



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

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

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1  
كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de Biochimie et Biologie Cellulaire et Moléculaire

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Science Alimentaire

Spécialité : *Biochimie de la Nutrition*

## Propriétés nutritionnelles potentiels antioxydants des champignons comestibles

Soutenu par :

**BADAOUI chahinez**

&

**DOUIBI intissar kenza**

Le : 09/09/2020

**Jury d'évaluation :**

**Président du jury :** Dr. Djekrif-Dakhmouche .S

(MCA-ENS Constantine)

**Examinatrice :** Dr BENNAMOUN. L

(MCB-UFM Constantine)

**Rapporteur :** Dr. NOUADRI. T

(MCA-UFM Constantine)

**Co-Rapporteur:** Mr KEBAILI Fethi Farouk

(Doctorant-UFM Constantine)

*Année universitaire*

*2019-2020*





## Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier **ALLAH** tout puissant : Merci de nous avoir tenues en bonne santé pour la réalisation de ce mémoire, merci de nous avoir guidées vers le chemin de la lumière et du savoir, merci de nous avoir donnée la force et le courage d'entreprendre ce travail . Que gloire et louanges vous soient consacrées l'éternité.

Notre reconnaissance et nos remerciements vont en premier lieu à notre encadreur Mr **Dr. NOUADRI. T** et Mr **KEBAILI Fethi Farouk** notre co-encadreur veuille trouver ici l'expression de notre reconnaissance pour avoir accepté de diriger notre travail et pour tous leurs conseils qui ont contribués à l'élaboration de ce projet et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.

Nous particulièrement reconnaissante à **Dr. Djekrif-Dakhmouche .S** pour l'honneur qu'il nous avons fait d'avoir acceptée de présidence du jury de notre travail.

Nous remercions énormément **Dr. BENNAMOUN. L** d'avoir acceptée d'être le rapporteur de ce manuscrit.

Sans oublier de remercier tous les enseignants du Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et spécialement tous les enseignants de département de Biochimie et Biologie Cellulaire et Moléculaire.

Enfin nous remercions également tous ceux qui nous ont soutenus, encouragé et aidés au cours de la réalisation de ce mémoire.

**Merci à toutes et tous**

# Dédicaces

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut ...*

*Tous les mots ne saurait exprimer la gratitude,*

*L'amour, le respect, la reconnaissance ...*

*Aussi, c'est tout simplement que*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*Puis Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.*

*A ma chère soeur Ikbal A mon chère frère Djihad*

*En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

*A la personne la plus chère à mon cœur ma petite fille BEISSAN*

*Petit être source de joie, tu es magnifique printemps venant illuminer ma vie. Je te dédie ce travail pour te montrer tout l'amour que je te porte.*

*A mes chères tantes*

*Quarda et Wahiba vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence.*

*Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous.*

*A ma binôme : Chahinez*

*A mes chers camarades : Abir et Khaoula*

*En souvenir de nos éclats de rire et des bons moments. En souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble. J'espère que cette période reste inoubliable.*

# Dédicaces

Je dédie ce travail à celui que je ne pourrais jamais remercier :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, rien au monde ne vaut les efforts qu'il a fournis jour et Nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consenti pour moi. Bien que vous n'êtes pas avec moi aujourd'hui mais tu resteras toujours dans mon cœur, ton image m'accompagne dans tout ce que je fais. Que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père **Abdelwaheb**.

À la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas, la flamme de mon cœur, ma vie et mon Bonheur ; ma mère **wafika** qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'études, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité, Tes prières m'ont été un grand secours pour mener à bien mes études. . Je pris Dieu pour qu'il vous accorde santé et une longue vie, Merci Mama sans toi je ne serai pas arrivée jusque là.

A ma très chère sœur **HOUDA** et son mari **NADJI**

Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de longue vie.

Ma petite princesse **malak** qui illumine Ma vie, Votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur. Puisse Dieu vous garder, éclairer votre route. Je t'aime énormément.

À la joie et le bonheur de ma vie à mes chers petite sœurs **MARWA** et **SABA**, je souhaite un avenir radieux et plein de réussite que Dieu vous bénisse insha Allah.

Ma grand-mère **LOUIZA** Qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui prêter longue vie et bcp de santé.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnés durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, Meriem et Ines, afnane.

A mon binôme **INTISSAR KENZA**.

**Chahinez**

## Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé en français

Résumé en anglais

Résumé en arabe Résumé en anglais

|                                                                 |          |
|-----------------------------------------------------------------|----------|
| <b>INTRODUCTION .....</b>                                       | <b>1</b> |
| Chapitre I: Stress oxydatif .....                               | 3        |
| 1.1 Définition stress oxydatif.....                             | 4        |
| 1.2 Les radicaux libres.....                                    | 4        |
| 1.3 Les sources d'espèces réactives .....                       | 5        |
| 1.3.1 Les espèces azotées réactives (ERA ou RNS) .....          | 6        |
| 1.3.2 Sources endogènes .....                                   | 7        |
| 1.3.3 Origine des espèces oxygénées réactives (ERO ou ROS)..... | 8        |
| 1.3.4 Sources exogène.....                                      | 9        |
| 1.4 Les différents types des radicaux libres.....               | 9        |
| 1.4.1 Les Radicaux libres radicalaire .....                     | 9        |
| 1.4.2 Les Radicaux libres non radicalaire .....                 | 10       |
| 1.5 Conséquences du stress oxydant .....                        | 11       |
| 1.5.1 Rôles physiologiques des ROS .....                        | 11       |
| 1.5.1.1 Défense contre les infections.....                      | 11       |
| 1.5.1.2 Messagers cellulaires .....                             | 11       |
| 1.5.1.3 Régulation vasculaire.....                              | 12       |
| 1.5.1.4 La phagocytose .....                                    | 12       |
| 1.5.1.5 La signalisation cellulaire .....                       | 12       |
| 1.5.2 Oxydation des macromolécules .....                        | 12       |
| 1.5.2.1 Oxydation de l'ADN.....                                 | 12       |
| 1.5.2.2 Oxydation des protéines.....                            | 13       |
| 1.5.2.3 Peroxydation des lipides .....                          | 14       |
| 1.5.2.4 Oxydation des glucides .....                            | 15       |
| 1.6 Maladies liées au stress oxydatif.....                      | 16       |
| 1.7 Système Antioxydant.....                                    | 16       |

|                                                                                   |                                                                  |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----|
| 1.7.1                                                                             | Systèmes enzymatiques .....                                      | 17 |
| 1.7.1.1                                                                           | Superoxyde dismutase (SOD) .....                                 | 17 |
| 1.7.1.2                                                                           | Catalase (CAT).....                                              | 18 |
| 1.7.1.3                                                                           | La glutathion peroxydase (GPX).....                              | 18 |
| 1.7.2                                                                             | Antioxydants non enzymatiques .....                              | 18 |
| 1.7.2.1                                                                           | Antioxydants non-enzymatiques d'origine endogène.....            | 18 |
| 1.7.2.2                                                                           | Antioxydants non-enzymatiques d'origine exogène .....            | 19 |
| CHAPITRE II : Champignons comme source d'antioxydant.....                         |                                                                  | 21 |
| 2                                                                                 | Définition des champignons .....                                 | 22 |
| 2.1                                                                               | Les Composés phénoliques.....                                    | 25 |
| 2.1.1                                                                             | Les polyphénols .....                                            | 25 |
| 2.1.1.1                                                                           | Les acides phénoliques .....                                     | 26 |
| 2.1.1.1.1                                                                         | Les acides hydroxybenzoïques (C6-C1).....                        | 26 |
| 2.1.1.1.2                                                                         | Les acides hydrocinnamiques (C6-C3) .....                        | 27 |
| 2.1.1.2                                                                           | Les flavonoïdes (C6-C3-C6).....                                  | 28 |
| 2.2                                                                               | Les vitamines .....                                              | 30 |
| 2.2.1                                                                             | Vitamine E (tocophérol) .....                                    | 31 |
| 2.2.2                                                                             | Vitamine C (acide ascorbique).....                               | 32 |
| 2.2.3                                                                             | Caroténoïde.....                                                 | 34 |
| CHAPITRE III : Valeur nutritionnelle et effet thérapeutique des champignons ..... |                                                                  | 37 |
| 3                                                                                 | Valeur nutritionnelle des champignons .....                      | 38 |
| 3.1                                                                               | Proteines .....                                                  | 38 |
| 3.2                                                                               | Glucides .....                                                   | 40 |
| 3.3                                                                               | Lipides .....                                                    | 41 |
| 3.4                                                                               | Vitamines .....                                                  | 43 |
| 3.5                                                                               | Constituants minéraux .....                                      | 44 |
| 4                                                                                 | Effet thérapeutique des champignons.....                         | 45 |
| 4.1                                                                               | Champignons aux propriétés anti-oxydantes .....                  | 46 |
| 4.2                                                                               | Champignons aux propriétés anti-inflammatoires .....             | 48 |
| 4.3                                                                               | Champignons aux propriétés antidiabétiques .....                 | 49 |
| 4.4                                                                               | Champignons aux propriétés anticancéreuses .....                 | 50 |
| 4.5                                                                               | Prévention des champignons contre Maladie cardiovasculaire ..... | 52 |
| 5                                                                                 | Traitement des champignons .....                                 | 53 |
| 5.1                                                                               | Aliments fonctionnels à base de champignons comestibles .....    | 53 |
| 5.2                                                                               | Enzymes utiles dans l'industrie alimentaire .....                | 54 |

|     |                                                                 |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------|----|
| 5.3 | Complément alimentaire à base des champignons comestibles.....  | 54 |
| 5.4 | Formulations cosmétiques à base de champignons comestibles..... | 54 |
|     | Conclusion et perspective .....                                 | 57 |
|     | Références Bibliographiques .....                               | 58 |

## Liste des figures

| <b>Figure</b>    | <b>Titre</b>                                                                                                                                                                              | <b>page</b> |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Figure 1</b>  | Stress oxydant                                                                                                                                                                            | <b>04</b>   |
| <b>Figure 2</b>  | Représentation d'un radical libre                                                                                                                                                         | <b>05</b>   |
| <b>Figure 3</b>  | Les principales réactions conduisant à la production des ROS                                                                                                                              | <b>06</b>   |
| <b>Figure 4</b>  | Production de radicaux libres par la NADPH oxydase (Nox-2) des phagocytes                                                                                                                 | <b>07</b>   |
| <b>Figure 5</b>  | Sources de stress oxydant endogènes et exogènes                                                                                                                                           | <b>08</b>   |
| <b>Figure 6</b>  | Les principaux dommages oxydatifs médiés à l'ADN par les ERO                                                                                                                              | <b>13</b>   |
| <b>Figure 7</b>  | Nature de quelques modifications des chaînes latérales d'acides aminés des protéines après attaque radicalaire                                                                            | <b>14</b>   |
| <b>Figure 8</b>  | Mécanisme en chaîne de la peroxydation des acides gras polyinsaturés et nature des produits terminaux formés                                                                              | <b>15</b>   |
| <b>Figure 9</b>  | Les pathologies liées au stress oxydant                                                                                                                                                   | <b>16</b>   |
| <b>Figure 10</b> | Régulation de la production d'espèces réactives de l'oxygène par les systèmes de défenses antioxydants                                                                                    | <b>17</b>   |
| <b>Figure 11</b> | Morphologie d'un champignon                                                                                                                                                               | <b>22</b>   |
| <b>Figure 12</b> | Quelques exemples de champignons selon leur mode de vie (a) : Coprinuscomatus; (b): Pleurotus ostreatus, sur un arbre ; (c): Amanita muscaria, Basidiomycètes croissant sous les bouleaux | <b>23</b>   |
| <b>Figure 13</b> | Piégeage d'un radical libre par les flavonoïdes                                                                                                                                           | <b>28</b>   |
| <b>Figure 14</b> | Squelette de base des flavonoïdes                                                                                                                                                         | <b>28</b>   |
| <b>Figure 15</b> | Structures chimiques des tocophérols                                                                                                                                                      | <b>31</b>   |
| <b>Figure 16</b> | Structure de l'acide ascorbique                                                                                                                                                           | <b>32</b>   |
| <b>Figure 17</b> | Equation entre l'Acide Ascorbique et Déshydroascorbique                                                                                                                                   | <b>33</b>   |
| <b>Figure 18</b> | Structures de certains des principaux caroténoïdes alimentaires                                                                                                                           | <b>35</b>   |
| <b>Figure 19</b> | Teneur en éléments nutritifs de cinq champignons sélectionnés, telle que rapportée par la Base de données nationale sur les éléments nutritifs                                            | <b>38</b>   |

|                  |                                                                                      |           |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure 20</b> | Illustration schématique des applications thérapeutiques des champignons comestibles | <b>46</b> |
| <b>Figure 21</b> | Divers nutricosmétiques contenant des champignons.                                   | <b>55</b> |
| <b>Figure 22</b> | Cosmétiques contenant des champignons ou leurs extraits.                             | <b>55</b> |

## Liste des Tableaux

| <b>Tableau</b>    | <b>Titre</b>                                                                                                                                  | <b>Page</b> |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Tableau 1</b>  | Les principaux formes réactives de nitrogène                                                                                                  | <b>06</b>   |
| <b>Tableau 2</b>  | Nature des différentes espèces radicalaires impliquées dans le stress oxydant                                                                 | <b>09</b>   |
| <b>Tableau 3</b>  | Exemples des champignons comestibles                                                                                                          | <b>24</b>   |
| <b>Tableau 4</b>  | phénolique total des études culinaires sur les champignons médicinaux                                                                         | <b>25</b>   |
| <b>Tableau 5</b>  | Acides phénoliques et teneur en acide cinnamique d'une variété de champignons comestibles, exprimés en $\mu\text{g}$ par gramme de champignon | <b>26</b>   |
| <b>Tableau 6</b>  | Dérivés d'acide hydroxybenzoïque                                                                                                              | <b>27</b>   |
| <b>Tableau 7</b>  | Dérivés de l'acide hydroxy cinnamiques                                                                                                        | <b>27</b>   |
| <b>Tableau 8</b>  | Récapitulatif des six classes de flavonoïdes                                                                                                  | <b>29</b>   |
| <b>Tableau 9</b>  | La teneur en flavonoïdes dans certain champignons comestibles                                                                                 | <b>30</b>   |
| <b>Tableau 10</b> | Tocophérols déterminés dans les champignons sauvages comestibles                                                                              | <b>32</b>   |
| <b>Tableau 11</b> | Teneur en acide ascorbique déterminés dans les champignons sauvages comestibles                                                               | <b>34</b>   |
| <b>Tableau 12</b> | Les caroténoïdes déterminés dans les champignons sauvages comestibles                                                                         | <b>36</b>   |
| <b>Tableau 13</b> | Acide aminé essentiel dans 100 g de champignons                                                                                               | <b>39</b>   |
| <b>Tableau 14</b> | Composition des sucres de certains champignons comestibles                                                                                    | <b>41</b>   |
| <b>Tableau 15</b> | Teneur en bêta-glucane des champignons comestibles. Les données sont en g / 100 g                                                             | <b>41</b>   |
| <b>Tableau 16</b> | Pourcentages (dans 100 g d'acides gras totaux) des acides gras essentiels les plus importants déterminés dans les espèces de champignons      | <b>43</b>   |
| <b>Tableau 17</b> | Teneur en vitamines des champignons cultivés analysés (mg ou $\mu\text{g}$ / 100 g)                                                           | <b>44</b>   |

|                   |                                                                                                                                                                                                      |           |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau 18</b> | Teneur habituelle des oligo-éléments (mg kg <sup>-1</sup> DM) dans les corps fruitiers de champignons sauvages provenant de zones non polluées, et d'accumuler des espèces génériques et des espèces | <b>45</b> |
| <b>Tableau 19</b> | Activités antioxydants de certains champignons                                                                                                                                                       | <b>47</b> |
| <b>Tableau 20</b> | Champignons médicinaux qui auraient des propriétés antidiabétiques                                                                                                                                   | <b>50</b> |
| <b>Tableau 21</b> | Le mécanisme d'action des composés de champignons in vitro                                                                                                                                           | <b>52</b> |
| <b>Tableau 22</b> | Champignons comestibles et réduction des risques cardiovasculaires                                                                                                                                   | <b>53</b> |
| <b>Tableau 23</b> | Aperçu de certains compléments alimentaires aux champignons                                                                                                                                          | <b>54</b> |

## Liste d abréviation

**1O<sub>2</sub>** : L'oxygène singlet

**ACE** : L'enzyme de conversion angiotensique

**AGEs**: Advanced glycation end-product

**AGMI** : Acides gras monoinsaturés

**AGPI** : Acides gras polyinsaturés

**AGS**: Acides gras saturés

**AND**: Acide désoxyribonucléique

**CAM**: Médecine complémentaire ET alternative

**CAT**: Catalase

**EAA** : Acides aminés essentiels

**ERA ou RNS** : Les espèces azotées réactives

**ERO ou ROS** : D'espèces réactives de l'oxygène

**GPX**: Glutathion peroxydase

**GSH/GSSG**: Glutathion

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Le peroxyde d'hydrogène

**HCA**: Acides hydroxycinnamiques

**HDL**: High Density Lipoprotein

**HDL**: High Density Lipoprotein

**HOCl**: L'acide hypochlorique

**INOS** : Inductibles oxyde nitrique synthase

**LDL**: Low Density Lipoprotein

**MCV** : Maladies cardiovasculaire

**MPO** : La myéloperoxydase

**MRST** : Maladie rénale au stade terminal

**NADPH** : Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate réduit

**NO** : Monoxyde d'azote

**NO•** : Le monoxyde d'azote

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Le Peroxynitrite

**NOS** : Nitrique oxyde synthase

**O<sub>2</sub><sup>•-</sup>** : Le radical anion superoxyde

**OH•** : Le radical hydroxyle

**R•** : Les radicaux alkyles

**RAAS** : Système rénine-angiotensine-aldostérone

**RL** : Radicaux libres

**RONS** : Réactive Oxygen and Nitrogène Species

**ROO•** : Peroxydes

**SOD**: Superoxyde dismutase

**TAA** : Acides aminés totaux

**ω-6** : Oméga 6

**ω-3** : Oméga 3

## **Résumé :**

Le stress oxydatif résulte d'un déséquilibre selon la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les capacités de défense antioxydant de l'organisme, le mécanisme de défense antioxydants enzymatique et non enzymatique intervient dans la regulation potentielle le stress oxydatif.

Les champignons comestibles sont plus importants dans notre système alimentaire, par leur valeur nutritionnelle, le partage de certains avantages des fruits et légumes. Les champignons comestibles sont des aliments riches en nutriments essentiels tel que les protéines, les lipides, les fibres alimentaires,  $\beta$ -glucane, vitamines et les minéraux. Différents espèces des champignons comestibles ont été identifiées comme source des composés bioactifs (par exemple, les composés phénoliques) qui ont des propriétés bénéfiques telles que les effets antioxydants. Outre les champignons comestibles peuvent être utilisés aussi comme un procédé de biothérapies qui peut aider à développer de nouveaux médicaments. Les champignons comestibles considérés comme un aliment idéal pour les personnes diabétiques afin de prévenir l'hyperglycémie, les cardiopathologies, les memes espèces considérés ont des activités anti-inflammatoires et anti-cancéreuses.

Grace à leurs propriétés nutritionnelles et thérapeutiques des champignons comestibles, ont été exploités dans l'industrie alimentaire pour l'enrichissement des aliments transformés, les compléments alimentaires et aussi dans les produits cosmétiques. Pour suivre un régime alimentaire sain et équilibré, nous devons intégrer les champignons comestibles dans nos repas.

**Mots clés :** Champignon comestible, Valeur nutritive, effet thérapeutique, stress oxydatif, activité antioxydant.

## **Abstract:**

Oxidatif stress results from an imbalance between the production of reactive oxygen species (ROS) and the body's antioxidant defense capabilities. The enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense mechanism is involved in the potential regulation of stress oxidatif.

Edible mushrooms are more important in our food system, because of their nutritional value, sharing some of the benefits of fruits and vegetables. Edible mushrooms are foods rich in essential nutrients such as protein, fat, dietary fiber,  $\beta$ -glucan, vitamins and minerals. Different species of edible mushrooms have been identified as a source of bioactive compounds (e.g., phenolic compounds) that have beneficial properties such as antioxidant effects. In addition to edible mushrooms can also be used as a process of biotherapies that can help to develop new drugs. Edible mushrooms considered an ideal food for diabetics to prevent hyperglycemia, cardiopathologies, the same species considered have anti-inflammatory and anti-cancer activities.

Thanks to their properties nutritional and therapeutique of edible mushrooms have been exploited in the food industry for the enrichment of processed foods, food supplements and also in cosmetic products. In order to follow a healthy and balanced diet, we must integrate edible mushrooms in our meals.

**Keywords:** edible mushroom, Nutritional value, therapeutic effect, oxidatif stress, antioxidant activity.

## الملخص :

ينتج الإجهاد التأكسدي عن اختلال التوازن بين إنتاج أنواع الأوكسجين التفاعلية وقدرات الجسم الدفاعية المضادة للأكسدة، وآلية الدفاع المضادة للأكسدة الأنزيمية وغير الأنزيمية التي تنظم التوازن التأكسدي.

أصبح الفطر الصالح للأكل أكثر أهمية في نظامنا الغذائي بسبب قيمته الغذائية، وقد يشترك في بعض فوائد الفواكه والخضروات فهي أغذية متعددة الاستخدامات غنية بالعناصر الغذائية مثل البروتين والدهون والألياف الغذائية والسكريات والفيتامينات والمعادن. على وجه الخصوص، تم تحديد الفطريات الصالحة للأكل كمصدر للمركبات النشطة بيولوجيًا (مثل المركبات الفينولية) التي لها خصائص مفيدة مثل التأثيرات المضادة للأكسدة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام الفطر الصالح للأكل كمصدر للعلاجات الحيوية والتي بدورها يمكن أن تساعد في تطوير عقاقير جديدة.

تعتبر غذاء مثالي لمرضى السكري للوقاية من ارتفاع السكر في الدم بالإضافة إلى أنها معروفة بآثارها القلبية الوعائية والأدوية المضادة للالتهابات ومضادات السرطان.

يفضل خاصية الفطريات الصالحة للأكل، تم استغلالها في الصناعة لزيادة تطبيقها في الأطعمة المصنعة لاستخدامها كمكملات غذائية وفي مستحضرات التجميل.

فيما يتعلق بالقيم المهمة الغذائية والعلاجية للفطر الصالح للأكل، يجب على الشعب الجزائري أن يكون واعياً وأن يدمج الفطر الصالح للأكل في الوجبات.

**الكلمات المفتاحية:** فطر صالح للأكل، القيمة الغذائية، التأثير العلاجي، الأكسدة، النشاط المضاد للأكسدة.



**partie  
bibliographique**

# Introduction

## INTRODUCTION

Ces dernières années, le monde des sciences biologiques et médicales est envahi par un nouveau concept : le "stress oxydatif" qui est provoqué par un métabolisme déséquilibré et un excès d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) conduit à une gamme de troubles (*Lushchak, 2014 ; Kozarski et al., 2015*). Le stress oxydatif joue un rôle important dans l'étiologie et la pathogenèse de nombreuses maladies telles que, anti-inflammatoire, Alzheimer le diabète, le vieillissement prématuré et les cancers (*Kalam et al., 2015*).

Les radicaux libres sont produits dans le métabolisme cellulaire normal et / ou pathologique (*Halliwell et Gutteridge, 2003*) principalement sous la forme d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) et d'espèces réactives de l'azote (RNS) (*Ferreira et al., 2009*) , ils ne sont pas seulement générés en interne dans l'organisme, mais aussi par diverses sources externes (*kuzarski et al., 2015*).

