fiber: Role of unique phytochemicals. *Molecular nutrition & food research*, 61(7), 1600715.
151. **Santos, K. L., Bragança, V. A., Pacheco, L. V., Ota, S. S., Aguiar, C. P., & Borges, R. S. (2022).** Essential features for antioxidant capacity of ascorbic acid (vitamin C). *Journal of molecular modeling*, 28, 1-8.
152. **Sartelli, M., Weber, D. G., Ruppé, E., Bassetti, M., Wright, B. J., Ansaloni, L., Catena, F., Coccolini, F., Abu-Zidan, F. M., Coimbra, R., Moore, E. E., Moore, F. A., Maier, R. V., De Waele, J. J., Kirkpatrick, A. W., Griffiths, E. A., Eckmann, C., Brink, A. J., Mazuski, J. E., May, A. K., ... Viale, P. (2016).** Antimicrobials: a global alliance for optimizing their rational use in intra-abdominal infections (AGORA). *World journal of emergency surgery : WJES*, 11, 33.
153. **Satani, N., Giridhar, K., Cai, C., Wewior, N., Norris, D. D., Olson, S. D., ... & Savitz, S. I. (2019).** Aspirin in stroke patients modifies the immunomodulatory interactions of marrow stromal cells and monocytes. *Brain Research*, 1720, 146298.
154. **Schueller, R., & Romanowski, P. (2002).** Evaluating shine on hair. *FRAGRANCE JOURNAL*, 30(8), 73-78

155. **Selinsek, M., Deschner, B. J., Doronkin, D. E., Sheppard, T. L., Grunwaldt, J. D., & Dittmeyer, R. (2018).** Revealing the structure and mechanism of palladium during direct synthesis of hydrogen peroxide in continuous flow using operando spectroscopy. *Acs Catalysis*, 8(3), 2546-2557.
156. **Serhan, C. N., Dalli, J., Colas, R. A., Winkler, J. W., & Chiang, N. (2015).** Protectins and maresins: New pro-resolving families of mediators in acute inflammation and resolution bioactive metabolome. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1851(4), 397-413.
157. **Shah, S. A. A., Akhter, N., Auckloo, B. N., Khan, I., Lu, Y., Wang, K., Wu, B., & Guo, Y. W. (2017).** Structural Diversity, Biological Properties and Applications of Natural Products from Cyanobacteria. A Review. *Marine drugs*, 15(11), 354.
158. **Sharma, G. M., Wang, S. S., Pereira, M., Bedford, B., Wehling, P., Arlinghaus, M., ... & Chirtel, S. J. (2021).** Sampling plan designs for gluten estimation in oat flour by discrete and composite sampling. *Food Control*, 129, 107943.
159. **Shukla, E., Bendre, AD et Gaikwad, SM (2022).** Hydrolases : la classe d'enzymes la plus diversifiée. Dans *Hydrolases* . Londres : IntechOpen.
160. **Singh, A., Singh, A., Grover, S., Pandey, B., Kumari, A., & Grover, A. (2018).** Wild-type catalase peroxidase vs G279D mutant type: Molecular basis of Isoniazid drug resistance in *Mycobacterium tuberculosis*. *Gene*, 641, 226-234.
161. **Singh, B. et Satyanarayana, T. (2011).** Phytases microbiennes dans l'acquisition du phosphore et la promotion de la croissance des plantes. *Physiologie et biologie moléculaire des plantes* , 17 , 93-103.
162. **Singh, R. K., Patel, K. D., Lee, J. H., Lee, E. J., Kim, J. H., Kim, T. H., & Kim, H. W. (2014).** Potential of magnetic nanofiber scaffolds with mechanical and biological properties applicable for bone regeneration. *PloS one*, 9(4), e91584.
163. **Singh, R., Kumar, M., Mittal, A., & Mehta, P. K. (2017).** Microbial metabolites in nutrition, healthcare and agriculture. *3 Biotech*, 7, 1-14.
164. **Šmídová, Z. et Rysová, J. (2022).** Technologie du pain et des produits de boulangerie sans gluten. *Aliments* , 11 (3), 480.