Les espèces réactives d'oxygène (ROS) provoquent des dommages oxydatifs dans les biomolécules donc l'apparition de nombreuses maladies (*Yildiz et al., 2015*). Mais il y a des effets bénéfiques des ROS impliquent des rôles physiologiques cellulaires de signalisation et de régulation. La plupart des radicaux libres sont neutralisés par des défenses antioxydants cellulaires (*Ferreira et al., 2009*) , ces derniers jouent un rôle important dans le maintien de la santé humaine. Heureusement, le corps est conçu pour avoir son propre système de défense tel que système enzymatique, ou non enzymatique on utilisant des molécules endogènes et /ou exogène rapporter par l'alimentation (*Bulam et al, 2018*) pour lutter contre les substances nocives et prévenir les dommages cellulaires (*Arbaayah et Umi, 2013*).

Ces dernières années, il a été démontré que les champignons comestibles possèdent une valeur nutritionnelle importante en raison de leur faible teneur en calories, riches en protéines et contiennent une abondance d'acides aminés essentiels, minéraux, vitamines, fibres (chitine et b- glucanes), acides gras insaturé (*Kalaras et al., 2017*).

Les champignons comestibles ont attiré l'attention en tant que source d'antioxydants. Car ils sont riche on contenant des composés bioactifs tels que les acides phénoliques, les alcaloïdes, les tanins, les flavonoïdes, les stérols et les terpènes, acide ascorbique et tocophérol (*Duru et Cayan 2015*). Ils pourraient être utilisés directement dans l'amélioration des défenses antioxydants grâce à une supplémentation alimentaire pour réduire le niveau de stress oxydatif (*Blanche et al., 2019*) et de restreindre l'utilisation d'antioxydants synthétiques (*Bulam et al, 2018*).

Les champignons comestibles sont distribués dans le monde entier. Il a été constaté que de nombreuses espèces des champignons sont des usines pharmaceutiques miniatures produisant des milliers de nouveaux composants aux propriétés biologiques exceptionnellement utiles. Ils sont utilisés depuis longtemps comme aliments et médicaments (*Zhang et al., 2016*) pour prévenir des maladies telles que anti-inflammatoire, antidiabétique, les maladies cardiovasculaire et cancer (*Abugri et al.,*

2016) , leurs impacts incroyables sur l'amélioration de la santé sont confirmés par les revues contemporaines (*Sajon et al., 2018*).

Récemment le traitement des pathologies humains à partir de l'utilisation des médicaments synthétique qui ont un des effets secondaire sur la santé, donc la communauté scientifique cible de trouvé des nouveaux médicaments à base des produits naturelle, surtout si le produit est un aliment et thérapeutique au même temps comme les champignons comestibles qui sont un bon exemple.

L'algerie est une plate-forme géographique très importante riche par sa biodiversité naturelle (forets, climat..) qui mérite d'être explorée dans le domaine de la recherche des thérapies naturelle. Malgré ces caractéristiques qui ne sont pas exploité pour la culture des champignons comestibles comme produit naturelle, nous pensons que la cause est l'absence des spécialistes dans ce domaine contrairement à l'inde la chine et le japon....

C'est pourquoi, nous nous sommes intéressés à cette recherche pour attirer la tension de notre peuple et de lui faire prendre conscience sur la valeur et l'importance des champignons comestibles comme alicament.

# **Chapitre I: Stress oxydatif**

## 1.1 Définition stress oxydative

Le stress oxydatif dénommé également stress oxydant, résulte d'un déséquilibre de la balance « pro-oxydants/antioxydants » en faveur des oxydants (*Almasiova et al, 2012*), ce qui se traduit par des dommages oxydatifs de l'ensemble des constituants cellulaires (*Djellouli, 2013*). Ce déséquilibre est fonction des plusieurs paramètres tels que l'âge, l'alimentation et l'état sanitaire de l'individu (*Chun et al., 2003*).

Lorsque l'un des systèmes protectifs de l'organisme contre la toxicité des radicaux libres (RL) montre un échec, l'action des radicaux libres devient incontrôlable, ce qui conduit à des dommages au niveau des molécules, des cellules, des organes et potentiellement à la mort de l'organisme (*Ďuračková et Gvozdjaková, 2008*). Un stress oxydatif peut donc se développer suite à une surproduction endogène ou à une exposition environnementale à des facteurs pro oxydants (métaux lourds, tabac, pollution...) (*Collard, 2014*) et/ou à une diminution des systèmes de défense antioxydants (Figure 1) (*Djellouli, 2013*).

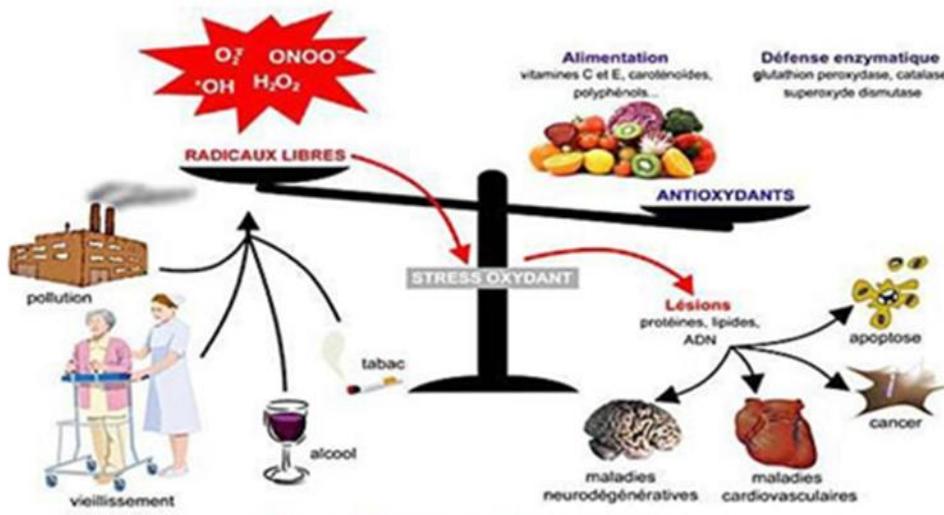


Figure 01: Stress oxydant (*Ďuračková et Gvozdjaková, 2008*).

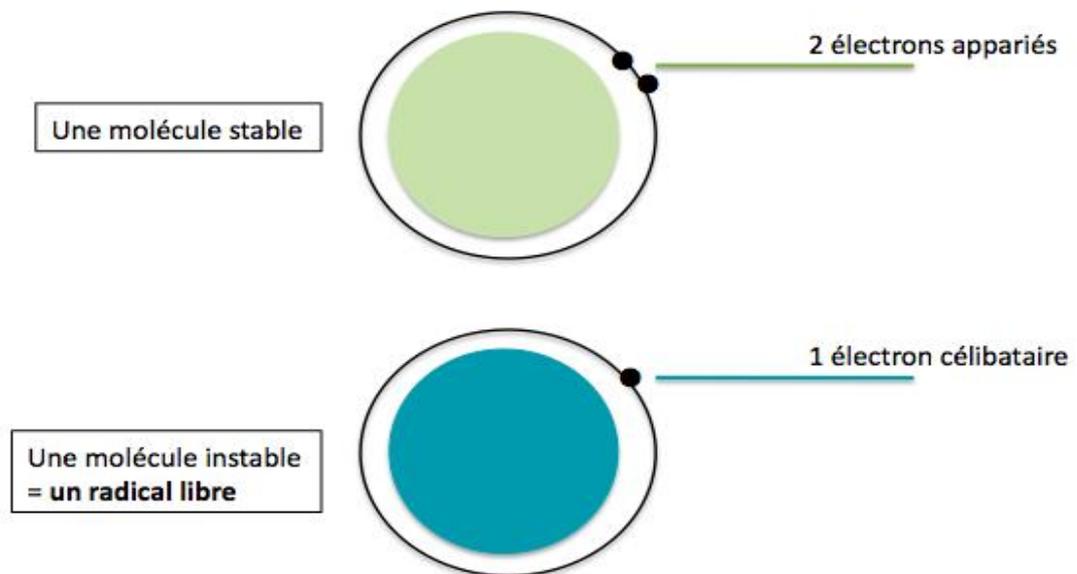
## 1.2 Les radicaux libres

Un groupe de termes utiliser dans la littérature scientifique pour désigner les radicaux libres ; oxyradicaux, radicaux libres de l'oxygène et oxydants en raison de leur haute réactivité (*Benaraba, 2007*). L'ensemble des radicaux libres et leurs précurseurs est souvent appelé espèce réactives de l'oxygène (*Favier, 2003*).

Les radicaux libres sont des espèces chimiques (atomes ou molécules) qui possèdent un électron célibataire (ou électron non apparié) sur leur couche externe à partir d'autres composés en causant leur oxydation (figure 02). Leur principal danger vient à des dommages qu'ils peuvent provoquer lorsqu'ils réagissent avec des composants cellulaires importants tels que l'ADN ou la membrane cellulaire, avec risque de multiplication anormale des cellules, entraînant un dysfonctionnement ou une mort cellulaire.

Les radicaux libres nocifs sont produits dans l'organisme au cours du métabolisme normal, mais plus encore en cas d'exposition à diverses agressions de l'environnement (*Medjoujda, 2017*). Malgré, les effets mortels de ces radicaux libres, ils sont aussi indispensables à la vie. Cette double potentialité peut être expliquée, au moins en partie par le fait que les réponses cellulaires varient de manière très sensible et très différente en fonction de la nature chimique de l'ERO, de son niveau de production (effet dose-dépendant) ou encore du site producteur (*Carrière et al., 2006*).

Le radical libre possède une durée de vie très courte et il est symbolisé par un point qui indique où l'électron libre se situe (*Goto et al., 2008*). Lorsque ces radicaux libres sont produits plus rapidement, ils ne peuvent être neutralisés par les systèmes de défense antioxydant ce qui permet le développement de stress oxydatif (*Picchi et al., 2006*).

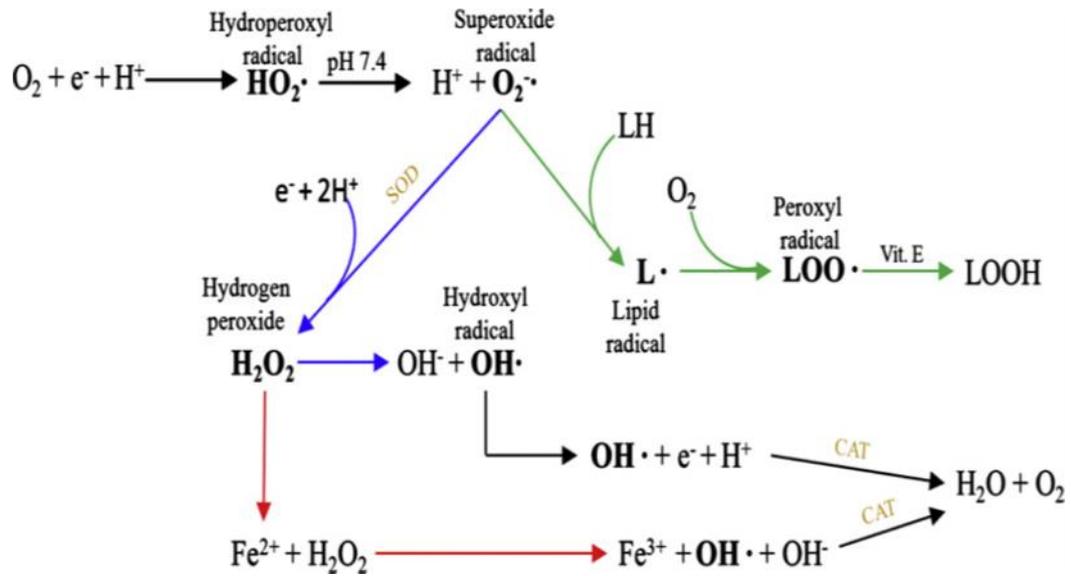


**Figure 02** : Représentation d'un radical libre (*Durund, 2018*).

### 1.3 Les sources d'espèces réactives

Le terme « stress oxydatif » désigne un état physiologique où la perte d'électrons (oxydation) dépasse le gain d'électrons (réduction) induisant une fuite électronique avec formation des ROS et/ou RNS (figure 03) (*Nemmiche, 2017*).

L'oxygène est un élément essentiel pour les organismes multicellulaires parce qu'il permet de produire de l'énergie en oxydant de la matière organique. Mais nos cellules convertissent une partie de cet oxygène en métabolites toxiques (les radicaux libres organiques) (*Medjoujda, 2017*).



**Figure 03:** Les principales réactions conduisant à la production des ROS (Carocho et Ferreira, 2013).

### 1.3.1 Les espèces azotées réactives (ERA ou RNS)

Les espèces réactives sont principalement issues de l'oxygène mais certaines proviennent également de l'azote.

Les espèces azotées réactives (RNS) sont produites dans des conditions stressantes qui conduisent à la contrainte nitrosative. Les RNS sont des dérivés du NO, un composant de signalisation clé dans diverses contraintes et mécanismes de tolérance et certains d'entre eux sont également impliqués dans le cycle d'azote (tableau01) (Saddhe et al., 2019). Ceci a poussé certains auteurs à parler de RONS (Réactive Oxygen and Nitrogène Species) au lieu de ROS (Close et McArdle, 2007).

Le radical NO est produit par différents types cellulaires, phagocytes et cellules endothéliales vasculaires. L'enzyme NO synthase est un catalyseur dans la réaction qui produit du monoxyde d'azote ou oxyde nitrique (NO) à partir d'arginine et d'oxygène. (Speckmann et al., 2016).

**Tableau 01.** Les principaux formes réactives de nitrogène (Saddhe et al., 2019).

| Les espèces réactives de l'azote |                                                       |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------|
| NO Monoxyde d'azote              | NO <sup>+</sup> Cation nitrosonium                    |
| NO <sub>2</sub> Dioxyde d'azote  | N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Trioxyde de dinitrogène |
| S-nitrosothiols non radicaux     | N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Dinitrogène téroxure    |
| ONOO Peroxynitrite               | NO <sub>2</sub> Cl Chlorure de nitryle                |
| NO <sup>-</sup> Anion nitroxyde  | HNO <sub>2</sub> Acide nitreux                        |

### 1.3.2 Sources endogènes

La production d'espèces radicalaires est permanente au sein de l'organisme, et est principalement liée au métabolisme cellulaire. Quelques sources biologiques de radicaux libres sont développées ci-dessous (*Durund, 2018*).

#### ❖ Chaîne Respiratoire Mitochondriale

Les mitochondries sont des organites impliqués dans la production d'énergie et la production endogène des ROS. Ils sont responsables de plus de 90% de la production des ROS dans les cellules (*Ciccone et al., 2013*).

Cette production d'énergie (sous forme d'ATP) appelée phosphorylation oxydative se fait notamment par l'intermédiaire de chaînes de transport d'électrons présentes dans la membrane interne des mitochondries, les composés réduits issus du cycle de Krebs (NADH et FADH<sub>2</sub>) sont oxydés, libérant de l'hydrogène (H<sup>+</sup>) et des électrons (*Migdal et Serres, 2011*).

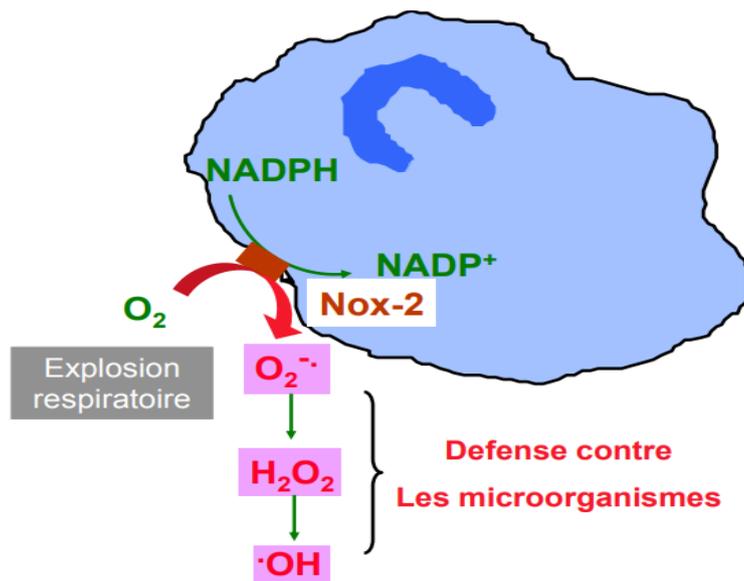


Environ 2% de l'oxygène subit une réduction univalente conduisant à la formation du radical superoxyde.



#### ❖ La phagocytose

La phagocytose s'accompagne d'un phénomène appelé « explosion oxydative ». Le complexe de la NADPH (Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate réduit) oxydase ou Nox-2 s'active et produit une énorme quantité d'anions superoxydes (O<sub>2</sub><sup>·-</sup>). Lorsqu'elle est contrôlée, cette production de radicaux libres joue un rôle majeur dans la microbicidie (figure 05) (*Durund, 2018*).



**Figure 04** : Production des radicaux libres par la NADPH oxydase (Nox-2) des phagocytes (*Durund, 2018*).

### ❖ la xanthine oxydoréductase

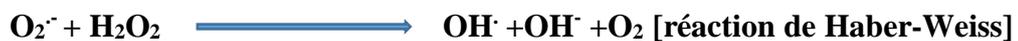
La xanthine oxydase est une enzyme cytosolique soluble qui génère des ERO en réduisant l'Hypoxanthine en xanthine. Mais elle peut également catalyser l'oxydation de la xanthine en acide urique. La production d'ERO par la xanthine oxydase est faible en condition basale, mais joue un rôle important lors de d'ischémie-reperfusion (*Harrison, 2002*).

### ❖ système immunitaire

Les cellules de notre système immunitaire, tels les macrophages, sont une source interne des radicaux libres, dans le cadre de la réponse immunitaire. C'est également une des raisons pour laquelle, un système de défense antioxydant en bon état, capable de contrôler les radicaux libres, est également associé au bon fonctionnement du système immunitaire (*Rochat, 2014*).

### ❖ Réaction de Fenton

La réaction de Fenton est définie comme la réaction du fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) et du peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Dans cette réaction, du fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) et du radical hydroxyle sont produits. Ensuite, le radical hydroxyle réagit avec  $\text{H}_2\text{O}_2$  et le superoxyde ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ) est produit. Ensuite, le superoxyde réagit à nouveau avec  $\text{H}_2\text{O}_2$ , un radical hydroxyle et un anion hydroxyle ( $\text{OH}^-$ ) sont formés cette partie de la réaction est connue sous le nom de "Réaction Haber Weiss" (*Das et al., 2015*). La réaction globale est représentée comme suit :



### 1.3.3 Origine des espèces oxygénées réactives (ERO ou ROS)

Les ROS sont produits continuellement à l'intérieur et à l'extérieur par divers mécanismes (figure04). La production endogène est plus importante que celle d'origine exogène (*Kada, 2018*).

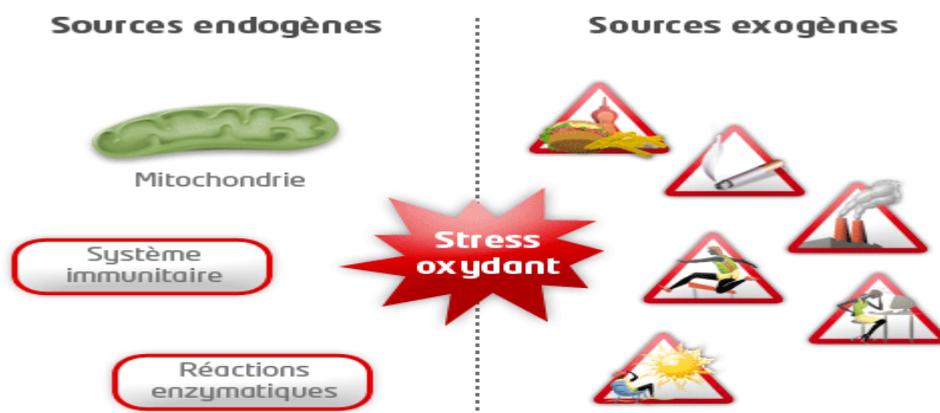


Figure 05: Sources de stress oxydant endogènes et exogènes (*Parc, 2016*).

### 1.3.4 Sources exogène

Il existe de multiples déclencheurs externes qui induisent un stress oxydatif. Les polluants atmosphériques, la fumée de tabac, les radiations ionisantes et non ionisantes soit en scindant la molécule d'eau soit en activant des molécules photosensibles (UV) et produire des anions superoxydes et de l'oxygène singulet, les aliments et les médicaments (antibiotiques, anticancéreux...) constituent une importante source de ERN tels que le  $\text{NO}^\bullet$  et le  $\text{NO}_2^\bullet$ . Ces oxydants participent à la genèse d'autres radicaux libres car ils sont responsables de l'auto-oxydation des acides gras polyinsaturés des alvéoles pulmonaires. Le  $\text{NO}^\bullet$  et le  $\text{NO}_2^\bullet$  peuvent aussi réagir avec l'anion superoxyde et le peroxyde d'hydrogène pour former de puissants oxydants comme  $\text{ONOO}^\bullet$  et le radical  $\text{OH}^\bullet$ , ainsi que les xénobiotiques (toxines, pesticides et herbicides) peuvent tous contribuer au stress oxydatif. Les agents chimiques comme les quinones les métaux lourds comme le plomb, l'arsenic, le mercure, le chrome et le cadmium génèrent des radicaux hydroxyles très réactifs (*Kada, 2018*).

### 1.4 Les différents types des radicaux libres

Ce sont des molécules qui contiennent de l'oxygène mais qui sont plus réactives que l'oxygène présent dans l'air, ils sont désignés par des dérivés réactifs de l'oxygène ou d'espèces réactives de l'oxygène. Cette famille contient principalement l'anion super oxyde ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ) et le radical hydroxyle ( $\text{OH}^\bullet$ ) et des composés réactifs oxydants non radicalaires (sans électrons libres dans leur couche externe) comme le peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), l'oxygène singlet ( $1\text{O}_2$ ) et l'ozone ( $\text{O}_3$ ) (tableau02) (*Bouziane et Rouibah, 2019*).

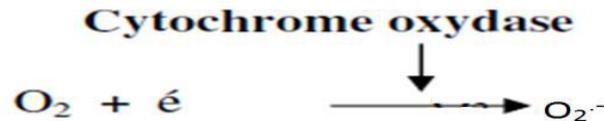
**Tableau02** : Nature des différentes espèces radicalaires impliquées dans le stress oxydatif (*Delattre et al., 2005*).

| Radicaux libres primaires                     | Dérivés oxygénés non radicalaires             |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| $\text{O}_2^{\bullet-}$ = Radical superoxyde  | $1/2\text{O}_2$ = Oxygène singulet            |
| $\text{H}_2\text{O}_2$ = Radical perhydroxyle | $\text{H}_2\text{O}_2$ = Peroxyde d'hydrogène |
| $\text{OH}^\bullet$ = Radical hydroxyle       | $\text{ONOOH}$ = Nitroperoxyde                |
| $\text{RO}_2^\bullet$ = Radical peroxyde      | $\text{ONOO}^\bullet$ = Peroxynitrie          |
| $\text{RO}^\bullet$ = Radical alkoxyde        |                                               |
| $\text{NO}^\bullet$ = monoxyde d'azote        |                                               |

#### 1.4.1 Les Radicaux libres radicalaire

##### ❖ Le radical anion superoxyde ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ )

L' $\text{O}_2^{\bullet-}$  est le produit de la réduction mono électronique de  $\text{O}_2$  lors de la respiration mitochondriale. Il est relativement stable, et réagit très lentement avec les molécules biologiques. Il possède un caractère nucléophile, sa durée de vie est courte en milieu aqueux en raison de la compétition entre les réactions de réduction et de dismutation. (*Bensakhria, 2018*).



### ❖ Le radical hydroxyl (OH<sup>•</sup>)

Le radical hydroxyle OH<sup>•</sup> est l'oxydant le plus puissant des ERO avec une constante de vitesse assez élevée. Le OH<sup>•</sup> est une espèce qui réagit avec des substrats sur son lieu de production, qui ne possède pas de cibles privilégiées et qui a une très faible durée de vie.

Le OH<sup>•</sup> peut oxyder un substrat selon trois modes d'action : un arrachement d'un électron, un arrachement d'un atome d'hydrogène sur un substrat organique ou une addition sur une double liaison. Les deux derniers modes d'action conduisent à la formation de radicaux centrés sur le carbone (*Migdal et Serres, 2011*). Ce radical peut être produit à partir de l'eau par les radiations ionisantes dans tous les organismes vivants, mais il est surtout formé par la réaction de Fenton à partir d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. L'ion ferreux réagit avec le peroxyde d'hydrogène selon la réaction suivante :



### ❖ Les radicaux alkyles (R<sup>•</sup>) et peroxydes (ROO<sup>•</sup>)

Les radicaux alkyles sont les derniers maillons dans la chaîne de production des ERO. Ils sont les résultats de l'action oxydante des OH<sup>•</sup> sur les chaînes d'acides gras polyinsaturés (RH). Les R<sup>•</sup> et ROO<sup>•</sup> sont à l'origine des processus radicalaires en chaîne et en particulier de la peroxydation lipidique (*St-Louis, 2011*).

### ❖ L'oxyde nitrique (NO<sup>•</sup>)

Le monoxyde d'azote (NO<sup>•</sup>) est produit chez les organismes supérieurs par l'oxydation de l'un des atomes N terminaux de la L-arginine, cette réaction est catalysée par la nitrique oxyde synthase (NOS) selon la réaction suivante (*Djenidi, 2019*) :



## 1.4.2 Les Radicaux libres non radicalaire

### ❖ L'oxygène singlet (1O<sub>2</sub>)

Il représente l'état excité de l'oxygène moléculaire par des électrons périphériques à spins antiparallèles. Il est très instable et extrêmement réactif face à des molécules riches en électrons. L'oxygène singlet est généré par transfert d'énergie entre un photosensibilisateur dans un état excité triplet et l'oxygène. Il se forme principalement lors des processus physicochimiques (par exemple les réactions impliquant les rayonnements UVA (*Bensakhria, 2018*)).

### ❖ Le peroxyde d'hydrogène(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Il possède des propriétés oxydantes et réductrices au même temps, peu réactif en l'absence de métaux de transition. La principale production de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> résulte de la dismutation de l'O<sub>2</sub><sup>•-</sup> par le superoxyde dismutase selon la réaction suivante (*Bensakhria, 2018*) :



#### ❖ Le Peroxynitrite (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Son apparition est extrêmement rapide, et se produit par une réaction entre deux ERO:



NO<sub>3</sub><sup>-</sup> est une ERO qui cause beaucoup de dommages aux composants cellulaires (*Sears et Genuis, 2012*).

#### ❖ L'acide hypochlorique (HOCl)

Il est formé à partir du peroxyde d'hydrogène. Il passe facilement à travers les membranes biologiques, et peut altérer les constituants protéiques de la cellule à cause de son fort pouvoir oxydant (*Ognjanovic et al., 2008*).



### 1.5 Conséquences du stress oxydatif

Les espèces réactives de l'oxygène présentent un paradoxe dans leurs fonctions biologiques. D'une part, ils préviennent les maladies en aidant le système immunitaire par la médiation de la signalisation cellulaire et en jouant un rôle essentiel dans l'apoptose. D'autre part, ils peuvent endommager des macromolécules importantes dans les cellules (*Kada, 2018*).

#### 1.5.1 Rôles physiologiques des ROS

##### 1.5.1.1 Défense contre les infections

Le O<sub>2</sub><sup>•-</sup> est réduit dans le phagosome par la SOD en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> qui peut être par la suite converti en HOCl par la MPO (*Lloyd et al., 2013*). Le HOCl peut alors former spontanément le OH<sup>•</sup>. Ces deux molécules hautement réactives sont très toxiques pour les bactéries ingérées par les phagocytes. Le HOCl est également un élément important de la défense antimicrobienne par destruction de l'ancrage de l'ADN à la membrane bactérienne, ce qui entraîne l'arrêt de la réplication de l'ADN des bactéries (*Nordberg et Arnér, 2001*).

##### 1.5.1.2 Messagers cellulaires

Si la production des ROS est relativement modérée, ils peuvent jouer un rôle de messenger intra et/ou extracellulaire (*Sun et al., 2009*).

Ils sont ainsi impliqués dans les phénomènes d'apoptose (mort cellulaire programmée), dans la prolifération des cellules musculaires lisses (cellules vasculaires), dans l'adhésion des monocytes aux cellules endothéliales, ou bien encore dans l'agrégation plaquettaire (*Gardes-Albert et al., 2003*) et permettent aussi l'expression de gènes de défense (*Sun et al., 2009*).

### 1.5.1.3 Régulation vasculaire

Le NO, par stimulation de la guanylate cyclase soluble, permet la formation et l'augmentation de la concentration du GMPc dans le muscle lisse. Le GMPc active une série de protéines kinases, déclenchant ainsi une cascade de réaction qui aboutissent à une vasodilatation artérielle et veineuse (*Sabry et Dinh-Xuan, 1996*).

### 1.5.1.4 La phagocytose

Les radicaux libres jouent un rôle essentiel dans le bon déroulement de la réaction immunitaire. La phagocytose des bactéries et des parasites par les macrophages ou les polynucléaires s'accompagne d'une production d'espèces réactives de l'oxygène si brutale et intense qu'elle est connue sous le nom « Bouffée respiratoire » puis qu'elle s'accompagne d'une augmentation transitoire de la consommation d'oxygène. Au sein de phagosome, l'activation de la NADPH oxydase, l'action des superoxydes dismutases (SOD) et la NO synthase (NOS) aboutissent à un mélange très corrosif de  $O_2^{\cdot-}$ ,  $H_2O_2$ ,  $HO^{\cdot}$ ,  $ONOOH$ . L'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ) en présence de chlore et sous l'effet de la myeloperoxydase donnera naissance à l'acide hypochlorique  $HOCl$ , c'est l'oxydant microbicide le plus puissant (*Delattre et Bonnefont, 2005*).



### 1.5.1.5 La signalisation cellulaire

En dehors de leurs actions délétères, les ERO peuvent agir en tant que molécule de signal et intervenir dans la communication intracellulaire et intercellulaire. Ils participent à l'expression de certains gènes et à leur régulation. Cela leur confère un rôle important dans les phénomènes de croissance et de la mort cellulaire (*Gardès-Albert et al., 2003*). Les mécanismes de communication cellulaire faisant intervenir les radicaux libres ne sont pas encore élucidés. En résumé :

- Les radicaux libres peuvent intervenir dans la prolifération, la différenciation, l'adhésion et la migration (*Robret, 2010*).
- Les radicaux libres participent au fonctionnement de certaines enzymes, à la transduction de signaux cellulaires (*Cindrova-Davies et al. 2014*).
- libération de fer libre à partir des protéines chélatrices ou d'une oxydation de certaines molécules (*Cai et Harrison, 2000*).

## 1.5.2 Oxydation des macromolécules

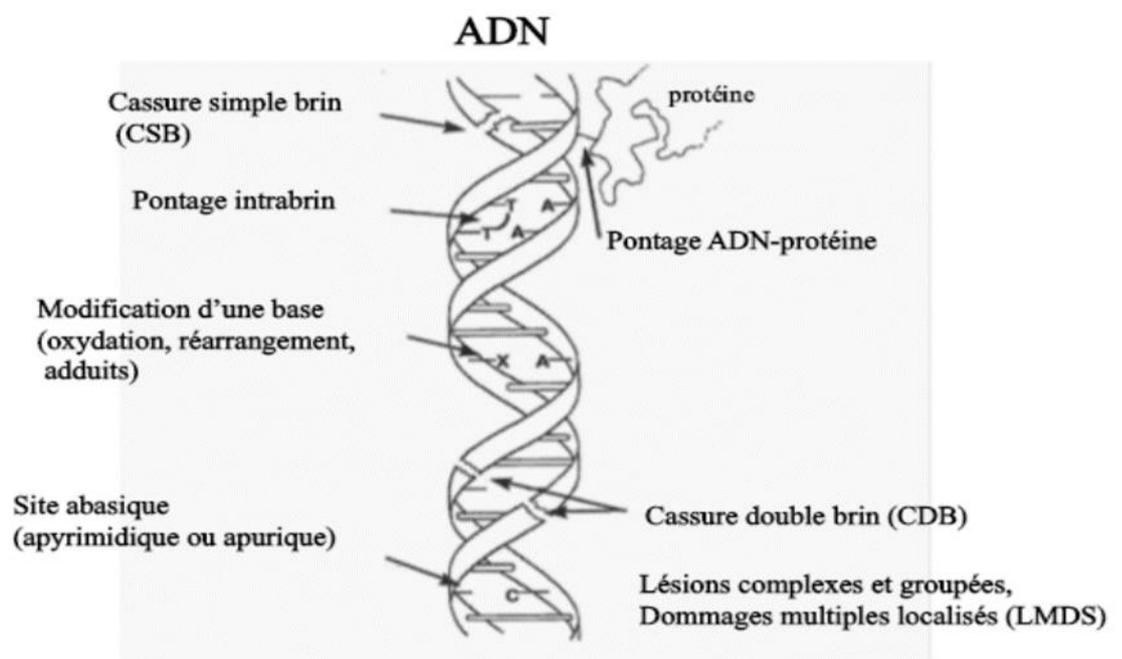
Le stress oxydatif provoque plusieurs problèmes de santé, il engendre diverses altérations biochimiques intracellulaires telles que, ADN, protéine, lipide, glucide (*Loft et al., 2008*).

### 1.5.2.1 Oxydation de l'ADN

Principalement l'ADN nucléaire et mitochondrial où les ERO provoquent l'hydroxylation de leurs bases puriques et pyrimidiques et du squelette désoxyribose conduisant le clivage des brins et des mutations génétiques ce qui aboutit soit à l'arrêt de l'induction de la transcription ou de la transduction des voies de signalisation, soit à

l'implication des erreurs de réplication soit encore à une instabilité génomique et l'ensemble est associé au phénomène de carcinogenèse. L'oxydation de la base guanine par le radical hydroxyle formant la 8-hydroxy-guanine (8-OHG), qui peut être facilement dosé dans les urines et considéré comme un marqueur de carcinogenèse (*Valko et al., 2006*).

Le stress oxydant causés par les ERO est considéré comme la source majeure de dommages spontanés sur l'ADN (*Beckman et Ames, 1997*). Ces dégâts sont regroupés en quatre grandes catégories : attaquer la liaison entre la base et le désoxyribose, la modification de bases, créant un site abasique et les pontages ADN-protéines, ou attaquer le sucre lui-même, créant une coupure de chaîne simple et doubles brin (figure 06) (*Pincemill et al., 2007*).



**Figure 06** : Les principaux dommages oxydatifs médiés à l'ADN par les ERO (*Averbeck, 2006*).

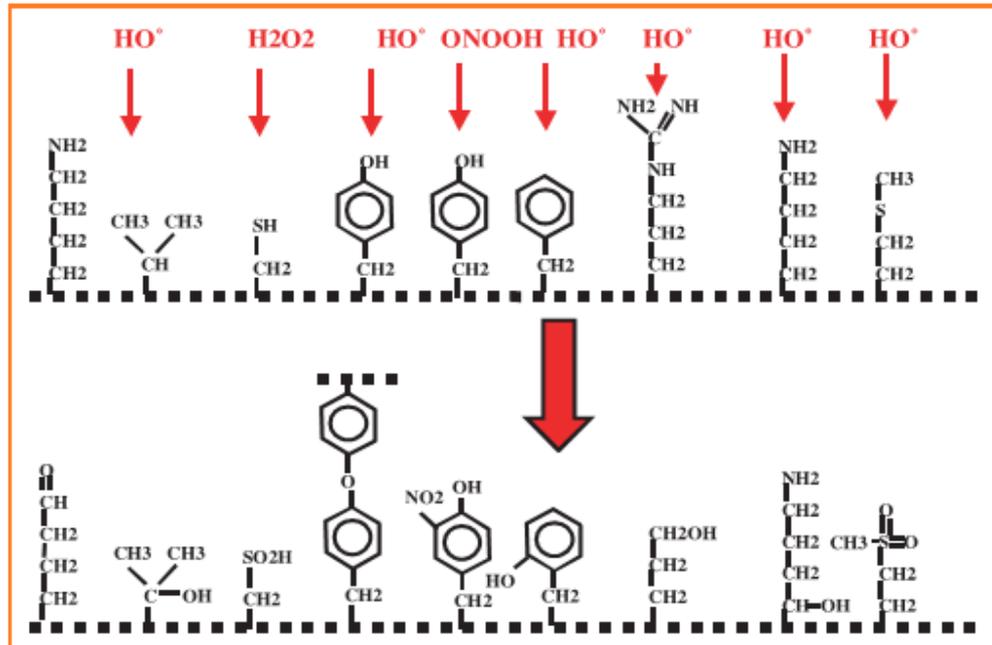
### 1.5.2.2 Oxydation des protéines

C'est le radical hydroxyle qui est le plus réactif responsable des altérations oxydatives des protéines (*Valko et al., 2006*) car les acides aminés très sensibles vis-à-vis des ROS telle que l'histidine, la proline, le tryptophane, la cystéine et la tyrosine dont toute attaque radicalaire d'un acide aminé provoque l'oxydation de certains résidus (*Nakajima et al., 2006*), ce qui conduit des modifications structurelle mineure peut induire une modification dans le fonctionnement de cette protéine (*Valko et al., 2006*). L'oxydation des protéines peut également induire des réticulations inter- et intra-protéines (figure 07) par :

- Addition d'un groupement lysine sur le groupement carbonyle d'une protéine oxydée.
- Par oxydation d'un groupement sulfhydryle des résidus cystéine formant ainsi des ponts disulfures.

- Par oxydation des résidus tyrosine formant des ponts Tyr-Tyr (*Valko et al., 2006*).

Les protéines oxydées deviennent aussi très hydrophobes, soit par suppression de groupement amines ionisables, soit par extériorisation de zones hydrophobes centrales. Elles vont alors former des amas anormaux dans et autour des cellules (*Goto et Radak, 2013*).



**Figure 07 :** Nature de quelques modifications des chaînes latérales d'acides aminés des protéines après attaque radicalaire (*Favier, 2003*).

### 1.5.2.3 Peroxydation des lipides

Les lipides est principalement leurs acides gras polyinsaturés sont la cible privilégiée de l'attaque par les RL .Le processus de la peroxydation lipidique comprend trois étapes : initiation, propagation et terminaison (figure08) (*Michel et al. 2008*).

#### ✚ L'étape d'initiation

Le radical hydroxyle capable d'arracher un hydrogène sur les carbones situés entre deux doubles liaisons pour former un radical diène conjugué, qui en présence d'oxygène va être oxydé en radical peroxyde ( $\text{LOO}\cdot$ ) (*Gueye, 2007*).

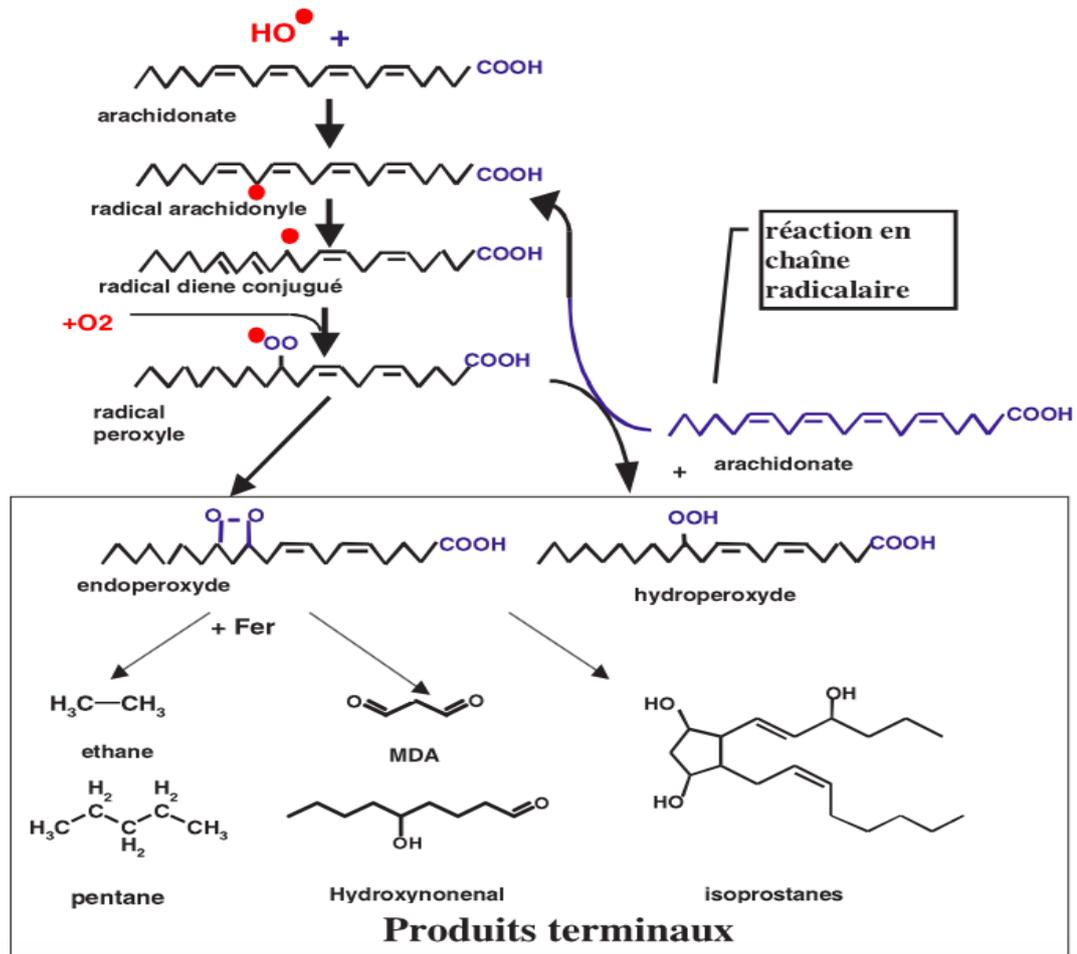
#### ✚ L'étape de propagation

Le radical peroxyde ( $\text{LOO}\cdot$ ) réagit avec un autre acide gras afin de donner un hydroperoxyde ( $\text{LOOH}$ ) et un nouveau radical lipidique. De cette manière, de nombreuses molécules d'hydroperoxydes lipidiques peuvent être formées pour chaque RL initial (*Favier, 2003*).

#### ✚ L'étape de terminaison

Cette étape consiste en la formation de composés stables issus de l'association de 2 composés radicalaires. Leurs électrons non appariés s'associent rapidement pour former

une liaison covalente stable. La réaction peut également être stoppée à l'aide d'antioxydants (*Colas, 2011*) par la glutathion peroxydase qui peuvent être réduits et neutralisés l'hydroperoxyde ou continuer à s'oxyder et se fragmenter en aldéhydes acides et en alcanes (éthane, éthylène, pentane) qui, par leur volatilité, sont éliminés par voie pulmonaire (*Raccah., 2004*).



**Figure 08** : Mécanisme en chaîne de la peroxydation des acides gras polyinsaturés et nature des produits terminaux formés (*Favier, 2003*).

#### 1.5.2.4 Oxydation des glucides

Le glucose et les protéoglycane du cartilage sont les principales cibles glucidiques des ERO. L'oxydation de glucose est appelée aussi « glycosoxydation » et regroupe en 2 mécanismes :

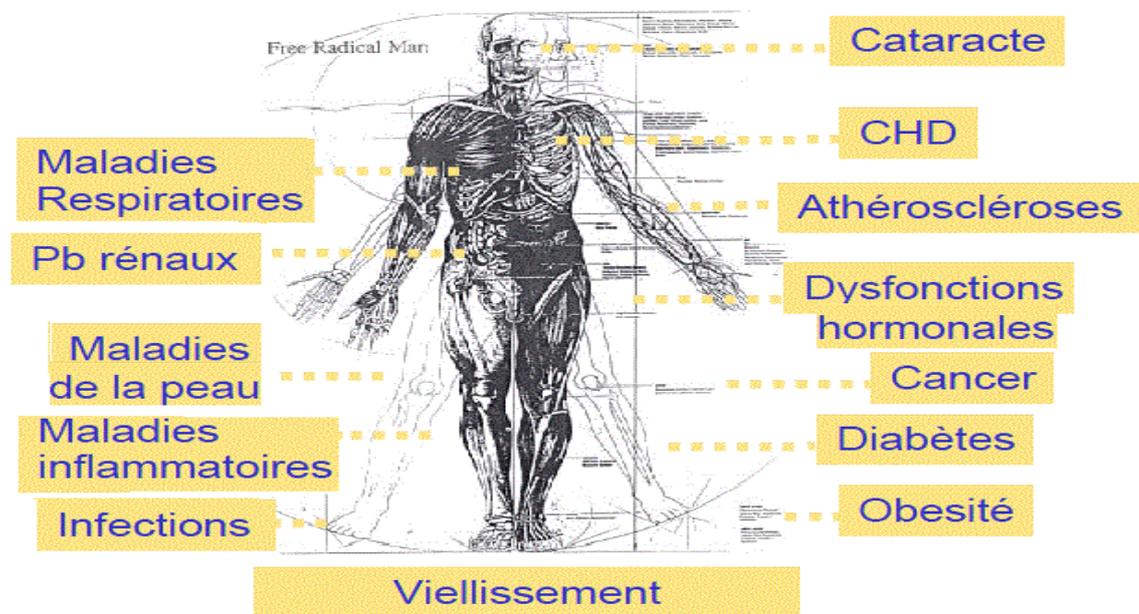
- Soit oxydation au sens strict du glucose, donnant des dérivés carbonyles susceptibles de réagir avec une protéine, pour aboutir à la formation de « produits finaux de glycosylation » ou PFG.
- Soit formation d'une liaison covalente entre un ose et les groupements aminés libres d'une protéine : on parle de « glycosylation non-enzymatique des protéines ». Cela forme

une protéine glyquée, qui peut être attaquée par des ERO telles que HO<sup>•</sup> ou NO<sup>3-</sup> pour former des PFG (*Halliwell et Gutteridge, 2007*).

### 1.6 Maladies liées au stress oxydatif

La plupart des maladies induites par le stress oxydatif apparaissent avec l'âge, car le vieillissement diminue les défenses anti-oxydantes et augmente la production mitochondriale de radicaux libres.

De nombreuses études indiquent que le stress oxydant est potentiellement impliqué dans le développement de plusieurs pathologies humaines comme l'athérosclérose, le cancer, les maladies inflammatoires, les maladies cardiovasculaires, les maladies neurodégénératives et le diabète. Le rôle du stress oxydatif a été également évoqué même dans des processus physiologiques tel que le vieillissement (*Djenidi, 2019*). Il est un des facteurs de genèse de maladies plurifactorielles telles que la maladie d'Alzheimer (figure 09).