165. **Sood, V. K., Sanadya, S. K., Kumar, S., Chand, S., & Kapoor, R. (2022).** Health benefits of oat (*Avena sativa*) and nutritional improvement through plant breeding interventions. *Crop and Pasture Science*.
166. **Spellberg, B., Guidos, R., Gilbert, D., Bradley, J., Boucher, HW, Scheld, WM, ... et Infectious Diseases Society of America. (2008).** L'épidémie d'infections résistantes aux antibiotiques : un appel à l'action pour la communauté médicale de l'Infectious Diseases Society of America. *Maladies infectieuses cliniques* , 46 (2), 155-164.
167. **Suzuki, M., Ito, Y., Fujino, T., Abe, M., Umegaki, K., Onoue, S., ... et Yamada, S. (2009).** Effets pharmacologiques de l'extrait de palmier nain dans les voies urinaires inférieures. *Acta Pharmacologica Sinica* , 30 (3), 271-281.
168. **Tripathi, V., Mohd, AS et Ashraf, T. (2018).** Avenanthramides d'avoine : importance médicinale et perspectives d'avenir. *Examens de pharmacognosie* , 12 (23).
169. **Uno-Okamura, K., Soga, K., Wakabayashi, K., Kamisaka, S., & Hoson, T. (2004).** Purification and properties of apoplastic amylase from oat (*Avena sativa*) seedlings. *Physiologia Plantarum*, 121(1), 117-123.
170. **Urbano, A. (2003).** Recent developments in the synthesis of helicene-like molecules. *Angewandte Chemie International Edition*, 42(34), 3986-3989.
171. **Vézina, C., Kudelski, A., & Sehgal, S. N. (1975).** Rapamycin (AY-22, 989), a new antifungal antibiotic I. taxonomy of the producing streptomycete and isolation of the active principle. *The Journal of antibiotics*, 28(10), 721-726.
172. **Vyas, S., Prajapati, P., Shah, A. V., Srivastava, V. K., & Varjani, S. (2022).** Opportunities and knowledge gaps in biochemical interventions for mining of resources from solid waste: a special focus on anaerobic digestion. *Fuel*, 311, 122625.
173. **Walid, Y., Malgorzata, N., Katarzyna, R., Piotr, B., Ewa, O. L., Izabela, B., ... & Moufida, S. T. (2022).** Effect of rosemary essential oil and ethanol extract on physicochemical and antibacterial properties of optimized gelatin–chitosan film using mixture design. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(1), e16059.
174. **Wang, C. S., Luo, S. D., Jia, S., Wu, W., Chang, S. F., Feng, S. W., ... & Wee, Y. (2022).** Balance of macrophage activation by a complex coacervate-based adhesive drug carrier facilitates diabetic wound healing. *Antioxidants*, 11(12), 2351.

175. **Wannes, W. A., Mhamdi, B., Sriti, J., Jemia, M. B., Ouchikh, O., Hamdaoui, G., ... & Marzouk, B. (2010).** Antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts from myrtle (*Myrtus communis* var. *italica* L.) leaf, stem and flower. *Food and chemical toxicology*, 48(5), 1362-1370.
176. **Warren, RI (1995).** Le livre complet des remèdes naturels et médicaux - Comment choisir les agents curatifs les plus puissants pour plus de 300 affections et maladies. *Journal de la lactation humaine* , 11 (4), 339-339.
177. **Wei, M., Tang, M., Wang, L., Cheng, X., Wu, Y. et Ouyang, J. (2021).** Les composés bioactifs endogènes de l'avoine nue (*Avena nuda* L.) inhibent l'activité de l' $\alpha$ -amylase et de l' $\alpha$ -glucosidase. *LWT* , 149 , 111902.
178. **Xiang, YT, Wang, XL, Hu, XZ, Ren, CZ, Guo, LC et Li, L. (2022).** Différence d'activité lipase des variétés d'avoine et prédiction d'une variété à faible activité lipase de haute qualité.
179. **Xie, J., & Schaich, K. M. (2014).** Re-evaluation of the 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl free radical (DPPH) assay for antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(19), 4251-4260.
180. **Xu, Z., Chen, X., Lu, X., Zhao, B., Yang, Y., & Liu, J. (2021).** Integrative analysis of transcriptome and metabolome reveal mechanism of tolerance to salt stress in oat (*Avena sativa* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 160, 315-328.
181. **Yang, J., Ou, B., Wise, M. L., & Chu, Y. (2014).** In vitro total antioxidant capacity and anti-inflammatory activity of three common oat-derived avenanthramides. *Food Chemistry*, 160, 338-345.
182. **Yesmin, S., Paul, A., Naz, T., Rahman, A. A., Akhter, S. F., Wahed, M. I. I., ... & Siddiqui, S. A. (2020).** Membrane stabilization as a mechanism of the anti-inflammatory activity of ethanolic root extract of Choi (*Piper chaba*). *Clinical Phytoscience*, 6, 1-10.
183. **Yuanqing, H., Pengyao, Y., Yangyang, D., Min, C., Rui, G., Yuqing, D., ... & Haile, M. (2021).** The preparation, antioxidant activity evaluation, and iron-deficient anemic improvement of oat (*Avena sativa* L.) peptides–ferrous chelate. *Frontiers in Nutrition*, 8, 687133.

184. **Zhang, Y., Li, Y., Ren, X., Zhang, X., Wu, Z., & Liu, L. (2023).** The positive correlation of antioxidant activity and prebiotic effect about oat phenolic compounds. *Food Chemistry*, 402, 134231.
185. **Zribi, I., Ghorbel, M., Haddaji, N., Besbes, M., & Brini, F. (2023).** Genome-wide identification and expression profiling of pathogenesis-related protein 1 (PR-1) genes in durum wheat (*Triticum durum* desf.). *Plants*, 12(10), 1998.