**Figure 09** : Les pathologies liées au stress oxydatif (*Durand, 2018*).

### 1.7 Système Antioxydant

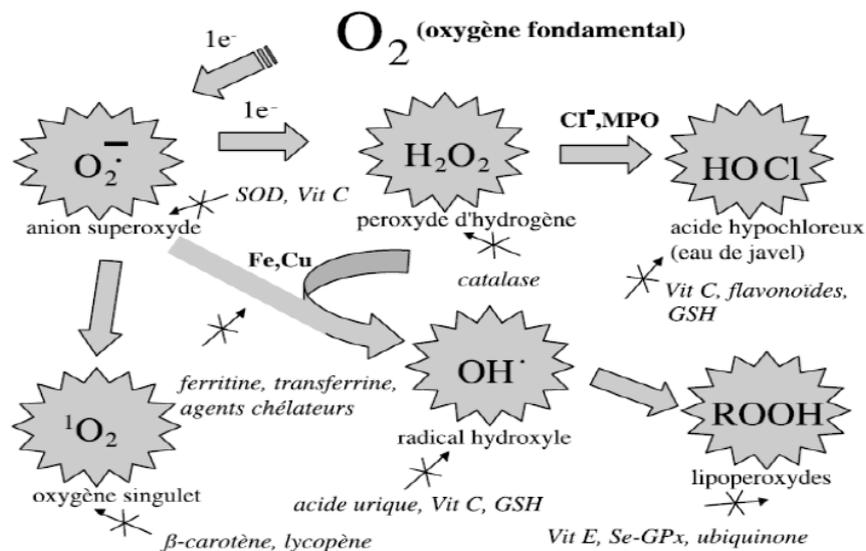
Un antioxydant est défini comme étant toute substance qui peut retarder ou empêcher l'oxydation des substrats biologiques (*Boyd et al., 2003*) ou de réduire les dommages causés par les radicaux libres dans l'organisme et permettent de maintenir au niveau de la cellule des concentrations non cytotoxiques de ROS (*Vansant, 2004*). La nature des substances antioxydants diffère selon les tissus et les types cellulaires et selon qu'on se trouve dans le milieu intracellulaire ou extracellulaire.

Notre organisme réagit de façon constante à cette production permanente de radicaux libres et on distingue au niveau des cellules deux lignes de défense inégalement puissantes pour détoxifier la cellule (*Favier, 2003*).

Les cellules possèdent des mécanismes de défense enzymatiques et non enzymatiques qui, de manière générale, suffisent à renverser le stress oxydatif appelés antioxydants, (*Wassmann et al., 2004*). Un déficit ou un dysfonctionnement de ces mécanisme engendre une augmentation des dommages tissulaires (*Garait, 2006*).

Les antioxydants sont aussi des molécules naturellement produites par le corps ou bien apportées par l'alimentation pour combattre les effets toxiques des radicaux lors du stress oxydatif (*Halliwell et Gutteridge, 2008*).

La nature des systèmes antioxydants diffère selon les tissus et les types cellulaires et selon qu'on se trouve dans le milieu intracellulaire ou extracellulaire (*Goudable et Favier, 1997*).



**Figure 10 :** Régulation de la production d'espèces réactives de l'oxygène par les systèmes de défenses antioxydants (*Milbury et Richer, 2008*).

### 1.7.1 Systèmes enzymatiques

La désmutase de superoxyde, la catalase et le glutathion peroxidase sont des enzymes antioxydantes qui jouent non seulement un rôle fondamental mais indispensable dans la capacité de protection antioxydante des systèmes biologiques contre les attaques de radicaux libres (*Ighodaro et Akinloye, 2017*).

#### 1.7.1.1 Superoxyde dismutase (SOD)

Les superoxydes dismutases (EC1,15,1,1) sont des métalloenzymes (ce sont des enzymes utilisant des métaux comme cofacteurs). Il s'agit d'une des premières lignes de défense contre les ERO. Leur cible privilégiée est l'anion superoxyde ( $O_2^{\bullet -}$ ) qu'elle transforme en peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) selon la réaction suivante :



Il existe plusieurs isoformes selon le métal utilisé par l'enzyme (cuivre/zinc, manganèse, fer, nickel). Chez l'Homme, on retrouve seulement trois isoformes de l'enzyme SOD (*Guillouty, 2016*) ont été distinguées ; la SOD contenant du cuivre et du

zinc (Cu, ZnSOD), manganèse (MnSOD), SOD contenant de fer (FeSOD) (*Wuerges et al., 2004*).

### 1.7.1.2 Catalase (CAT)

Les catalases (EC 1, 11, 1,6) sont localisées dans les peroxysomes et sa cible principale est le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Cette place est stratégique puisque contient des enzymes comme les flavines, l'urate oxydase, le glucose oxydase et les D-amino-oxydases produisent des radicaux libres H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. L'activité de la catalase est coordonnée avec la concentration en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> selon la réaction suivante (*Guillouty, 2016*) :



### 1.7.1.3 La glutathion peroxydase (GPX)

Glutathione Peroxidase (GPx) (EC 1.11.1.9) est une enzyme intracellulaire importante qui décompose les peroxydes d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) à l'eau et les peroxydes de lipide à leurs alcools correspondants principalement dans les mitochondries et parfois dans le cytosol. La plupart du temps, son activité dépend d'un cofacteur de micronutriment connu sous le nom de sélénium. Pour cette raison, GPX est souvent appelé un peroxydase selenocysteine. L'enzyme joue un rôle plus crucial d'inhiber le processus de peroxydation des lipides et protège donc les cellules contre le stress oxydatif (*Ighodaro et Akinloye, 2017*).

Des informations plus approfondies sur le mécanisme biochimique montrent que la forme réduite de GSH réagit avec H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> via un processus enzymatique catalysé par la glutathion peroxydase. Une fois la réaction est en cours, le GSH disponible est converti en forme oxydée de glutathion (GSSG). Par conséquent, la régénération continue de GSH à partir de GSSG est un phénomène obligatoire qui est en place pour assurer que l'élimination de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> est maintenue de manière continue ce qui montre la réaction ci dessus :



La régénération de GSH à partir de GSSG est contrôlée par une réaction enzymatique supplémentaire qui est catalysée par l'enzyme glutathion réductase, également connue sous le nom de glutathion disulfure réductase (GSR) (*Herath et al., 2017*).

## 1.7.2 Antioxydants non enzymatiques

### 1.7.2.1 Antioxydants non-enzymatiques d'origine endogène

Ce groupe de systèmes antioxydants renferme de nombreuses substances parmi lesquelles on peut citer le Glutathion, l'acide urique, la Bilirubine (*Lecheheb et Chaabna, 2017*).

#### ➤ Glutathion (GSH/GSSG)

C'est un tripeptide formé de glycine, cystéine et de glutamate (*Raman et Berry, 2011*). Il est considéré comme le principal antioxydant non enzymatique intracellulaire (*Valko*

*et omova, 2011*). Le glutathion possède deux formes l'une oxydée (GSSG) et l'autre réduite (GSH). Ces deux états forment le couple redox (GSSG/GSH).

La capacité antioxydant du glutathion réside dans la présence d'un groupement thiol (-SH) présent sur la cystéine réduite. Le GSH réagit très bien avec de nombreux ERO comme les radicaux HO, RO<sup>•</sup>, RO<sub>2</sub><sup>•</sup>, les radicaux centrés sur le carbone R<sup>•</sup>, ClO<sup>•</sup>, ONOO<sup>-</sup> et l'oxygène singulet (*Raman et Berry, 2011*).

### ➤ Acide urique

C'est le produit de dégradation des composés puriques comme la xanthine et l'hypoxanthine (*Villasante et al., 2010*). Il réagit avec plusieurs espèces réactives aux potentialités oxydantes fortes comme ROO<sup>•</sup>, HO<sup>•</sup>, ONOO<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>•</sup> et l'oxygène singulet. Cette réactivité donne naissance au radical urate stable grâce à la délocalisation de l'électron célibataire sur son noyau purine, l'urate est très bien réduit par l'acide ascorbique (vitamine C), intégrant bien l'urate au sein de la défense antioxydant (*Halliwell et Gutteridge, 2008*).

### ➤ Bilirubine

La bilirubine est un produit terminal de la dégradation de l'hème et résulte essentiellement du catabolisme de l'hémoglobine par les cellules réticuloendothéliales. Ce composé liposoluble est capable de piéger les radicaux peroxyde, l'oxygène singulet et le radical hydroxyle, protégeant ainsi l'albumine et les acides gras liés à l'albumine des attaques radicalaires (*Algeciras-Schimmich et al., 2007*). La bilirubine est oxydée par certaines espèces recyclée par la biliverdine réductase (*Halliwell & Gutteridge, 2007*).

## 1.7.2.2 Antioxydants non-enzymatiques d'origine exogène

L'organisme possède une seconde ligne de défense « les piègeurs des radicaux libres » qui sont des composés pour la plupart apportés par l'alimentation et dont le rôle essentiel est de neutraliser les effets toxiques des ERO, limitant ainsi toute atteinte de l'intégrité cellulaire (*Koehler-Ramonatxo, 2006*).

### ➤ Vitamine C (acide L-ascorbique)

La vitamine C, ou acide ascorbique, est une molécule hydrophile que l'on retrouve dans de nombreux fruits. Son caractère hydrophile ne lui permet pas d'avoir une activité intracellulaire. la vitamine C est très bien connue pour ses propriétés antioxydantes, en effet, elle est considérée comme un excellent piègeur des espèces réactives oxygénées, il réagit avec l'anion superoxyde (OH<sup>•</sup>), l'oxygène singulet (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>), le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), ou encore inhibe la peroxydation lipidique en régénérant la vitamine E à partir de la forme radicalaire issue de sa réaction avec les radicaux lipidiques (*Birben et al., 2012 ; Kabel, 2014*).

### ➤ La vitamine E

La vitamine E ou bien α-tocophérol, est une vitamine liposoluble qui existe sous huit dérivatif et don alfatocopherols et la forme la plus active chez l'être humain, dû à son

activité antioxydante puissante (*Belyagoubi, 2011*), ce caractère hydrophobe lui permet de s'insérer au sein des acides gras de la membrane cellulaire et des lipoprotéines, ce qui ainsi explique sa capacité d'empêcher ou d'arrêter la propagation de la peroxydation lipidique et de piéger les radicaux libres organiques provenant de l'oxydation des lipides (*Laguerre et al., 2007 ; Birben et al., 2012 ; Kabel, 2014*). Cette vitamine devient à son tour un radical moins réactif, qui pourra être régénéré par l'acide ascorbique (*Bationo et al., 2015*).

### ➤ La Vitamine A

Elle appartient à la famille des caroténoïdes. Elle est capable de piéger les radicaux hydroxyles OH<sup>•</sup> et peroxydes LOO<sup>•</sup>, et elle protège ainsi les LDL, dans lesquelles elle est transportée. Grâce à son système de doubles liaisons conjuguées, le bêta-carotène fixe les radicaux peroxydes ROO<sup>•</sup> et le radical formé est stabilisé par mésomérie ; la propagation des oxydations en chaîne s'en trouve inhibée (*Nicol et Maudet., 2000 ; Laguerre et al., 2007*).

La vitamine A est responsable de la neutralisation de l'oxygène singlet, de l'anion superoxyde, de peroxy-nitrites, de radicaux lipidiques et son action se fait dans les milieux lipidiques. Elle agit sur les ERO en formant un radical de vitamine A qui pourra agir comme antioxydant en réagissant avec un autre radical pour former un non radical, ou sera régénéré en vitamine A (*Alain, 2011*).

### ➤ La vitamine B6

La vitamine B6 Exerce un rôle antioxydant indirect en favorisant la synthèse de la cystéine à partir de la méthionine et ainsi renforcerait la production de GSH (*Dalto et Matte, 2017*).

### ➤ Polyphénols

Les polyphénols Sont des molécules possédant plus de deux groupes aromatiques OH<sup>-</sup> et au moins un noyau aromatique benzène. Les polyphénols sont impliqués dans la prévention des diverses pathologies associées au stress oxydant grâce à leurs propriétés antioxydantes (*Rock, 2003*), et peuvent inhiber la peroxydation lipidique et détruisent certaines espèces réactives telles que HO<sup>•</sup> et NO<sub>2</sub><sup>•</sup> par abstraction d'un de leurs atomes d'hydrogène. Certains peuvent réagir directement avec l'ion superoxyde O<sub>2</sub><sup>-•</sup> (*Halliwell et Gutteridge, 2008*). Ils agissent de différentes façons soit par effet scavenger directe (*Quinoes et al., 2013*) soit par chélation de métaux de transition empêchant ainsi la réaction de Fenton (*Rodrigo et al., 2011*) soit par inhibition de l'activité de certaines enzymes responsables de la production de ROS comme la xanthine oxydase (*Jayasena et al., 2013*).

### ➤ Oligoéléments

Le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le manganèse (Mn), le sélénium (Se) et le fer (Fe) sont des métaux essentiels dans la défense contre le stress oxydant. Toutes les enzymes anti oxydantes requièrent un cofacteur pour maintenir leur activité catalytique. Ainsi, la SOD mitochondriale a besoin de manganèse, la SOD cytosolique de cuivre et de zinc, la catalase de fer et la GPx de sélénium (*Garait, 2006*).

**CHAPITRE II :**  
**Champignons comme source**  
**d'antioxydant**

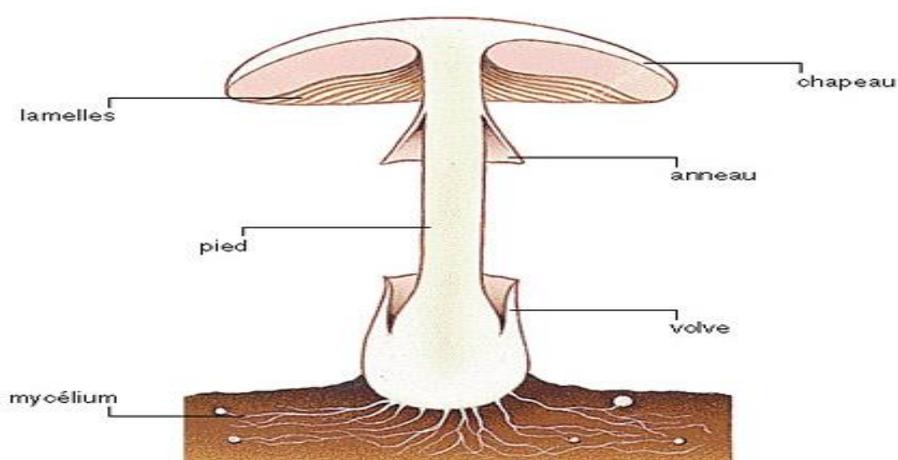
Les champignons comestibles ont été cueillis et consommés par les populations pendant des milliers d'années. Les archives archéologiques révèlent des espèces comestibles associées aux populations vivant il y a 13 000 ans au Chili (*Rojas et Mansur, 1995*). L'histoire de l'usage des champignons comestibles est bien enregistrée en Chine, bien que beaucoup d'informations soient toujours en chinois (*Dyke et Newton, 1999*). Il existe cependant de nombreux champignons comestibles que dans beaucoup de pays ont constitué pendant des siècles une partie de l'alimentation humaine (*Fernand, 1984*).

Les champignons comestibles sont des organes de fructification des macrofungi. Ils étaient autrefois appelés «la nourriture des dieux» (*Fernand, 1984*). Ils sont appréciés non seulement en raison de leur goût et de leur saveur, mais également en tant que source de macronutriments tels que les protéines, les fibres et faible en lipides ce qui les rend bien adaptés aux faibles régimes caloriques et des microéléments notamment les vitamines, l'acide ascorbique, le tocophérol et les caroténoïdes, les composés phénoliques comme les polyphénols et les flavonoïdes (*Hu et al., 2006; Mattila et al, 2002; Phillips et al., 2011; Shao et al 2010*), ils sont considérés comme une bonne source d'antioxydants naturels (*Boonsong et al., 2016*).

## 2 Définition des macrochampignons

Les champignons comestibles sont des champignons que l'on peut manger contrairement aux champignons toxiques, leur consommation n'est pas risquée pour la santé (*Chaffai et Ouchene 2019*).

La détermination d'un champignon comestible passe par la reconnaissance d'un certain nombre de caractères macroscopiques, on décrit les composantes suivantes : Hyménophore la partie fertile du champignon où se trouvent les spores, le Chapeau la forme (convexe, conique, ombiliqué...), hauteur et diamètre, la couleur, marge (lisse, enroulée, ondulée...), le revêtement, le Pied ou stipe : forme, couleur, longueur, diamètre (à la base, au milieu et au sommet si sa forme est variable) Chair : couleur, consistance et texture (figure 12) (*Roger, 1981 ; Romagnesi, 1995 ; Gévry et Villeneuve, 2009 ; Bâ et al., 2011 ; Eyi Ndong et al., 2011*).



**Figure 11:** Morphologie d'un champignon

([http://ruedeslumieres.morkitu.org/apprendre/champignon/biologie/images/coupe\\_agaric.jpg](http://ruedeslumieres.morkitu.org/apprendre/champignon/biologie/images/coupe_agaric.jpg))

Les champignons comestibles sont des organismes hétérotrophes, ils sont répartis en 3 catégories selon leur mode de nutrition : les saprophytes, les parasites et les symbiotiques (figure 11) (*Boulmarka et laoufi, 2017*).



**Figure 12 :** Quelques exemples des champignons comestibles selon leur mode de vie (a) : *Coprinus comatus*; (b): *Pleurotus ostreatus*, sur un arbre ; (c): *Amanita muscaria*, Basidiomycètes croissant sous les bouleaux (*Boulmarka et laoufi, 2017*).

Les champignons comestibles sont généralement commercialisés dans les industries alimentaires en trois catégories, qui sont frais, séchés ou en conserve et transformés en produits à base des champignons (*Amin et al., 2014*). La plupart des champignons comestibles frais sont utilisés dans la soupe, la sauce et comme garniture dans les petits pains ou les pizzas. Les champignons comestibles frais sont généralement vendus sur les marchés locaux en raison de leur courte durée de conservation (*Akbarirad et al., 2019*).

Si les champignons comestibles ne sont pas consommés rapidement, il est prudent de les stocker dans un endroit frais et sec (pas plus d'un jour ou deux dans la cave, le bac à légumes du réfrigérateur), en prenant soin de les étaler et de les placer le pied en l'air (les larves non éliminées lors du nettoyage ont toujours tendance à monter et s'accumuler dans l'extrémité du pied). Au moment de la préparation culinaire, il suffit alors de sectionner le pied (*Karine et philippe, 2014*).

Cependant, les champignons comestibles cultivés sont également commercialisés et sa culture augmente partout dans le monde (*Kalač, 2009*). Ci-dessous un tableau (tableau 3) qui montre quelques exemples des champignons comestibles les plus populaires au Portugal ainsi que dans le monde entier tel que : *A. bisporus* (champignons blancs et bruns), *Pleurotus ostreatus* (pleurotes), *Pleurotus eryngii* (Champignon pleurote), *L. edodes* (Shiitake) et *F. velutipes* (champignon aiguille dorée) (*Reis et al., 2011*).

Tableau03 : Exemples des champignons comestibles (*Reis et al., 2011*).

| Non latin                   | Nom commun                         | Photo                                                                                 |
|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Flammulina velutipes</i> | Champignon à l'aiguille d'or/Enoki |    |
| <i>Lentinula edodes</i>     | Shiitake/Shiitake                  |    |
| <i>Pleurotus eryngii</i>    | King oyster champignon/Eryngii     |   |
| <i>Pleurotus ostreatus</i>  | Oyster champignons/Repolga         |  |
| <i>Agaricus bisporus</i>    | Champignon brun / Portobello       |  |
| <i>Agaricus bisporus</i>    | Champignon blanc/Champignon        |  |

## 2.1 Les Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires, l'une des sources les plus puissantes d'antioxydants, agissant comme des inhibiteurs des radicaux libres, des décomposeurs de peroxyde, des inactivateurs des métaux ou des capteurs d'oxygène et se trouvent couramment dans les champignons comestibles (*Kolayli et al. 2012*).

Les champignons comestibles contiennent entre 1 et 6 mg de composés phénoliques par gramme de champignon selon l'espèce. Les principaux composés phénoliques présents dans les champignons sont les acides phénoliques et les flavonoïdes (*Palacios et al., 2011*).

Certains champignons comestibles courants sont actuellement révélés posséder une activité antioxydante, qui est bien corrélée avec leur contenu phénolique total (*Barros et al., 2007*). De plus, au cours des dernières années, un intérêt croissant pour la consommation des champignons est apparu, en raison de leur concentration élevée en polyphénols (tableau 4) qui est en corrélation avec une activité antioxydante élevée (*Elmastas et al., 2007 ; Mau et al., 2001 ; Ferreira et al., 2007*).

Il existe un consensus sur le fait que les phénoliques, en particulier les acides phénoliques, sont les principaux antioxydants des champignons (*Kalač, 2012*).

**Tableau 04:** Phénolique total des études culinaires sur les champignons comestibles.

| Nom latin                   | Pays     | Teneur phénolique totale (mg GAE / g d'extrait) | Références                      |
|-----------------------------|----------|-------------------------------------------------|---------------------------------|
| <i>Agrocybe sp.</i>         | Malaisie | 25.40 ± 1.52                                    | <i>(Abdullah et al., 2012)</i>  |
| <i>Flammulina velutipes</i> | Malaisie | 16.69 ± 2.62                                    |                                 |
| <i>Hericium erinaceus</i>   | Malaisie | 10.20 ± 2.25                                    |                                 |
| <i>Hydnum repandum</i>      | Inde     | 7.40                                            | <i>(Puttaraju et al., 2006)</i> |
| <i>Pleurotus eryngii</i>    | Corée    | 0.03                                            | <i>(Kim et al., 2008)</i>       |
| <i>Phellinus linteus</i>    | Corée    | 0.21                                            |                                 |
| <i>Pleurotus sajor-caju</i> | Inde     | 14.43                                           | <i>(Puttaraju et al., 2006)</i> |

### 2.1.1 Les polyphénols

Le terme polyphénol fait référence à un groupe complexe des composés qui comprend des phénols simples tels que les acides phénoliques et leurs dérivés et les flavonoïdes (*Keles et al., 2011*).

L'effet protecteur des polyphénols, en particulier vis-à-vis des maladies cardiovasculaires, et d'abord été attribué à leurs propriétés antioxydantes. Du fait de leur structure chimique, les polyphénols sont capables de piéger certaines espèces radicalaires

et de chélater les métaux de transition (Fer et Cuivre), catalyseurs d'oxydation. Il a donc été suggéré que les polyphénols diminuent le stress oxydatif (*Amiot et al., 2009*).

Les champignons comestibles contiennent des grandes quantités des polyphénols à des concentrations de l'ordre de 6.25 - 3,62 mg / ml (*Sánchez, 2016*).

### 2.1.1.1 Les acides phénoliques

L'activité anti-oxydante des acides phénoliques est généralement combinée avec des groupes hydroxyles trouvés dans leurs molécules (*Cazes, 2009*), ils peuvent être divisés en deux groupes principaux : Les acides hydroxybenzoïques et les acides hydrocinnamiques (*Ferreira et al., 2009*).

À notre connaissance, le profil individuel de la plupart des champignons comestibles a été décrit pour la première fois dans l'étude. L'enquête a confirmé la présence d'acides phénoliques (à la fois des dérivés de l'acide benzoïque et des dérivés de l'acide cinnamique) dans les champignons comestibles (tableau 5) (*Gąsecka et al., 2017*), La teneur totale en acide phénolique déclarée varie considérablement entre 4et 80mg/kg 1DM (*Kalač,2012*).

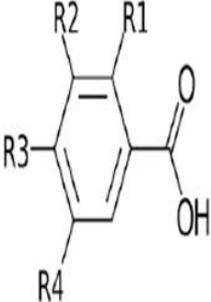
**Tableau05** : Acides phénoliques et teneur en acide cinnamique d'une variété de champignons comestibles, exprimés en µg par gramme de champignon (*wang et al., 2020*).

| Champignons Comestibles   | <i>Agaricus bisporus</i> | <i>Lentinula edodes</i> | <i>Pleurotus ostreatus</i> | <i>Pleurotus eryngii</i> |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Acide gallique            | 94,90                    | nd                      | 290,34                     | nd                       |
| Acide caféique            | 15,54                    | nd                      | Nd                         | nd                       |
| Acide protocolesatéchique | 16,21                    | 0,36                    | 19.32                      | 0.06                     |
| p- Acide hydroxybenzoïque | 15.39                    | 1.57                    | 4.69                       | 0.10                     |
| p- Acide coumarique       | 10.38                    | nd                      | 11.15                      | 1.04                     |
| Acide cinnamique          | 0.38                     | 0.02                    | 0.23                       | 0.20                     |
| Acide homogentisique      | 3444.30                  | nd                      | 629.86                     | Nd                       |

#### 2.1.1.1.1 Les acides hydroxybenzoïques (C6-C1)

Acides hydroxybenzoïques (tableau 06) sont des composés phénoliques, ces acides existent sous les formes libres, estérifiées et glycosidiques. Il existe des preuves expérimentales de leur activité physiologique et antioxydante (*Marković et al., 2014*).

**Tableau06 :** Dérivés d'acide hydroxybenzoïque (*Macheix et al., 2005*).

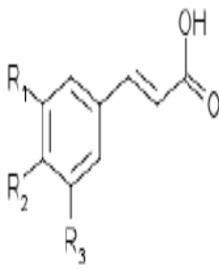
|                                                                                   |                         |                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
|  | R1=R2=R3=R4=H           | acide benzoïque (non phénolique) |
|                                                                                   | R1=R2=R4=H, R3=OH       | acide p-hydroxybenzoïque         |
|                                                                                   | R1=R4=H, R2=R3=OH       | acide protocatéchinique          |
|                                                                                   | R1=H, R2=R3=R4=OH       | acide gallique                   |
|                                                                                   | R1=H, R2=R4=OCH3, R3=OH | acide syringique                 |
|                                                                                   | R1=OH, R2=R3=R4=H       | acide salicylique                |
|                                                                                   | R1=R4=OH, R2=R3=H       | acide gentisique                 |

### 2.1.1.1.2 Les acides hydrocinnamiques (C6-C3)

Les acides hydrocinnamiques (HCA) constituent le sous-groupe principal des acides phénoliques, tels que les acides *p*-coumarique, caféique, férulique et sinapique possèdent un squelette chimique simple composé d'une structure phénylpropanoïde C6-C3 (tableau 07)

les HCA ont été attribués pour agir comme des puissants composés antioxydants possédant divers rôles physiologiques dans les systèmes biologiques. Les données de recherche ont révélé que les HCA peuvent être utilisés à des fins préventives et / ou thérapeutiques dans plusieurs maladies liées au stress oxydatif (par exemple, l'athérosclérose, les lésions inflammatoires, le cancer et les maladies cardiovasculaires) (*Teixeira et al., 2013*).

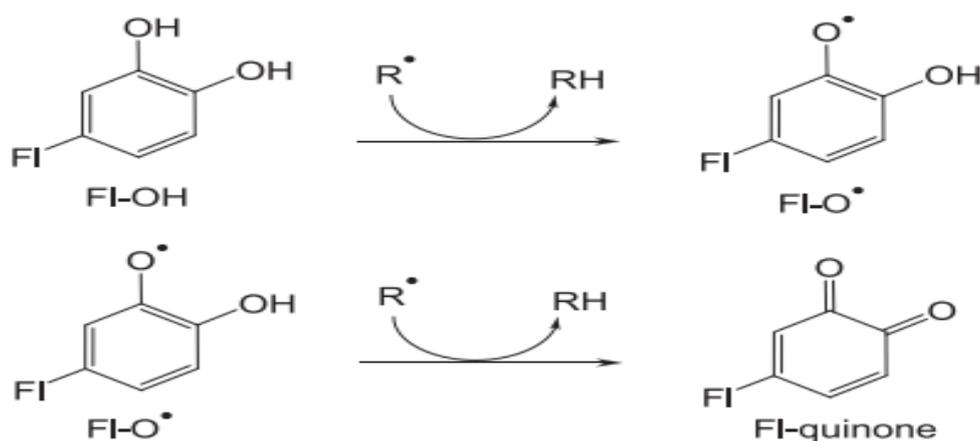
**Tableau 07:** Dérivés de l'acide hydroxy cinnamiques (*Macheix et al., 2005*).

|                                                                                     |                      |                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
|  | R1=R2=R3=H           | acide cinnamique (non phénolique) |
|                                                                                     | R1=RH, R2=OH         | acide p-cinnamique                |
|                                                                                     | R1=R2=OH, R3=H       | acide caféique                    |
|                                                                                     | R1=OCH3, R2=OH, R3=H | acide férulique                   |
|                                                                                     | R1=R3=OCH3, R2=OH    | acide sinapique                   |

### 2.1.1.2 Les flavonoïdes (C6-C3-C6)

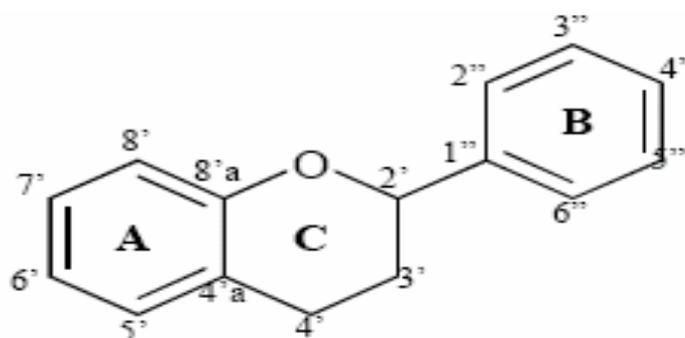
A l'origine, les flavonoïdes proviennent de la désamination d'un acide aminé essentiel, la phénylalanine (*Cherrak, 2017*). ils sont des substances phénoliques qui représentent un large groupe des métabolismes secondaires. Leur structure comprend de deux cycles aromatiques (A et B) reliées par une trois chaîne carbonée, généralement organisé comme une hétérocyclique oxygéné (C) (figure 14) (*Karabin et al., 2015*). Actuellement, environ de 4000 composés flavoniques sont connus (*Edenharder et Grünhage, 2003*), ils sont divisés en plusieurs classes : flavones, flavanols, flavonols, isoflavones, flavanones et anthocyanes (tableau08) (*Tabart, 2011*).

Les flavonoïdes sont des molécules de défense contre les organismes pathogènes, (*Saffidine, 2015*). La propriété la mieux décrite est leur activité antioxydant (*Ghedira, 2005*). Les capacités antioxydants des flavonoïdes sont nettement supérieures à celles des vitamines. Les flavonoïdes sont capables de neutraliser les radicaux libres directement par donation d'atome d'hydrogène : radicaux hydroxyles ( $\text{OH}\cdot$ ), anions superoxydes ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ) et radicaux peroxy lipidiques, selon la réaction suivante (figure 13) (*Cherrak, 2017*):



**Figure 13:** Piégeage d'un radical libre par les flavonoïdes (*Cherrak, 2017*).

Ainsi, des études récentes suggèrent qu'ils seraient également de puissants pièges du radical NO (*Ghedira, 2005*).



**Figure 14 :** Squelette de base des flavonoïdes (*Tabart, 2011*)

**Tableau 08** : Récapitulatif des six classes de flavonoïdes (*Guillouty, 2016*).

|                   | Structure de base | Principales molécules                                                   |
|-------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Anthocyane</b> |                   | Cyanidine, pélagonidine, malvidine, delphinidine                        |
| <b>Flavonol</b>   |                   | Quercétine, kaempférol, myricétine                                      |
| <b>Flavone</b>    |                   | Apigénine, Lutéoline                                                    |
| <b>Flavanone</b>  |                   | Herpérétine, naringénine, ériodictyol                                   |
| <b>Isoflavon</b>  |                   | Daïdzéine, Génistéine                                                   |
| <b>Flavanol</b>   |                   | Catéchines, gallocatéchines (monomères), proanthocyanidines (polymères) |

**Tableau 08** : Récapitulatif des six classes de flavonoïdes (*Guillouty, 2016*).

En général, on peut supposer que seules les plantes possèdent la capacité biosynthétique de produire des flavonoïdes, alors que les animaux et les champignons ne sont pas capables. Cependant, la présence des flavonoïdes a été rapportée dans différents champignons comestibles (*Ferreira et al., 2009*). Plus récemment, l'analyse de champignon *Cantharellus cibarius* ont montré que les phénols étaient ses principaux

composants antioxydants, mais suivis des flavonoïdes, dont la teneur était d'environ 86% de la teneur totale en phénol (*Kozarski et al., 2015*). D'autres exemples des champignons comestibles montrés dans (tableau 09).

**Tableau 09** : La teneur en flavonoïdes dans certain champignons comestibles.

| Nom latin                          | paye     | Teneur flavonoïdes en                | Référence                      |
|------------------------------------|----------|--------------------------------------|--------------------------------|
| <i>Melanoleuca cognata</i>         | Turquie  | 7.0 et 6,7 $\mu\text{mol QE / g DW}$ | <i>(Bahadori et al., 2019)</i> |
| <i>Melanoleuca stridula</i>        | Turquie  |                                      |                                |
| <i>Agaricus silvaticus</i>         |          | 3.40 $\pm$ 0.01                      | <i>(Barros et al., 2008)</i>   |
| <i>Marasmius oreades</i>           |          | 2.26 $\pm$ 0.18                      |                                |
| <i>Volvariella volvacea</i>        | Tailande | 7.29 $\pm$ 0.21                      | <i>(Boonsong et al., 2016)</i> |
| <i>Auricularia auricula</i>        |          | 1.62 $\pm$ 0.68                      |                                |
| <i>Lentinus edodes</i>             |          | 3.75 $\pm$ 0.28                      |                                |
| <i>Pleurotus sajor-caju</i>        |          | 2.29 $\pm$ 0.99                      |                                |
| <i>Polyporus tenuiculus</i>        | Tanzanie | 20,86 $\pm$ 2,83                     | <i>(Hussein et al., 2015)</i>  |
| <i>Auricularia auricular-judae</i> |          | 16,84 $\pm$ 0,99                     |                                |
| <i>Lentinus squarrosulus</i>       |          | 25,62 $\pm$ 1,78                     |                                |
| <i>Macrolepiota procera</i>        |          | 8,66 $\pm$ 1,08                      |                                |

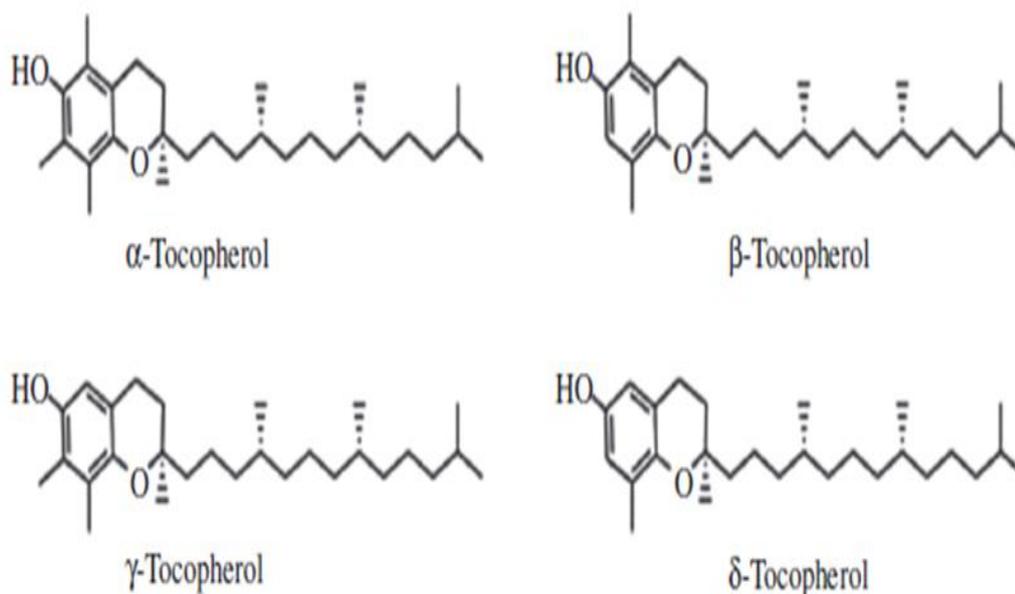
## 2.2 Les vitamines

Les vitamines sont essentielles à notre santé. Elles sont des substances organiques, participent à de nombreuses réactions chimiques dans l'organisme sans valeur énergétique propre, Notre corps ne les fabriquant pas, elles doivent obligatoirement être fournies par une alimentation variée et équilibrée. Parfois apportées sous forme de compléments, elles doivent alors être utilisées avec prudence (*vidal, 2008*).

Les champignons comestibles sont l'une des meilleures sources des vitamines fournissent un contenu nutritionnel important en vitamines (*Finkel et Holbrook, 2000*). Les vitamines présentes dans les champignons comestibles comprennent l'acide ascorbique, les caroténoïdes et les tocophérols (*Muszynska et al., 2017*) sont connus pour neutraliser les radicaux libres et contribuer à protéger les cellules. Ils sont appelés « antioxydants ».

### 2.2.1 Vitamine E (tocophérol)

La vitamine E est un micronutriment essentiel représenté par un groupe des molécules d'origine végétale (quatre tocophérols et quatre tocotriénols) (figure15). Le  $\alpha$ - tocophérol est la forme la plus importante de cette vitamine dans les tissus humaine, cette dernier est un antioxydant importante pour protéger les lipides dans les cellules et les fluides corporels, représentant ainsi une composante anti-âge naturelle des tissus humains (*Pierangelo et al., 2020*).



**Figure15** : Structures chimiques des tocophérols (*Pierangelo et al., 2020*).

Les tocophérols  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\delta$  ont été identifiés et quantifiés dans les champignons comestibles (tableau 10). Cependant, jusqu'à présent, les tocotriénols n'ont été détectés dans aucune des études disponibles (*Ferreira et al., 2009*).

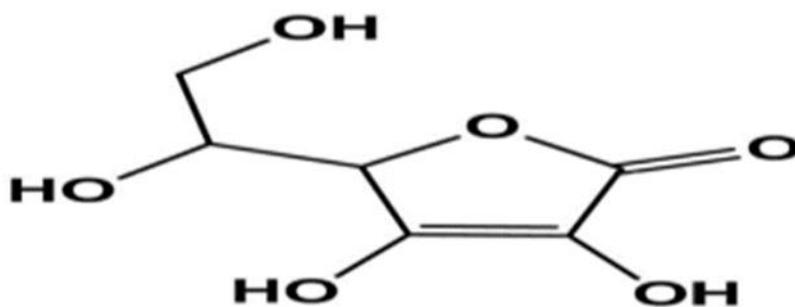
Certains rapports ont été publiés sur la teneur en tocophérols des champignons comestibles. Tous ont rapporté la même méthodologie, compris la saponification dans le processus d'extraction et l'analyse par HPLC couplée à un détecteur UV (*Barros et al., 2008*). Les quantités de tocophérols détectées dans les champignons comestibles étaient beaucoup plus faibles que celles mesurées dans certaines épicereries qui sont généralement recommandées comme une bonne source de vitamine E (*Ferreira et al., 2009* ; *Barros et al., 2008* ; *Finley et al., 2011* ; *Barros.,2008* ; *Grangeia., 2011*). Par rapport aux aliments riches en vitamine E, par exemple, les amandes (26,2 mg / 100 g), les graines de tournesol grillées (36,3 mg / 100 g), les avocats (2,1 mg / 100 g), le tofu (5,3 mg / 100 g), les crevettes (2,2 mg / 100 g) etc , la teneur en tocophérols des champignons comestibles est mesurée entre 2 mg / 100 g DW (*Barros et al., 2008* ; *Barros et al., 2008* ; *Grangeia., 2011* ; *Kozarski et al., 2015*).

**Tableau 10** : Tocophérols déterminés dans les champignons comestibles.

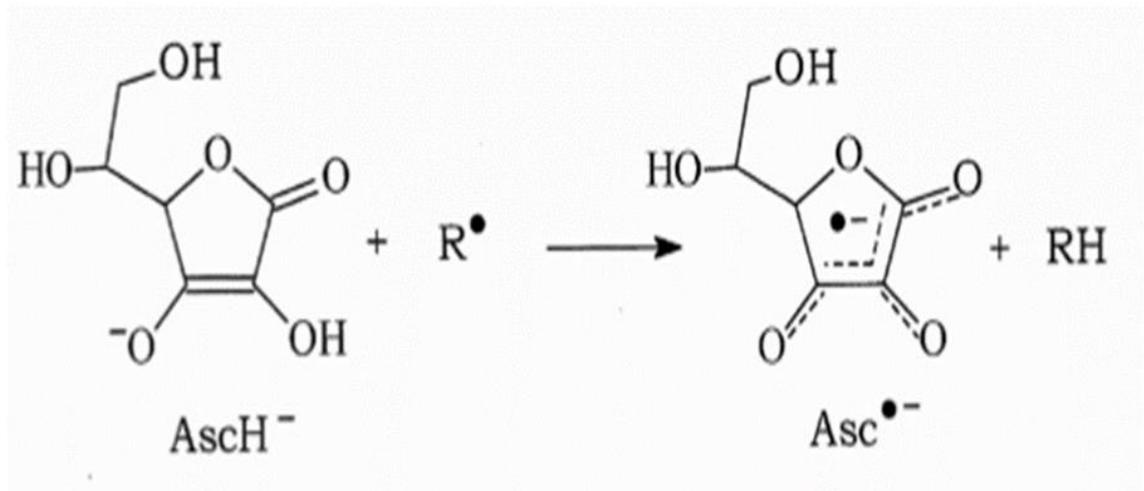
| Nom latin                   | Pays     | Teneur du tocophérole (µg/100 g) | Reference               |
|-----------------------------|----------|----------------------------------|-------------------------|
| <i>Agaricus bisporus</i>    | Portugal | 2,41 ± 0,05                      | (Barros et al., 2008)   |
| <i>Agaricus silvaticus</i>  | Portugal | 1,16 ± 0,08                      |                         |
| <i>Agaricus silvicola</i>   | Portugal | 3,23 ± 0,00                      |                         |
| <i>Lentinula edodes</i>     | Portugal | 10.83± 0.10                      | (Reis et al., 2011)     |
| <i>Pleurotus ostreatus</i>  | Portugal | 3.72± 0.29                       |                         |
| <i>Pleurotus eryngii</i>    | Portugal | 4.86± 0.26                       |                         |
| <i>Flammulina velutipes</i> | Portugal | 1.81± 0.02                       |                         |
| <i>Russula delica</i>       | turque   | 4.27 ±0.1                        | (Elmastaş et al., 2007) |
| <i>Polyporus squamosus</i>  | turque   | 0.37 ±0.01                       |                         |
| <i>Verpa conica</i>         | turque   | 1.97±0.1                         |                         |
| <i>Boletus badius</i>       | turque   | 8.87 ±0.1                        |                         |

### 2.2.2 Vitamine C (acide ascorbique)

La vitamine C également connue sous le nom de l'acide ascorbique, elle est hydrosoluble, sensible à la chaleur, à l'eau et à la lumière (Fain, 2004).

**Figure 16** : Structure de l'acide ascorbique

L'acide ascorbique est formée de 6 atomes de Carbone, 8 atomes d'hydrogènes et 6 atomes d'oxygènes, sa forme oxydée est peu présente dans le plasma car rapidement réduit en acide ascorbique par le glutathion notamment (figure16) (Fain, 2004).



**Figure 17 :** Equation entre l'Acide Ascorbique et Déshydroascorbique (Fain, 2004).

C'est un nutriment nécessaire pour les humains, qui sont incapables de sa synthèse et qui doivent sécuriser la vitamine C par l'absorption alimentaire (Giovannoni, 2007 ; Hancock et viola, 2005). Les végétaux constituent la principale source, Il était plus élevé que sa teneur en certains fruits et légumes qui sont généralement recommandés comme une bonne source de vitamine C, La quantité déclarée d'acide ascorbique dans les fraises est de 60 mg / 100 g, les agrumes de 30 à 50 mg / 100g, tandis que les pommes, les poires et les prunes ne représentent qu'une source très modeste d'acide ascorbique (3 à 5 mg / 100 g) (Davey et al., 2000).

La durée de vie est entre 10 à 20 jours. La concentration plasmatique en vitamine C, est un bon indicateur pour connaître le statut vitaminique C'est à cette concentration que le pouvoir antioxydant serait maximal (Joas, 2009).

L'ascorbate en tant qu'agent réducteur donneur d'électron est l'antioxydant hydrosoluble le plus abondant dans le règne vivant (Linster et Van Schaftingen, 2006), sa capacité à réagir avec les espèces oxydantes pour les transformer en molécules moins réactives et ainsi éviter l'accumulation de radicaux libres dans la cellule. Les cibles de la vitamine C peuvent être des espèces réactives à l'oxygène comme l'ion superoxyde, les radicaux hydroxyl ou peroxy ou à l'azote (Padayatty et al., 2003).

L'acide ascorbique exercerait un rôle protecteur importants au niveau de la santé humaine contre diverses maladies telles que les maladies cardiaques les accidents vasculaires cérébraux, le cancer, oxydation cellulaire, plusieurs maladies neurodégénératives et la cataractogénèse (Halliwell, 1996).

La vitamine C, l'une des vitamines les plus simples, a été trouvée dans plusieurs espèces de champignons comestibles (tableau 11) (kozarski et al., 2015). Les organes de fructification des champignons comestibles contiennent différentes quantités de vitamine C 170-200 mg kg<sup>-1</sup> DM (Bernas et al., 2006).

Le taux de vitamine C contenu dans certains champignons comestibles comme le pleurote pour 100 g de poids sec : 47 mg de vitamine C (*Rampin, 2017*), et pour 100 g poids sec de l'extrait méthanolique du *Cantharellus cibarius* : 100 mg d'acide ascorbique (*Kozarski et al., 2015*), Il était plus élevé que sa teneur en certains fruits et légumes qui sont généralement recommandés comme une bonne source de vitamine C (*Davey et al., 2000*), il a été quantifié par HPLC couplée à un détecteur UV ou à fluorescence, soit en suivant la procédure du spectrophotomètre basée sur la réaction avec le 2,6-dichlorophénolindophénol (*Ferreira et al., 2009*).