## Résumé

Les activités biologiques tels que les activités antioxydantes, anti-inflammatoires et enzymatiques ont une importance cruciale dans la vie des humains et elles sont utilisées dans les différents secteurs de la santé, de la pharmacie, de l'alimentaire et bien d'autres.

L'avoine (*Avena sativa*) est une plante annuelle appartenant à la famille des *Poaceae*, considérée comme la 6<sup>ème</sup> culture céréalière la plus importante au monde. Ces graines transformées en flocons d'avoines riches aux métabolites secondaires qui se caractérisent par de précieuses propriétés biologiques, médicinales, nutritionnelles ou pharmaceutiques.

Pour cela l'objectif de notre travail consistait à rechercher des propriétés antioxydantes (activité catalasique et anti-radicalaire), anti-inflammatoires (inhibition de la dénaturation de l'ovalbumine) et enzymatiques (activité phytasique) dans les flocons d'avoine.

Les résultats obtenus montrent la présence d'une activité catalasique ( $IC_{50} = 116,3 \text{ mg/mL}$ ) et une activité anti radicalaire ( $IC_{50} = 11,88 \text{ mg/mL}$ ) et une activité inhibitrice de la dénaturation de l'ovalbumine ( $IC_{50} = 20,52 \text{ mg/mL}$ ). Concernant l'activité phytasique, les résultats ont montré la présence d'une capacité de dégradation de l'acide phytique par la solution des flocons d'*Avena sativa* avec une concentration de Pi libéré de 2,37mM/mg de protéines par minute 2 pH optimaux de 5 et 9 et une température optimale de 40°C.

**Mots clés :** propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, activité phytasique, *Avena sativa*, flocons d'avoine.

### Abstract

Biological activities such as antioxidant, anti-inflammatory and enzymatic activities have a crucial importance in human life and they are used in the different sectors of health, pharmacy, food and many others.

Oat (*Avena sativa*) is an annual plant belonging to the *Poaceae* family, considered the 6th most important cereal crop in the world. These seeds transformed into oat flakes rich in secondary metabolites which are characterized by valuable biological, medicinal, nutritional or pharmaceutical properties.

For this, the objective of our work was to research antioxidant (catalasic and anti-radical activity), anti-inflammatory (inhibition of ovalbumin denaturation) and enzymatic (phytase activity) properties in oat flakes.

The results obtained show the presence of a catalasic activity ( $IC_{50} = 116.3 \text{ mg/mL}$ ) and an anti-radical activity ( $IC_{50} = 11.88 \text{ mg/mL}$ ) and an inhibitory activity of the denaturation of ovalbumin ( $IC_{50} = 20.52 \text{ mg/mL}$ ). Concerning the phytasic activity, the results showed the presence of a capacity for degradation of phytic acid by the solution of *Avenasativa* flakes with a concentration of Pi released of 2.37mM/mg of proteins per minute 2 optimal pH of 5 and 9 and an optimal temperature of 40°C.

**Key words:** antioxidant, anti-inflammatory properties, phytase activity, *Avena sativa*, oat flakes.

### ملخص

الأنشطة البيولوجية مثل الأنشطة المضادة للأكسدة والمضادة للالتهابات والأنزيمية لها أهمية حاسمة في حياة الإنسان وتستخدم في قطاعات مختلفة من الصحة والصيدلة والغذاء وغيرها الكثير.

الشوفان (*Avena sativa*) هو نبات سنوي ينتمي إلى عائلة *Poaceae* ، ويعتبر سادس أهم محصول الحبوب في العالم. تتحول هذه البذور إلى رقائق شوفان غنية بالأبيضات الثانوية التي تتميز بخصائص بيولوجية أو طبية أو غذائية أو دوائية قيمة.

لهذا، كان الهدف من عملنا هو البحث عن مضادات الأكسدة (النشاط الكاتالاسي والمضاد للجذور)، والخصائص المضادة للالتهابات (تثبيط تمسخ الألبومين الببضاوي) والخصائص الأنزيمية (نشاط الفيتاز) في رقائق الشوفان.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها وجود نشاط كاتالازي ( $IC_{50} = 116.3 \text{ ملغم/مل}$ ) ونشاط مضاد للجذور ( $IC_{50} = 11.88 \text{ ملغم/مل}$ ) ونشاط مثبط تمسخ الألبومين الببضاوي ( $IC_{50} = 20.52 \text{ ملغم/مل}$ ). (وفيما يتعلق بنشاط الفيتاز، أظهرت النتائج وجود قدرة على تحلل حمض الفيتيك بمحلول رقائق أفيناساتيفا بتركيز باي المنطلق 2.37 ملي مولار/ ملغ من البروتينات في الدقيقة 2 درجة حموضة مثالية 5 و 9 ودرجة حرارة مثالية. من 40 درجة مئوية.

**الكلمات المفتاحية:** مضادات الأكسدة، الخصائص المضادة للالتهابات، نشاط الفيتاز، *Avena sativa* ، رقائق الشوفان.