**Tableau 11** : Teneur en acide ascorbique déterminés dans les champignons comestibles

| Nom latin                      | Pays     | Teneur de la vitamine C mg/g | References                            |
|--------------------------------|----------|------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Leucopaxillus giganteus</i> | Portugal | 0.13 ± 0.0069                | <i>(Lillian et al., 2006)</i>         |
| <i>Sarcodon imbricatus</i>     | Portugal | 0.16 ± 0.0072                |                                       |
| <i>Agaricu arvensis</i>        | Portugal | 0.35 ± 0.0015                |                                       |
| <i>Calvatia gigantea</i>       | India    | 0.15                         | <i>Agrahar et Subbulakshmi, 2005)</i> |
| <i>Agaricus bisporus</i>       | Poland   | 0.22                         | <i>(Jaworska et al., 2008)</i>        |
| <i>Fistulina hepatica</i>      | Portugal | 2.80                         | <i>(Ribeiro et al., 2007)</i>         |
| <i>Auricularia polytricha</i>  | Taiwan   | 3.28                         | <i>(Mau et al., 2001)</i>             |

### 2.2.3 Caroténoïde

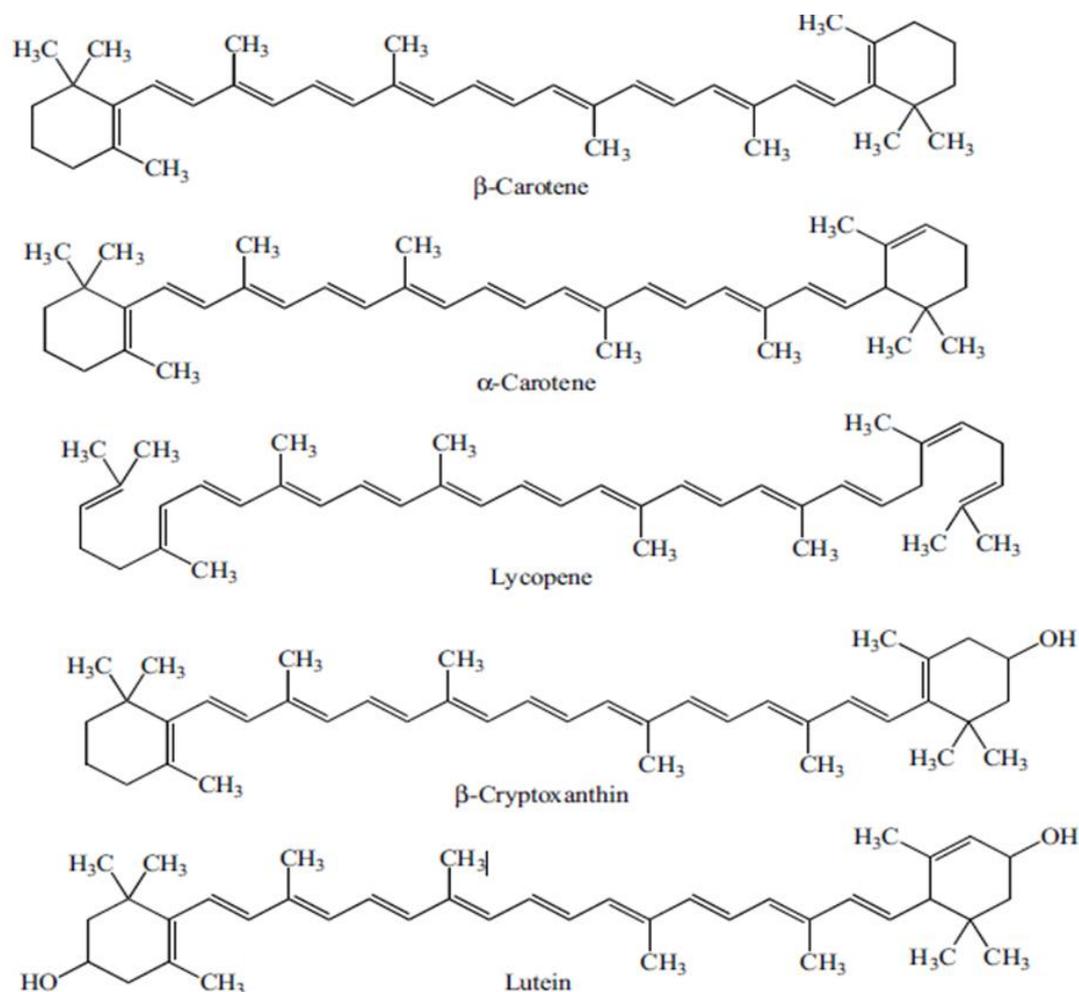
Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles naturels (*Stahl et Sies, 2005*), Ils regroupent les carotènes (caroténoïdes hydrocarbonés) et les xanthophylles (caroténoïdes porteurs de fonctions alcool, cétone, époxy...) (figure18). Les caroténoïdes sont des métabolites secondaires principalement synthétisés par les champignons. Plus de 600 caroténoïdes naturels, ayant des structures très variées, ont été décrits à ce jour environ 40 sont présents dans l'alimentation humaine.

Les caroténoïdes sont des pigments colorés dont la couleur varie du jaune au rouge (*Britton et al., 2008*), Ces pigments sont d'abord connus pour la convertibilité de certains d'entre eux en vitamine A, une vitamine essentielle, indispensable à la préservation des tissus épithéliaux des yeux et au système immunitaire (*Bendich et Shapiro, 1986*). Les caroténoïdes sont également de puissants antioxydants capables de protéger les cellules vivantes contre des attaques de radicaux libres et des dommages oxydatifs par une action anti-mutagène, anticlastogène et anti-carcinogène (*Burton et al., 1984; Bendich et Shapiro, 1986; Fakourelis et al., 1987; Park, 1994; Mueller et Boehm, 2011*).

Dans l'alimentation, ils sont non seulement utilisés comme colorants alimentaires mais aussi ajoutés dans certains régimes fonctionnels afin d'abaisser la mortalité causée par certaines maladies (*Pierce et al., 2006*).

Près de 90% des caroténoïdes du régime alimentaire et du corps humain sont représentés par le  $\beta$ -carotène, le lycopène, la lutéine et la cryptoxanthine (*Gerster, 1997*) (Figure 19). Dont le  $\beta$ -carotène, l' $\alpha$ -carotène et la  $\beta$ -cryptoxanthine peuvent fonctionner comme provitamine A et jouent un rôle important en tant que sources alimentaires de vitamine A.

L'intérêt récent pour les caroténoïdes s'est concentré sur le rôle du lycopène dans la santé humaine, ce dernier est connu pour être le désactivateur d'oxygène singulet le plus efficace par rapport à une variété de caroténoïdes et d' $\alpha$ -tocophérol (*Tibuhwa, 2014*). Il a été démontré que le lycopène traverse la barrière hémato-encéphalique et est présent dans le système nerveux central à de faibles concentrations. Une réduction significative des taux de lycopène a été rapportée chez les patients atteints de la maladie de Parkinson et de démence vasculaire (*Rao et Rao, 2007 ; Foy et al., 1999*).



**Figure 18:** Structures de certains des principaux caroténoïdes alimentaires (*Feriira et al., 2009*).

le carotène a été trouvé dans plusieurs espèces des champignons comestibles (tableau12), Les méthodes de détection sont des détecteurs à barrettes de diode (*Johnson, 2002 ; Mangels et al., 1993*) soit en utilisant une HPLC couplée à un détecteur UV ou de fluorescence, soit en suivant des procédures au spectrophotomètre (*Feraira et al., 2009*).

Dans une étude de quelque exemple des champignons comestibles en Tanzanie, Il a été établi que la teneur en lycopène était bien inférieure à la concentration de  $\beta$ - carotène dans les champignons comestibles où 0,0265 mg 100 g<sup>-1</sup> pour  $\beta$ - carotène et 0,0023 mg 100 g<sup>-1</sup> pour le lycopène (*Yaltirak et al., 2009*).

Cela a clairement montré que les quantités de  $\beta$ - carotène et le lycopène dans les champignons comestibles étudiés sont en abondance par rapport à la concentration rapportée dans certains légumes et autres champignons comestibles, ce qui implique que les champignons étudiés pourraient être une bonne source alternative des caroténoïdes (*Hussein et al., 2015*).

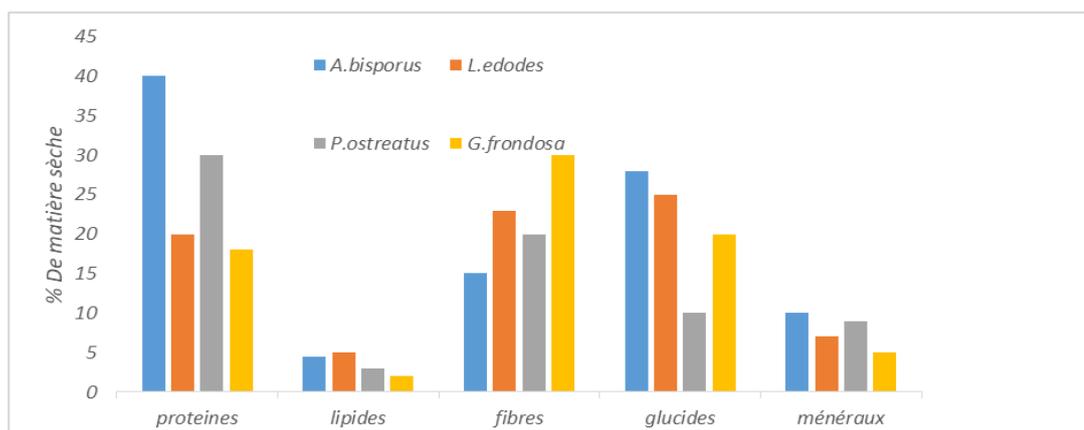
**Tableau12** : Les caroténoïdes déterminés dans les champignons comestibles

| Nom latin                   | Pays     | Teneur du Carotène mg/g          | References                        |
|-----------------------------|----------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Lactarius deliciosus</i> | Portugal | 0.09                             | ( <i>Barros et al., 2007</i> )    |
| <i>Pleurotus ostreatus</i>  | Inde     | 0.03                             | ( <i>Jayakumar et al., 2008</i> ) |
| <i>Lactarius piperatus</i>  | Portugal | 0.03                             | ( <i>Barros et al., 2007</i> )    |
| <i>Agaricus arvensis</i>    | Portugal | 8.52 10 <sup>-3</sup><br>=0.0085 | ( <i>Barros et al., 2008</i> )    |
| <i>Tricholoma acerbum</i>   | Portugal | 0.08                             | ( <i>Barros et al., 2008</i> )    |
| <i>Verpa conica</i>         | turque   | 0.01                             | ( <i>Elmastas et al., 2007</i> )  |
| <i>Hypsizigus marmoreus</i> | Taiwan   | 0.02                             | ( <i>Ng et al., 2007</i> )        |
| <i>Polyporus squamosus</i>  | Turque   | 0.02                             | ( <i>Elmastas et al., 2007</i> )  |
| <i>Agaricus bisporus</i>    | Turque   | 0.04                             |                                   |

**CHAPITRE III :**  
**Valeur nutritionnelle et effet**  
**thérapeutique des champignons**

Les champignons comestibles sont devenus plus importants pour la vie quotidienne humaine, ils sont considérés comme un mets délicat à haute valeur nutritionnelle et fonctionnelle et acceptés comme aliments nutraceutiques ; ils présentent un intérêt considérable en raison de leur mérite organoleptique, de leurs propriétés médicinales (*Valverde et al., 2015*), car ils sont assez riches en protéines, avec une teneur importante en acides aminés essentiels, de polysaccharides et en fibres, pauvre en graisses mais avec une excellente teneur en acides gras essentiels (*Ho et al., 2020*). Les champignons comestibles apportent un contenu nutritionnel significatif en vitamines et une source relativement bonne des autres nutriments comme le phosphore, le fer (*kumar, 2015*). Ils sont faibles en calories, ne peuvent contenir que 22 kcal pour 100 grammes ce qui montre la (figure19) sur les éléments nutritifs entre quatre espèce de champignons (*Friedman, 2016*).consommé des champignons comestibles (*Loria-Kohen et al 2014*). Les champignons comestibles contribuent donc au régime alimentaire, à la santé et au revenu (*Sande et al., 2019*).

Cependant, il n'y a pas de distinction facile entre les champignons comestibles et les champignons médicaux car de nombreuses espèces des champignons comestibles communes ont des propriétés thérapeutiques et utilisées à des fins médicales (*Valverde et al., 2015*).



**Figure 19 :** Teneur en éléments nutritifs de quatre champignons comestibles sélectionnés, telle que rapportée par la Base de données nationale sur les éléments nutritifs (*Friedman, 2016*).

### 3 Valeur nutritionnelle des champignons

#### 3.1 Protéines

Les champignons comestibles sont une bonne source des protéines de haute qualité. Il contient de 20 à 35% de protéines plus élevé que les légumes et les fruits et de qualité supérieure (*Jérôme, 2013*).

Les champignons comestibles riches en lysine et en tryptophane, les deux acides aminés essentiels carencés en céréales. On l'appelle aussi légumes blancs ou «viande végétarienne désossée» (*Kakon et al., 2012*). Il est rapporté que la teneur en protéines des champignons comestibles est affectée par un certain nombre de facteurs, à savoir le type de champignons, le stade de développement, la partie échantillonnée, le niveau d'azote disponible et l'emplacement (*Ukwuru et al., 2018*).

Les acides aminés qui ne peuvent pas être synthétisés par l'homme peuvent être fournis aux champignons comestibles. Par conséquent le rapport des acides aminés essentiels (EAA) à acides aminés totaux (TAA) donne une idée de la qualité nutritionnelle des protéines dans les aliments. Sachant que les Acides aminés essentiels sont : (Lys, Thr, Val, Ile, Leu, Met, Try, Phe) et non essentiels (Arg, Ala, Tyr, Gly, Ser, Pro, His, Asp, Glu, Cys) (*Sun et al., 2012*). La protéine des champignons comestibles contient les neuf acides aminés essentiels requis par l'homme (tableau 13) (*Barros et al., 2008*).

La teneur en acides aminés essentiels (g / 100 g de protéines) des champignons varie d'environ 34 à 47%. Les profils d'acides aminés essentiels des champignons comestibles révèlent que les protéines sont déficientes en acides aminés soufrés, dont la méthionine et la cystéine. Cependant, ces champignons sont relativement riches en thréonine et en valine. Il a été rapporté que la lysine, la leucine, l'isoleucine et le tryptophane sont les acides aminés limitants dans certaines protéines de champignons comestibles (*Rathee et al., 2012*).

En termes de quantité des protéines brutes, les champignons comestibles se classent en dessous des viandes animales mais bien au-dessus de la plupart des autres aliments, y compris le lait, ils contiennent normalement de 19 à 35% de protéines contre 7,3% dans le riz, 12,7% dans le blé, 38,1% dans le soja et 9,4% dans le maïs ont rapporté que sont très utiles pour les végétariens car ils contiennent certains acides aminés essentiels que l'on trouve dans les protéines animales, une diminution observée de la teneur en protéines des champignons lors du stockage (*Wani et al., 2010*).

**Tableau13** : Acide aminé essentiel dans 100 g de champignons comestibles (*Kakon et al., 2012*).

| Acide aminé essentiel  | <i>A. bisporus</i> | <i>A. edodes</i> | <i>P. Floride</i> | <i>P. ostreatus</i> | <i>P. sajorcaju</i> | <i>V. volvacea</i> |
|------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Leucine                | 7,5                | 7,9              | 7,5               | 6.8                 | 7.0                 | 4.5                |
| Isoleucine             | 4.5                | 4.9              | 5.2               | 4.2                 | 4.4                 | 3.4                |
| Valine                 | 2.5                | 3.7              | 6,9               | 5.1                 | 5.3                 | 5.4                |
| Tryptophane            | 2.0                | -                | 1.1               | 1,3                 | 1.2                 | 1,5                |
| Lysine                 | 9.1                | 3.9              | 9,9               | 4.5                 | 5.7                 | 7.1                |
| Thréonine              | 5.5                | 5,9              | 6.1               | 4.6                 | 5,0                 | 3,5                |
| Phénylalanine          | 4.2                | 5,9              | 3,5               | 3.7                 | 5,0                 | 2.6                |
| Méthionine             | 0,9                | 1,9              | 3.0               | 1,5                 | 1,8                 | 1.1                |
| Histidine              | 2.7                | 1,9              | 2.8               | 1,7                 | 2.2                 | 3.8                |
| <b>Total essentiel</b> | <b>38,9</b>        | <b>36,0</b>      | <b>46,0</b>       | <b>33,4</b>         | <b>37,6</b>         | <b>32,9</b>        |

### 3.2 Glucides

Le groupe des sucres comprend divers composés: (monosaccharides, leurs dérivés et oligosaccharides, les polysaccharides) (*Kalač, 2013*). Ils sont des éléments majeur composant dans les champignons comestibles (tableau14) (*Bernaš et al., 2006*) contenu varie de 35% à 70% avec des variations de différentes espèces (*Cheung, 2010*). Le mannitol et le tréhalose sont respectivement les principaux représentants des sucres alcooliques et des oligosaccharides. Les valeurs médianes sont de 28,9 et 39,2 g kg<sup>-1</sup> DM pour le mannitol et le tréhalose (*Kalač, 2009 ; Kalač, 2012*).

Les fibres sont des groupes des glucides non digestibles. Ils peuvent améliorer la fonction du tube digestif et également abaisser le taux de glucose et de cholestérol sanguin (*Kalač, 2013*). Cependant, il a été signalé que les champignons comestibles contiennent une teneur en fibres plus élevée (*Srikram et Supapvanich, 2016*). Des données limitées sur les fibres ont été examinées. Le contenu est d'environ 40–90 et 220–300 g kg<sup>-1</sup> DM pour les fibres solubles et insolubles, La teneur relativement élevée en fibres particulièrement insolubles semble être un avantage nutritionnel (*Wang et al., 2014*). La consommation des champignons comestibles dans le cadre de notre alimentation quotidienne peut facilement fournir jusqu'à 25% de l'apport alimentaire recommandé en fibre (*Cheung, 2010*).

La plupart des fibres alimentaires des champignons comestibles contiennent du «chitosane» que l'on retrouve également dans les crustacés. Après la décomposition des fibres alimentaires, des monomères générés fournissent de l'énergie dans le gros intestin après la fermentation. Cette énergie est inférieure à l'énergie libérée par les glucides et aussi les chitines, les  $\beta$ -glucanes et les mannans, les galactanes et les xylans (*Dubey et al., 2019*), La teneur en  $\beta$ -glucanes peut être beaucoup plus élevée (tableau15) (*Cheung, 2013*) et La chitine représentant jusqu'à 80 à 90% dans les parois cellulaires des champignons (*Kalač, 2009*). Les enzymes digestives sécrétées par le pancréas ne peuvent pas hydrolyser le  $\beta$ - liaison glucosidique, ce qui signifie le champignon non digestible (*Friedman, 2016*).

Le  $\beta$ -glucane est l'un des composants clés de la paroi cellulaire fongique. Il s'agit d'un polysaccharide structurel insoluble dans l'eau contenant du N et caractérisé par des ramifications bêta (1-4) N- unités d'acétylglucosamine (*Wang et al., 2020*).

La caractéristique structurelle principale du  $\beta$ -glucane de champignon comestible est une chaîne principale bêta-1,3-D-glucane avec bêta-1,6- D-glucosyl branches le long de la chaîne principale. Précédent, la recherche antérieures ont suggéré que les concentrations de  $\beta$ -glucane varient de 0,21 à 0,53 g / 100 g en utilisant la méthode de McCleary et Holmes (*Wang et al., 2020*), il a été démontré que des teneurs plus élevées en glucane sont présentes dans la tige d'un champignon comestible par rapport aux bouchons (*Sari et al., 2017*).

Les polysaccharides exposent comme un antioxydant, anti-inflammatoire, immunomodulateurs activités, anticancéreux (*Wei et al., 2018 ; Kozarski et al., 2011*), des propriétés anti-obésité, anti-diabète, et antibiotiques (*Friedman, 2016*). ils sont classés

comme prébiotiques, stimulant la croissance de la flore intestinale bactérienne bénéfique normale (*Chou et al., 2013*). Les propriétés antioxydantes des champignons comestibles sont principalement attribuées à  $\beta$ - glucanes (*Sánchez, 2016*).

Le polysaccharide de réserve des champignons comestibles est le glycogène, pas l'amidon comme dans les plantes (*Kalač, 2013*).

**Tableau14** : Composition des sucres de certains champignons comestibles (*Valverde et al., 2015*).

| Espèce                     | Fructose | Mannitol | Saccharose (g / 100 g de poids frais) | Tréhalose | Sucres totaux |
|----------------------------|----------|----------|---------------------------------------|-----------|---------------|
| <i>Agaricus bisporus</i>   | 0.03     | 56       | Dn                                    | 0.16      | 5.79          |
| <i>Lentinus edodes</i>     | 0.69     | 10.01    | Dn                                    | 3.38      | 14.03         |
| <i>Pleurotus ostreatus</i> | 0.01     | 0.54     | Dn                                    | 4.42      | 4.97          |
| <i>Pleurotus eryngii</i>   | 0.03     | 0.60     | 0.03                                  | 8.01      | 8.67          |

**Tableau 15** : Teneur en  $\beta$ -glucane des champignons comestibles. Les données sont en g / 100 g

| Champignons                  | B-glucans  | Référence                            |
|------------------------------|------------|--------------------------------------|
| <i>Pleurotus ostreatus</i>   | 0.29±0.01  | <i>(Manzi et Pizzoferrato, 2000)</i> |
| <i>Pleurotus eryngii</i>     | 0.38±0.01  |                                      |
| <i>Pleurotus pulmonarius</i> | 0.53 ±0.04 |                                      |
| <i>Lentinula edodes</i>      | 0.22 ±0.05 |                                      |

### 3.3 Lipides

Les lipides représentent un vaste groupe de composés naturels dont les propriétés chimiques et physiques différents, notamment les acides gras libres, les stéroïdes, les sphingolipides, les glycolipides, les lipides neutres et les phospholipides ,Ils représentent des composants structurels et fonctionnels importants de la membrane des cellules

fongiques et sont la principale source d'énergie des cellules pour le métabolisme (*Smith, 2014*).

Les acides gras sont la pierre angulaire de nombreux lipides et peuvent être divisés en acides gras saturés, ceux qui n'ont que des liaisons simples, et en acides gras insaturés, ceux qui ont une (mono) ou plusieurs (poly) doubles liaisons entre les atomes de carbone (*Marventano et al., 2015*).

Il est bien connu que l'apport excessif d'acides gras saturés (AGS) peut entraîner des résultats sur la santé, comme l'obésité, cholestérol élevé et maladies cardiovasculaires. Toutefois, les acides gras naturels ne sont pas produits par le corps (*Mokochinski et al., 2015*) car ils manquent d'enzymes pour omega 3 ( $\omega$ -3) désaturation (*Figueiredo et al., 2017 ; Simopoulos, 2016*). Ils ont des effets positifs sur la santé, notamment les acides gras monoinsaturés (AGMI) et les acides gras polyinsaturés (AGPI) (*Mokochinski et al., 2015*). Ces composés sont connus pour avoir des propriétés antioxydantes, inhibitrices du cancer et cardioprotectrices (*Smith, 2014*), la réduction du cholestérol sanguin (*Sande et al., 2019*).

Les acides gras polyinsaturés tels que les oméga-3 et 6 ont de nombreuses propriétés biologiques et sont des précurseurs biosynthétiques des eicosanoïdes (*Bengu, 2020*). Deux acides gras sont essentiels dans l'alimentation en raison de notre incapacité à les synthétiser: l'acide linoléique et l'acide linoléique. L'acide linoléique est le précurseur de  $\omega$ -6, acide arachidonique, le substrat de la prostaglandin synthèse, l'acide linoléique est le précurseur d'autres  $\omega$ -3 acides gras importants pour la croissance et le développement. Les champignons comestibles fournissent les acides gras essentiels (*Yilmaz et al., 2013*).

Les champignons comestibles sont des aliments à faible teneur en calories avec très peu des matières grasses (46%) et sans cholestérol (*Kakon et al., 2012*). Les principaux acides gras qui se retrouvent habituellement dans les champignons comestibles les phospholipides membranaires et les triacylglycérols de stockage sont les acides palmitiques (C16: 0) et stéariques et leurs dérivés insaturés les acides palmitoléique, oléique (C18: 1c, n-9), linoléique (C18: 2c, n-6) et linoléique (tableau 16) (*Smith, 2014*).

La teneur en AGPI des champignons comestibles est constamment supérieure à celle des graisses intramusculaires de bovins et de porc et de la poitrine de poulet, produits d'origine animale couramment consommés dans le monde entier, tandis que la teneur en acides gras saturés (AGS) est généralement faible. Face aux régimes de restriction, comme le végétarisme (*Valverde et al., 2015*).

Cependant, seuls l'acide linoléique et l'acide oléique prévalent nettement, formant une proportion des deux tiers et plus du poids de tous les acides gras identifiés. L'acide palmitique saturé est le troisième dans l'ordre, mais à une grande distance, l'acide linoléique est un précurseur de l'odeur attrayante des champignons comestibles (*Kalač, 2013*). L'occurrence de trans des acides gras dans les champignons n'a pas été signalée et cela n'est pas prévu.

La phosphatidylcholine était le principal phospholipide présent dans 55 des 58 espèces de champignons comestibles de plusieurs familles (*Kalač, 2009*).

**Tableau 16 :** Pourcentages (dans 100 g d'acides gras totaux) des acides gras essentiels les plus importants déterminés dans les espèces des champignons comestibles (*sande et al., 2019*).

| Espèce                       | (%) L'acide linoléique | (%) Acide linoléique | (%) L'acide oléique | Pays       |
|------------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|------------|
| <i>Hydnum repandum</i>       | 42.5                   | 0.25                 | 42.4                | Turquie    |
| <i>Agaricus bitorquis</i>    | 31.0                   | 11.3                 | 40.1                | Pakistan   |
| <i>Flammulina velutipes</i>  | 56.3                   | 1.0                  | 15.1                | Portugal   |
| <i>Cantharellus cibarius</i> | 17.3                   | –                    | 35.4                | India      |
| <i>Pleurotus sajor-caju</i>  | 48.6                   | 0.2                  | 22.6                | Ghana      |
| <i>Termitomyces heimii</i>   | 36.0                   | –                    | 2.9                 | Bangladesh |

### 3.4 Vitamines

Les vitamines présentes dans les champignons comestibles comprennent l'acide ascorbique, les caroténoïdes et les tocophérols. Les vitamines du groupe B, notamment la thiamine, la riboflavine, la biotine et la pyridoxine (*Muszyńska et al., 2017*), la niacine et les folates, avec des concentrations qui varient dans une fourchette de 1,8 à 5,1, et 0,30-0,64 mg / 100 g de poids sec (DW)(tableau16), respectivement, selon l'espèce. La teneur en vitamine B2 des champignons comestibles est plus élevée que celle généralement trouvée dans les légumes et dans certaines variétés, elle a même un niveau comme celui des œufs et du fromage (*Rathee et al., 2012*). La vitamine B 12 chez les champignons comestibles provient probablement des micro-organismes de surface. Il y a eu des rapports sporadiques de B 12 aux champignons, avec des traces et des niveaux élevés (0-140 µ g / 100 g fw) (tableau17).

Les champignons comestibles contiennent des quantités modérément élevées de folates à des concentrations qui sont de la même ampleur que celle que l'on trouve généralement dans les légumes. De plus, la biodisponibilité des folates est aussi bonne que celle des acides foliques, avec une teneur de 300-1412 µg / 100 g (*Mattila et al., 2001*). Une quantité considérable de vitamine PP qui protège la peau contre la pellagre est observée dans les champignons comestibles. Dans 100 g de matière fraîche de *Agaricus bisporus* environ 5 mg de cette vitamine peuvent être trouvés, un niveau non observé dans aucun autre produit alimentaire, les champignons contiennent des petites quantités de vitamine C, généralement jusqu'à 7 mg dans 100 g des parties comestibles (*Bernaś et al., 2006*).

Dans le groupe de la vitamine D les composés les plus importants sont la vitamine D<sub>3</sub> provient de sources animales et la vitamine D<sub>2</sub> provient principalement de champignons comestibles (*Phillips et al., 2012*). la teneur en champignons comestibles est disponible

mais varie considérablement avec et au sein des différentes espèces et par stade de développement (*Shao et al., 2010*). Ils contiennent des quantités beaucoup plus élevées de vitamine D 2 (2.91- 29,82  $\mu$  g / 100 g pc), allant de 22 à 110  $\mu$  g / 100 (*Takamura et al., 1991*).

**Tableau 17** : Teneur en vitamines des champignons comestibles (mg ou  $\mu$  g / 100 g) (*Mattila et al., 2001*).

| Vitamine               | Champignon                       |                                  |                        |                            |
|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------|
|                        | <i>Agaricus bisporus / blanc</i> | <i>Agaricus bisporus/ marron</i> | <i>Lentinus edodes</i> | <i>Pleurotus ostreatus</i> |
| vitamine C, mg         | 17                               | 21                               | 25                     | 20                         |
| Vitamine B1, mg        | 0,6                              | 0,6                              | 0,6                    | 0,9                        |
| vitamine B 2, mg       | 5.1                              | 4.2                              | 1,8                    | 2,5                        |
| folates, $\mu$ g       | 450                              | 590                              | 300                    | 640                        |
| niacine, mg            | 43                               | 53                               | 31                     | 65                         |
| vitamine B 12, $\mu$ g | 0,8                              | 0,6                              | 0,8                    | 0,6                        |
| Vitamine D, $\mu$ g    | –                                | 0.1                              | 0,11                   | 0,3                        |

### 3.5 Constituants minéraux

Les oligo-éléments Zn, Cu, Mn et Fe sont des cofacteurs d'enzymes aux fonctions antioxydants et sont désignés comme micronutriments antioxydants (*Bhattacharyya et al., 2014*). Les champignons comestibles sont généralement capables d'accumuler des oligo-éléments puis de devenir leur source dans la chaîne alimentaire (*Radulescu et al., 2010 ; Falandysz et Borovicka., 2013*).

Fructifications des champignons comestibles se caractérisent par un niveau élevé d'éléments minéraux bien assimilés. Les principaux constituants minéraux des champignons sont le K, le P, le Na, le Ca, le Mg et les oligo-éléments comme le Cu, le Zn, le Fe, le Mo et le Cd comme composants mineurs. K, P, Na et Mg constituent environ

56 à 70% de la teneur totale en cendres des champignons comestibles (*Kakon et al., 2012*). Le magnésium représentait le troisième élément minéral majeur (après K et P) trouvé dans les fructifications fongiques. Comme dans les légumes, Fer était présent en grande concentrations dans tous les champignons comestibles, Tandis, que le potassium seul représente 45% des cendres totales (*Mattila et al., 2001*). De nombreuses espèces des champignons comestibles sont connues pour accumuler des niveaux élevés de métaux lourds, principalement le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) (*Stihi et al., 2011 ; Mironczuk-Chodakowska et al., 2013*). Le contenu des éléments nuisibles dans les champignons comestibles a été faible, en particulier en raison de l'utilisation des substrats non pollués (*Kalač et al., 2013*). Les proportions minérales varient selon l'espèce, l'âge et le diamètre de la fructification. Cela dépend aussi du type de substrat (tableau 18) (*Demirbas, 2001*).

la bioaccumulation d'oligo-éléments dans les corps fruitiers est très spécifique certains macrofunges sont capables d'accumuler des éléments beaucoup plus efficacement que d'autres, le processus d'accumulation peut être très spécifique aux éléments les macrofunges peuvent même discriminer des éléments ayant des propriétés et un comportement chimique similaires (homologues) (*Falandysz et Borovicka., 2013 ; Vunduk et al., 2014*).

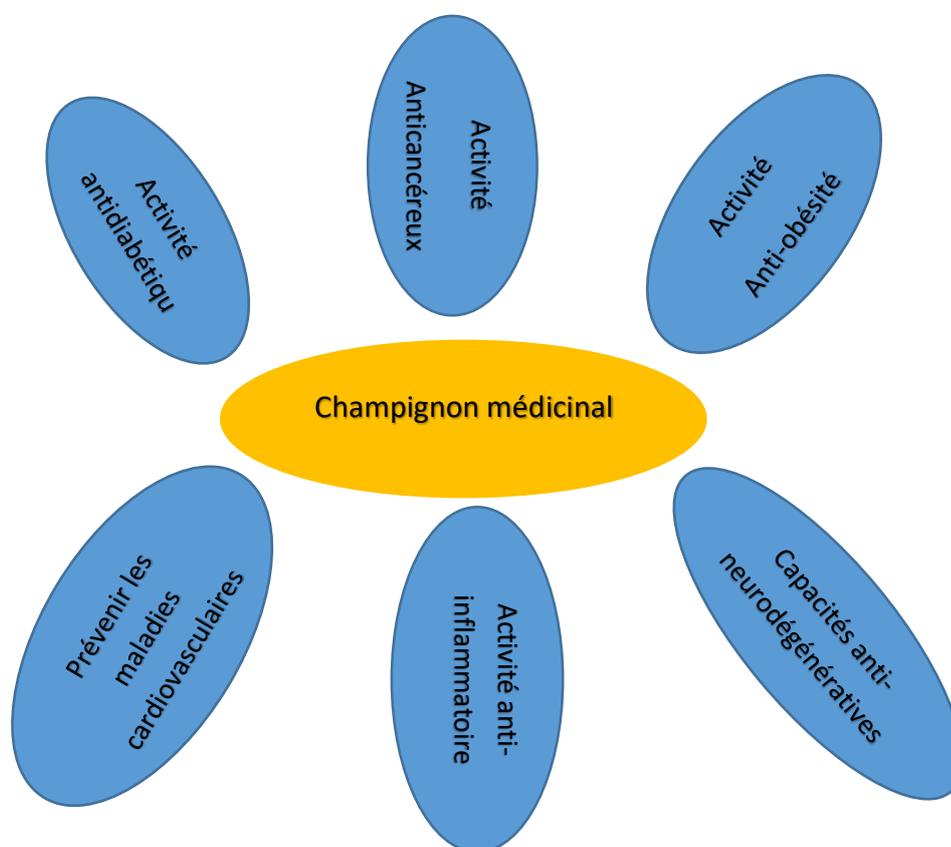
**Tableau 18 :** Teneur habituelle des oligo-éléments ( $\text{mg kg}^{-1}$  DM) dans les corps fruitiers des champignons comestibles provenant des zones non polluées (*Kala et al., 2012 ; Nitschke et al., 2011 ; Vetter, 2010*).

| Élément   | Contenu  | Accumulateurs                                                                                     |
|-----------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aluminium | 20-150   | <i>Amanita rubescens, Leccinum scabrum, Xerocomus chrysenteron</i>                                |
| Zinc      | 25-200   | <i>Calvatia utriformis, Lycoperdon perlatum</i>                                                   |
| Le fer    | 50–300   | <i>Suillus variegatus, S. luteus, Armillariamellea</i>                                            |
| Manganèse | 10–60    | <i>Boletus edulis, Macrolepiota procera</i>                                                       |
| Sélénium  | < 2-20   | <i>Albatrellus pes-caprae, Boletus edulis, B. pinophilus, B. reticulatus (syn. B. aestivalis)</i> |
| Iode      | 0,07–0,5 | <i>Calvatia excipuliformis, Macrolepiota procera, Lepista nuda, Amanita rubescens</i>             |
| Mercure   | < 0,5–5  | <i>Boletus edulis, B. pinophilus, Calocybe gambosa</i>                                            |
| Cuivre    | 20–100   | <i>Agaricus macrosporus, A. silvicola, Macrolepiota procera, M. rhacodes</i>                      |

#### 4 Effet thérapeutique des champignons

Les champignons comestibles sont des composants indispensables des plantes médicinales traditionnelles depuis des milliers d'années (*Geng et al., 2014*), se sont

développés comme une grande source de nutraceutiques, d'antioxydants, d'anticancéreux, de prébiotiques, de modulateurs immunitaires, d'anti-inflammatoires, de cardiovasculaires, anti-microbien et anti-diabétique (figure20) (*Sajon et al., 2018*).



**Figure20** : Illustration schématisée des applications thérapeutiques des champignons comestibles (*Chaturvedi et al., 2018*).

#### 4.1 Champignons aux propriétés anti-oxydantes

Parmi les propriétés médicinales des champignons comestibles, l'activité antioxydante y compris l'inhibition de la peroxydation lipidique, la réduction des lipoprotéines humaines de faible densité, le piégeage des radicaux libres, etc., a été largement étudiée (*Chen et al., 2010*).

Plusieurs types des champignons comestibles contiennent des composés bioactifs bénéfiques tels que les phénols, l'ergostérol, le tocophérol, l'acide ascorbique, les acides gras insaturés et les acides aminés essentiels, qui pourraient être utilisés comme ingrédients antioxydants (tableau19) (*Liu et al., 2012*).

Il existe deux types fondamentaux d'antioxydants des champignons comestibles, en particulier, primaire (rupture de chaîne, pièges de radicaux libres) et secondaire ou préventif. Les antioxydants secondaires sont le résultat de la désactivation des métaux, de la retenue ou de la dégradation des hydroperoxydes lipidiques, de la récupération des antioxydants, de l'oxygène singulet ( $1O_2$ ) l'extinction et ainsi de suite (*Sajon et al., 2018*).

Dans les études antérieures, il a été observé qu'une teneur plus élevée en phénols en raison de leurs propriétés redox explique des meilleurs effets de piégeage des radicaux libres et peut jouer un rôle important dans l'absorption en neutralisant la neutralisation de l'oxygène singulet et triplet des radicaux libres ou des peroxydes en décomposition (*Mishra et al., 2012*). L'acide ascorbique est un composé naturel qui possède des propriétés antioxydants nécessaires à la cicatrisation des plaies et au renforcement des vaisseaux sanguins. Les flavonoïdes, d'autre part, sont connus pour être les composés polyphénoliques les plus prometteurs ayant un large spectre d'activités chimiques et biologiques qui incluent une activité d'élimination des radicaux .les phénols et les flavonoïdes sont liés entre eux et agissent comme des capteurs des radicaux libres et de puissants antioxydants (*Parajuli et al., 2012*). Les caroténoïdes sont compris le  $\beta$  carotène et le lycopène exercent une fonction antioxydant qui comprend l'extinction de l'oxygène singulet et d'autres molécules excitées électroniquement et la progression des maladies dégénératives (*Bains et Tripathi, 2017*).

Les polysaccharides contenus dans les champignons comestibles sont généralement considérés comme les principaux contributeurs à l'activité antioxydant avaient une activité inhibitrice mise en évidence par la trempe dépendante de la concentration des radicaux DPPH et hydroxyle (*Chen et al., 2010*). Les activités antioxydants de toutes les fractions de polysaccharides étaient significativement corrélées avec les teneurs totales en phénols et en protéines, mais pas avec les teneurs en glucides. Les polysaccharides purifiés exempts de composés phénoliques et de protéines n'avaient aucune activité significative. Ainsi, les composants phénoliques et protéiques au lieu des glucides étaient principalement responsables des activités antioxydants des polysaccharides des champignons comestibles (*Siu et al., 2014*).

**Tableau 19:** Activités antioxydants de certains champignons comestibles.

| <b>Champignons</b>            | <b>Composés bioactifs</b>                            | <b>Activité antioxydante</b>                                                                                                         | <b>Références</b>                               |
|-------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <i>Agaricus brasiliensis</i>  | Polysaccharide Se brut et protéine Se soluble totale | Récupération des radicaux DPPH et hydroxyle                                                                                          | ( <i>Mao et al., 2014</i> )                     |
| <i>Phellinus baumii Pilat</i> | Polysaccharide                                       | Récupération des radicaux hydroxyles, superoxyde et DPPH                                                                             | ( <i>Ge et al., 2013</i> )                      |
| <i>Agaricus bisporus</i>      | Polysaccharides, phénoliques                         | Piégeage des radicaux superoxyde, hydroxyle et DPPH et du peroxyde d'hydrogène, amélioration des activités des enzymes antioxydantes | ( <i>Tian et al., 2012 ; Liu et al., 2013</i> ) |
| <i>Ramaria flava</i>          | Des composés phénoliques                             | Récupération des radicaux DPPH et OH                                                                                                 | ( <i>Liu et al., 2013</i> )                     |

## 4.2 Champignons aux propriétés anti-inflammatoires

L'inflammation est la réponse protectrice naturelle du système immunitaire aux dommages des facteurs physiques, chimiques et pathogènes, allergènes, infections, irritants et rayonnement ultraviolet (*Joseph et al., 2016; Phull et Kim, 2017*). L'inflammation aiguë est un bref processus, qui est habituellement soumis à une résolution spontanée.

Cependant, l'inflammation peut se transformer en un état chronique dans certains cas (*Dennis et Norris, 2015*) dans les cas ordinaires, la réaction du corps à l'inflammation auto-restreint par la voie descendante de l'expression des protéines pro-inflammatoires, l'expression accrue des protéines anti-inflammatoires et inversion des changements vasculaires encouragée par le processus initial de recrutement des cellules immunitaires (*Cook-Mills et Deem, 2005*). Carences en antioxydants, les vitamines et les microéléments, ainsi que les processus physiologiques, comme le vieillissement, peuvent affecter la capacité du corps à résoudre l'inflammation (*Okin et Medzhitov, 2012*).

De nombreux types de l'inflammation ont des effets à long terme mais nous pouvons minimiser l'inflammation dans le corps avec une bonne alimentation. La consommation d'aliments fonctionnels, tels que les champignons comestibles (*Taofiq et al., 2016*) avec des propriétés anti-inflammatoires, est l'une des stratégies possibles pour supprimer l'inflammation (*Du et al., 2018*).

Des rapports récents indiquent que les champignons comestibles présentent les bienfaits pour la santé, particulièrement en ce qui concerne les maladies associées à l'inflammation (*Muszyńska et al., 2018*). Ils sont riches en composants anti-inflammatoires, tels que les polysaccharides, phénoliques, les acides gras, les caroténoïdes, les vitamines.

Il a été signalé par exemple, que les extraits aqueux, méthanoliques, éthanoliques et d'acétate d'éthyle de différents champignons épigés et hypogés présentaient une diminution significative des activités des médiateurs inflammatoires tels que l'oxyde nitrique (NO), les cytokines et les prostaglandines, donc inhibant certaines fonctions des macrophages et réduisant les inflammations cellulaires (*Elsayed et al., 2014*).

Il a été démontré que les polysaccharides fongiques ont un positif effet sur la santé humaine. Le tréhalose, un disaccharide, constitue un matériau de réserve et confère des propriétés protectrices aux cellules contre la dénaturation des protéines. Il a été démontré que le tréhalose peut inhiber protéines pro-inflammatoires, à savoir cyclooxygénase-2 et inductibles oxyde nitrique synthase (INOS), ainsi que d'inhiber la dégradation de I $\kappa$ B- $\alpha$  sous-unité, inhibiteur du facteur de transcription nucléaire NF- $\kappa$ B.

Les effets anti-inflammatoires des champignons comestibles sont liés à leurs acides aminés (essentiels et indispensables) qui sont connus pour influencer le métabolisme des prostaglandines (*Jedinak et al., 2011*). L'ergothionéine est un acide aminé essentiel pour l'homme réduit le nombre des lésions Inflammation inhibée causée par les rayons UV-B (*Asahi et al., 2016*).

Outre les principaux composés ayant une activité anti-inflammatoire signalée, d'autres composés bioactifs métabolites tels que les acides gras ont été connus pour inhiber la production des médiateurs inflammatoires ainsi que pour supprimer l'induit inflammation in vivo.

Plusieurs classes de composés phénoliques et certaines de leurs dérivés, présents dans les champignons comestibles ont été évalués et ont été reconnus comme contenant de l'activité anti inflammatoire (*Taofiq et al., 2016*).

### 4.3 Champignons aux propriétés antidiabétiques

Le diabète est une maladie grave, dont les complications peuvent être dévastatrices et qui frappe à tout âge partout dans le monde. Le diabète est la principale cause de cécité de maladie rénale au stade terminal (MRST) et d'amputation non traumatique chez les adultes. La maladie cardiovasculaire, principale cause de décès chez les personnes atteintes de diabète, est deux à quatre fois plus fréquente en présence de diabète. Comparativement à la population générale, les diabétiques présentent un risque au moins trois fois plus élevé d'être hospitalisés en raison d'une maladie cardiovasculaire (*Jean-Baptiste, 2019*).

Les champignons comestibles sont des aliments fonctionnels hypocaloriques idéaux pour les patients diabétiques (*De Silva et al., 2012*) et donc une bonne solution pour contrôler le diabète et une source puissante des composés biologiquement actifs ayant des effets antidiabétiques en réduisant la glycémie. De nombreuses espèces des champignons comestibles semblent être efficaces à la fois pour le contrôle de la glycémie et pour la modification de l'évolution des complications diabétiques (tableau20) (*Kaur et al., 2015*).

Les champignons comestibles sont connus pour contenir des composés qui contribuent au bon fonctionnement du foie (*Wani et al., 2010*), du pancréas et d'autres glandes endocriniennes, ce qui permet favorisant la formation d'insuline et d'hormones apparentées qui assurent un fonctionnement métabolique sain (*Wasser et Weis, 1999 ; Chen et al., 2012*). Principalement les  $\beta$ -glucanes et les polysaccharides dans les champignons comestibles ont la capacité de restaurer la fonction des tissus pancréatiques en augmentant la sécrétion d'insuline par les cellules  $\beta$ , ce qui abaisse la glycémie. Il a montré qu'il améliorerait la sensibilité des tissus périphériques à l'insuline (*Kaur et al., 2015*). La consommation des champignons diminue considérablement les niveaux de lipides, y compris le cholestérol total, les triglycérides totaux et les lipoprotéines de faible densité et augmente le niveau de lipoprotéines de haute densité (*Lee et al., 2012*).

Les molécules bioactives des champignons comestibles protègent les cellules  $\beta$  des dommages oxydatifs causés par les radicaux libres générés par le stress oxydatif et la glucotoxicité (*Cerf, 2013 ; MacDonald et al., 2002 ; Canfora et al., 2015*).

**Tableau 20** : Champignons comestibles qui auraient des propriétés antidiabétique.

| Champignons                                                                                                       | Effet thérapeutique                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Référence                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Agaricus blazei</i>                                                                                            | Effets antihyperglycémiques, antihypercholestérolémiants et peroxydants anti-lipidiques                                                                                                                                                                                                                                                | <a href="http://www.chaga.us.oriveda.com/agaricus.php">http://www.chaga.us.oriveda.com/agaricus.php</a>                                                 |
| <i>Agaricus blazei</i><br><i>Pleurotus eryngii</i><br><i>Hypsizygus tessellates</i><br><i>Cordyceps militaris</i> | Spécialement formulés pour la santé des diabétiques, les nutriments favorisent une sensibilité accrue à l'insuline et une glycémie équilibrée                                                                                                                                                                                          | <a href="https://www.totalnutraceutical.com/glucosano-diabetes-health-formula">https://www.totalnutraceutical.com/glucosano-diabetes-health-formula</a> |
| <i>Laetiporus sulphureus</i>                                                                                      | Augmentation de l'antigénésité de l'insuline via la prolifération ou la régénération de l'îlot diabétique $\beta$ - cellules                                                                                                                                                                                                           | ( <i>Hwang et Yun, 2010</i> )                                                                                                                           |
| <i>Phellinus linteus</i>                                                                                          | Inhibe le développement du diabète auto-immun en régulant l'expression des cytokines<br>Diminué les concentrations de triglycérides et de glycémie<br>Propriété anti-diabétique par la prévention $\beta$ - des cellules endommagées par l'apoptose induite par le peroxyde d'hydrogène et une augmentation de la sécrétion d'insuline | ( <i>De Silva et al., 2012</i> )                                                                                                                        |

#### 4.4 Champignons aux propriétés anticancéreuses

Le cancer est un problème de santé publique majeur et la deuxième cause de décès dans le monde, responsable d'environ 17 millions de nouveaux cas et de 9,6 millions de décès en 2018 (*Bray et al., 2018*). Jusqu'à présent, une amélioration significative est observée dans le taux de survie des patients cancéreux en raison des progrès du diagnostic précoce et de la qualité du traitement. Cependant, les effets secondaires graves de la chimiothérapie ainsi que la résistance aux médicaments mettent en évidence le besoin croissant de découvrir de nouveaux composés bioactifs naturels à potentiel anticancéreux (*Patterson et al., 2013 ; Guzmán-Rodríguez et al., 2015 ; Moradi et al., 2009*).

La médecine complémentaire et alternative (CAM) a été présentée les champignons comestibles qui ont été largement utilisés dans de nombreuses régions du monde comme une alternative en raison de son potentiel de traitement holistique, compris l'augmentation du système immunitaire, où ils sont considérés comme des modificateurs de la réponse biologique (BRM) et des immunocéutiques.

Les parois cellulaires des champignons comestibles contiennent deux composés importants, la chitine et  $\beta$ -glucanes qui est considéré comme un PAMP majeur impliqué dans le déclenchement d'une réponse immunitaire. Les récepteurs de  $\beta$ -glucanes, la Dectine-1, sont exprimés sur les cellules dendritiques, les macrophages, les neutrophiles et les monocytes liaison de la Dectine-1 et les  $\beta$ -glucanes entraînent une transduction du signal qui à son tour active les cellules T, les protéines kinases activées par les mitogènes (MAPK) et le facteur nucléaire kappa B (NF-kB), entraînant la production de cytokines (Ayeka, 2018).

En plus de ces composés, il existe d'autres composants importants, Ils comprennent les polysaccharides (Lu et al., 2017 ; Tian et al., 2016), comme le lentinane qui augmentent la production de lymphocytes T et de macrophages cytotoxiques et induisent également des réponses immunitaires non spécifiques (Wasser et Weis, 1999). Les protéines liées aux polysaccharides et les acides gras essentiellement les acides gras insaturés (acide linoléique, acide linoléique), qui activent principalement différent composant du système immunitaire, les peptides (Lavanya et Subhashini, 2013 ; Ayeka, 2018). Entre autres macromolécules, les protéines reçoivent une attention remarquable en tant que cible thérapeutique émergente pour la recherche sur le cancer. Ils comprennent de nombreux récepteurs et canaux localisés dans les membranes cellulaires (Usmani et al., 2017) connu pour avoir une affinité de liaison élevée envers les cibles thérapeutiques. Il est relativement facile d'identifier leurs mécanismes d'action (Di, 2015 ; Marqus et al., 2017). Les connaissances disponibles sur l'activité anticancéreuse des protéines à base des champignons comestibles proviennent principalement des glycoprotéines telles que les lectines (isolées de *Agaricus bisporus*) et des polysaccharides liés aux protéines tels que le polysaccharide-K (PSK) et le polysaccharopeptide (PSP) et un fractions insolubles dans l'alcool (Zhang, et al, 2018).

Plus encore, les composés de champignons comestibles sont reconnus par le PRR, en utilisant la Dectine-1, le récepteur de type page 2 (TLR-2) et le récepteur du complément 3 (CR3). Le PAMP se lie au TLR2 initiant l'immunité adaptative et le PAMP-PRR sur les monocytes, les cellules dendritiques, les granulocytes et les cellules NK du système immunitaire inné (Kumagai et Akira, 2010) conduisant à l'activation des cellules immunitaires à la production de cytokines et à l'expression des molécules d'adhésion (Bernardshaw et al., 2007).

Les composés des champignons comestibles injectés directement dans les cellules tumorales ou pris par voie orale activent les cellules immunitaires pour initier une cellule médecine complémentaire et alternative factuelle cytotoxicité médiée ou directe sur les cellules tumorales après avoir été reconnue par les récepteurs de reconnaissance des agents pathogènes. La consommation des composés des champignons initie l'immunité innée et adaptative en améliorant la surveillance immunitaire contre le cancer en impliquant les monocytes, les macrophages, les cellules NK et les cellules B, les cytokines liées à l'anti tumoraux de sécrétion des CTL et l'activation des organes immunitaires, en éliminant les cancers et en renforçant le système immunitaire affaibli (tableau 21) (Kumagai et Akira, 2010).

**Tableau21** : Le mécanisme d'action des composés de champignons comestibles in vitro

| champignon                   | Activité biologique                                                                                                                                                                       | Référence                                                     |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <i>Agaricus bisporus</i>     | Induire l'apoptose, inhiber l'angiogenèse, stimuler le TNF- • Induire l'apoptose, inhiber l'angiogenèse, stimuler le TNF- • production par BMM.                                           | ( <i>Endo et al., 2010</i> )                                  |
| <i>Agaricus blazei</i>       | production de TNF-alpha, IL-8 et NO, suppriment la croissance tumorale et l'angiogenè. induire l'apoptose dans les cellules leucémiques et d'inhiber l'angiogenèse induite par la tumeur. | ( <i>Niu et al., 2009</i> )                                   |
| <i>Lentinula edode</i>       | Activité anti-métastatique. stimulaient activités des cellules tueuses naturelles et des macrophages d'une part et bloquaient l'angiogenèse d'autre part                                  | ( <i>Kim, 2013</i> )                                          |
| <i>Pleurotus geesteranus</i> | Riche en Polysaccharide-protéine Efficace contre le cancer du sein (cellule MCF-7).                                                                                                       | ( <i>Zhang et al., 2011</i> )                                 |
| <i>Trametes robiniophila</i> | Apoptose, antiangiogenèse, antimétastase, résistance aux médicaments inversion, activation du système immunitaire Apoptose, arrêt du cycle cellulaire G0 / G1 et dommages cellulaires     | ( <i>Li et al., 2007</i> )<br>( <i>Sarangi et al., 2006</i> ) |

#### 4.5 Prévention des champignons contre Maladie cardiovasculaire

La maladie cardiovasculaire est complexe et causée par de multiple facteurs tels que : L'âge, le sexe, le régime alimentaire, le mode de vie, l'hypertension artérielle, un taux de cholestérol total sérique élevé, un taux de cholestérol LDL élevé, un taux de cholestérol HDL sérique faible, le diabète de base (*Choi et al., 2012*).

la consommation des champignons réduit le risque cardiovasculaire en raison de la présence de substances spécifiques et d'autres composés bioactifs (*Guillamón et al., 2010*) telle que : les acides gras , il a été suggéré que les acides gras polyinsaturés (AGPI) impliqués dans la réduction des complications cardiovasculaires (*Virtanen et al., 2014*). De même, Leur contenu cis les acides gras pourraient médier un rapport accru de HDL qui est bénéfique pour la santé cardiovasculaire (*Hossain et al., 2007*).

les vitamines telles que la vitamine D, des études indiqué les effets améliorants de la vitamine D sur les MCV par l'amélioration des lésions vasculaires (*Rahman et al., 2007*). Les champignons produisent de l'ergostérol, précurseur de la vitamine D (*Mattila et al., 2001*).les polysaccharides contenus dans les champignons comestibles ont amélioré les changements pathologiques dans les artères coronaires hyperlipidémies (*Li et al., 2010*).les fibres, L'apport de fibres peut affecter les ions concentrés de plasma lipide,

réduire les taux de cholestérol total et de cholestérol LDL et réduire les risques de maladies cardiovasculaires (*choi et al., 2012*). Cependant la consommation de champignon comestible a montré une réduction du cholestérol total et une augmentation du cholestérol HDL (*Chu et al., 2012*).

L'hypercholestérolémie fait partie des principaux facteurs de risque modifiables de MCV. Des recherches portant sur la potentialité des champignons comestibles en tant qu'inhibiteurs de l'enzyme clé biosynthétique du cholestérol, la 3-hydroxy-3-méthylglutaryl coenzyme A (HMG-CoA) réductase par la production de lovastatine (statines) réduiraient ainsi le risque de maladies cardiovasculaires (*Rahman et al., 2016*).

La plupart des biocomposants des champignons comestibles exercent leurs effets antihypertenseurs en inhibant l'enzyme de conversion angiotensique (ACE) qui module l'activité du système rénine-angiotensine-aldostérone (RAAS) et abaisse la tension artérielle (tableau 22) (*Yahaya et al., 2014*).

**Tableau 22** : Champignons comestibles et réduction des risques cardiovasculaires.

| Champignons                | Effets Thérapeutiques                                                                                                                               | Références                   |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| <i>Lentinus edodes</i>     | Hypocholestérolémie, adhérence réduite de monocytes, Anti-hypertension                                                                              | <i>(Choi et al., 2012)</i>   |
| <i>Grifola frondosa</i>    | Hypocholestérolémiant, Anti hypertension                                                                                                            |                              |
| <i>Pleurotus ostreatus</i> | production de lovastatine inhibiteurs de l'enzyme clé biosynthétique du cholestérol, (HMG-CoA) réduiraient le risque de maladies cardiovasculaires. | <i>(Rahman et al., 2016)</i> |
| <i>Tricholoma giganteu</i> | inhibiteurs de l'ECA dans la réduction de l'hypertension, puissant que le médicament antihypertenseur                                               | <i>(Choi et al., 2012)</i>   |

## 5 Traitement industriel des champignons

### 5.1 Aliments fonctionnels à base de champignons comestibles

L'inclusion de champignons comestibles en tant qu'aliments fonctionnels peut aider à l'intervention précoce des états en mauvaise santé chez l'homme et elle pourrait prévenir les conséquences des maladies mortelles (*Prasad et al., 2015*).

L'augmentation de la production et de la consommation de produits alimentaires à base de champignons comestibles est due à leurs valeurs nutritionnelles ainsi qu'à leurs effets médicaux. La fortification des champignons en poudre à 6 et 10% a montré des meilleurs résultats pour les valeurs nutritionnelles ainsi que la qualité pour tous les produits alimentaires. Plusieurs études ont rapporté que l'ajoute de champignons comestibles en poudre a montré une augmentation des protéines, des fibres brutes et des cendres dans divers produits alimentaires (*Majeed et al., 2019*).

Les champignons comestibles sont utilisés comme poudre supplémenté dans les produits de boulangerie comme le pain, les gâteaux, les muffins et les biscuits (*Aishah et Rosli, 2013 ; Gadallah et Ashoush, 2016 ; Farooq et al., 2018 ; Sivam et al., 2010*), dans les pâtes et les nouilles (*Luo et al., 2018 ; Wahyono et Bakri, 2018*) et aussi dans les fromages (*Reis et al., 2017*).

## 5.2 Enzymes extraite des champignons comestibles utiles dans l'industrie alimentaire

Les champignons comestibles supérieurs peuvent représenter un intérêt pour l'industrie alimentaire, non seulement en tant que source de suppléments biologiquement actifs, mais également en tant que source d'enzymes utiles.

Les champignons comestibles pourraient être un substitut prometteur de la présure pour la fabrication du fromage, les enzymes de coagulation du lait provenant de basidiomycètes supérieurs sont une source prometteuse pour remplacer la présure dans la fabrication du fromage. Les protéases hautement actives de l'action de la présure sont découvertes dans les basidiomycètes supérieurs et certaines d'entre elles ont trouvé une utilisation pratique (*Shamtsyan, 2016*).

## 5.3 Complément alimentaire à base des champignons comestibles

Les champignons comestibles ne sont pas seulement des aliments mais sont la matière première pour la production des compléments alimentaires (produits pharmaceutiques) pour la santé et la qualité de vie des humains (*Wahyono et al., 2013*).

Aujourd'hui, certains compléments alimentaires à base des champignons sont disponibles sur le marché (tableau 23) (*Reis et al., 2017*).

**Tableau23** : Aperçu de certains compléments alimentaires aux champignons comestibles (*Morris et al., 2015*).

| Produit                   | Contenu                                                                                           |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Organic cordyceps sinesis | Souche hybride C.sinensis Alohaensis                                                              |
| Levolar Forte             | Extrait de C.sinensis, fraction de G.fruondosa, extrait de coprinus comatus, extraits de cannelle |
| Fine Agaricus Gold        | Actifs micropoudre hautement concentrés, protéines, polysaccharide lié d'Agaricus                 |
| Fine Mesima               | Poudre micropulvérisée de séchée <i>Phellinus linteus</i> champignon                              |

## 5.4 Formulations cosmétiques à base des champignons comestibles

Les cosmétiques peuvent être classés en deux catégories des produits cosméceutiques à usage topique, tandis que les produits ayant des avantages perçus similaires mais qui sont ingérés par voie orale sont appelés nutricosmétique (figure21, 22) (*Wu et al., 2016*).

En particulier, les champignons comestibles sont reconnus comme des aliments importants sur le plan nutritionnel et médicaux, se trouvent désormais leur place dans les cosmétiques et sont considérés comme des ingrédients très actifs dans ces produits et exploités pour les soins de la peau (Lemann, 2007), que ce soit sous forme de crèmes, des lotions ou des pommades (Taofiq et al., 2016). Certains cosmétiques à base de champignons comestibles peuvent être trouvés sur le marché :

Aveeno Positively Ageless est une crème hydratante pour les yeux qui contient le complexe Shiitake naturel, un antioxydant cliniquement prouvé qui fonctionne avec le processus de renouvellement naturel de la peau (<http://www.aveeno.com>), Cette formule vise à éclaircir l'apparence de la peau autour des yeux et à réduire l'apparence des cernes.

La Dre Patricia Wexler est propriétaire de Wexler Dermatology à New York. Le produit De-Puff Eye Gel a été reformulé avec *Agaricus bisporus*. Et d'autres ingrédients importants. Ce produit anti-âge contient des ingrédients qui améliorent la surface de la peau ([www.wexlerdermatology.com](http://www.wexlerdermatology.com)).



**Figure 21** : Divers nutricosmétiques contenant des champignons.1. Grifon Maitake contient *Grifola frondosa*.2. Perricone MD Extrait de champignon Maitake Fraction SX.3. Mushroom Wisdom Super Royal Agaricus contient *Agaricus blazei* (Hyde et al., 2010).



**Figure22** : Cosmétiques contenant des champignons ou leurs extraits. 1. Aveeno Positively Ageless utilisations *Lentinula edodes*.2. Beautydiy Aqua Gel hydratant pour la circulation contient du polysaccharide de *Tremella*.3. Aquamella Cream contient des extraits de *Tremella fuciformis*.4. Vitamega shampooing intègre *Agaricus subrufescens*.5.

Origines Plantidote Mega-Champignon Traitement.6.La solution nocturne de biologie marine avancée des Prairies contient du trématode fuciformis (*Hyde et al., 2010*).

## Conclusion et perspective

Les radicaux libres produits sous forme d'espèces réactives d'oxygène (ROS), l'excès de ces radicaux libres provoque le stress oxydatif qui conduit à l'apparition des pathologies. La plupart des radicaux libres sont neutralisés par des défenses antioxydants cellulaires (enzymes et non enzymatiques).

Les champignons comestibles auraient une activité antioxydant, qui était riche en composant bioactif tel que les composants phénoliques, les caroténoïdes, Vitamine E, vitamine C.

Les champignons comestibles ont une importante source naturelle d'aliments et de médicaments grâce à sa teneur élevée en fibres, faible en gras donc faibles en calories, riches des protéines, des vitamines et des minéraux de bonne qualité. Ils possèdent de nombreux avantages pour la santé qui sont suffisantes pour la prévention et le traitement de diverses maladies, notamment anticancéreuse, antidiabétique, cardiovasculaire et anti-inflammatoire.

à partir de cette recherche bibliographique on peut conclure que les champignons comestibles ont une importance nutritionnelle et thérapeutique, ce qui dit Hippocrate dans son proverbe «Que la nourriture soit votre médicament et la médecine soit votre nourriture» (**wani et al., 2010**).

En perspective, Il serait intéressant de :

- ✓ Sensibilisé la population algérienne sur la valeur des champignons comestibles pour l'utilisation nutritionnelle et de intégrie dans ces repas et de la prévention thérapeutique.
- ✓ Concernant la consommation des champignons comestibles, il faut toujours mise la prudence et les récoltes doivent être déterminées auprès de véritables connaisseurs que sont les mycologues des sociétés locales.
- ✓ Les avantages des champignons comestibles pour la santé de l'homme nécessitent encore une enquête intensive, surtout compte tenu de l'émergence de nouvelles preuves de leurs bienfaits pour la santé.
- ✓ nous recommandons une culture des champignons comestible pour permettre à la population d'avoir des médicaments et des denrées alimentaires moins chers et d'éviter la disparition de certaines espèces intéressantes.

## Références Bibliographiques

**Abdullah**, N., Ismail, S. M., Aminudin, N., Shuib, A. S., & Lau, B. F. (2012). Evaluation of selected culinary-medicinal mushrooms for antioxidant and ACE inhibitory activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*.

**Abugri**, D., McElhenney, W. H., & Willian, K. R. (2016). Fatty acid profiling in selected cultivated edible and wild medicinal mushrooms in the Southern United States. *J. Exp. Food Chem*, 2, 1-7.

**Agrahar-Murugkar**, D., & Subbulakshmi, G. (2005). Nutritional value of edible wild mushrooms collected from the Khasi hills of Meghalaya. *Food Chemistry*, 89(4), 599-603.

**Aishah**, M. S., & Rosli, W. W. (2013). The effect of addition of oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) on nutrient composition and sensory acceptance of selected wheat- and rice-based products. *International Food Research Journal*, 20(1), 183.

**Akbarirad**, H., Kazemeini, S. M., & Shariaty, M. A. (2019). Deterioration and some of applied preservation techniques for common mushrooms (*Agaricus bisporus*, followed by *Lentinus edodes*, *Pleurotus* spp.). *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 2019, 2398-2402.

**Alain**, M. (2011). Omega 3 and antioxidant supplementation and oxidative stress during judo training presented to obtain the grade of: Doctor of the University of Orleans

**Algeciras-Schimmich**, A., Cook, W. J., Milz, T. C., Saenger, A. K., & Karon, B. S. (2007). Evaluation of hemoglobin interference in capillary heel-Stick samples collected for determination of neonatal bilirubin. *Clinical Biochemistry*, 40, 1311 – 1316.

**Almasiova**, V., Holovska, K., Tarabova, L., Cigankova, V., Lukacinova, A., & Nistiar, F. (2012). Structural and ultrastructural study of the rabbit testes exposed to carbamate insecticide. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47(9), 1319-1328.

**Amin**, M. Z. M., Harun, A., & Wahab, M. A. M. A. (2014). Status and potential of mushroom industry in Malaysia. *Economic and Technology Management Review*, 9, 103-111

**Amiot**, M. J., Riollet, C., & Landrier, J. F. (2009). Polyphénols et syndrome métabolique: Polyphenols and metabolic syndrome. *Médecine des maladies métaboliques*, 3(5), 476-482.

**Arbaayah**, H. H., & Umi, K. Y. (2013). Antioxidant properties in the oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) and split gill mushroom (*Schizophyllum commune*) ethanolic extracts. *Mycosphere*, 4(4), 661-673.

**Asahi**, T., Wu, X., Shimoda, H., Hisaka, S., Harada, E., Kanno, T., et al. (2016). A mushroom-derived amino acid, ergothioneine, is a potential inhibitor of inflammation-related DNA halogenations. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 80,313–317.

**Averbeck** D. (2006). Lésions radio-induites de l'ADN : Mécanisme de réparation, Inhibiteurs de la réparation. Centre universitaire d'Orsay

**Ayeka**, P. A. (2018). Potential of mushroom compounds as immunomodulators in cancer immunotherapy: a review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018.

## **B**

**Bâ**, A. M., Duponnois, R., Moyersoén, B., & Diédhiou, A. G. (2011). Ectomycorrhizal symbiosis of tropical African trees. *Mycorrhiza*, 22(1), 1-29.

**Beckman**, K. B., & Ames, B. N. (1997). Oxidative decay of DNA. *Journal of Biological Chemistry*, 272(32), 19633-19636.

**Bahadori**, M. B., Sarikurku, C., Yalcin, O. U., Cengiz, M., & Gungor, H. (2019). Metal concentration, phenolics profiling, and antioxidant activity of two wild edible *Melanoleuca* mushrooms (*M. cognata* and *M. stridula*). *Microchemical Journal*, 150, 104172.

**Bains**, A., & Tripathi, A. (2017). Evaluation of antioxidant and anti-inflammatory properties of aqueous extract of wild mushrooms collected from Himachal Pradesh. *Evaluation*, 10(3).

**Barros**, L., Baptista, P., & Ferreira, I. C. (2007). Effect of *Lactarius piperatus* fruiting body maturity stage on antioxidant activity measured by several biochemical assays. *Food and chemical Toxicology*, 45(9), 1731-1737.

**Barros**, L., Correia, D. M., Ferreira, I. C., Baptista, P., & Santos-Buelga, C. (2008). Optimization of the determination of tocopherols in *Agaricus* sp. edible mushrooms by a normal phase liquid chromatographic method. *Food Chemistry*, 110(4), 1046-1050.

**Barros**, L., Cruz, T., Baptista, P., Estevinho, L. M., & Ferreira, I. C. (2008). Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. *Food and Chemical Toxicology*, 46(8), 2742-2747.

**Barros**, L., Falcão, S., Baptista, P., Freire, C., Vilas-Boas, M., & Ferreira, I. C. (2008). Antioxidant activity of *Agaricus* sp. mushrooms by chemical, biochemical and electrochemical assays. *Food chemistry*, 111(1), 61-66.

**Barros**, L., Ferreira, M. J., Queiros, B., Ferreira, I. C., & Baptista, P. (2007). Total phenols, ascorbic acid,  $\beta$ -carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities. *Food chemistry*, 103(2), 413-419.

**Barros**, L., Venturini, B. A., Baptista, P., Estevinho, L. M., & Ferreira, I. C. (2008). Chemical composition and biological properties of Portuguese wild mushrooms: a comprehensive study. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(10), 3856-3862.

**Bationo**, f., savadogo, a., kabore, d., ouattara, l., ouedraogo, h. g., savadogo, b., & traore, a. (2015). Storage influence on beta-carotene and alpha-tocopherol contents of solar-dried *spirulina platensis* (*spirulina*). *African journal of food science*, 9(12), 546-554.

**Belyagoubi**, N. (2011). Antioxidant activity of extracts of phenolic compounds from ten medicinal plants from West and Southwest Algeria (Doctoral dissertation, Doctoral thesis in Biology, University of Tlemcen, Algeria).

**Benaraba R.** (2007). Insulinorésistance et stress oxydant dans le syndrome métabolique : Etude expérimentale des effets protecteurs de microconstituants nutritionnels (polyphénols du thé, de la cannelle et chome III). Thèses de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble 1, Paris, 246pt.16p.

**Bendich, A., & Shapiro, S. S.** (1986). Effect of  $\beta$ -carotene and canthaxanthin on the immune responses of the rat. *The Journal of nutrition*, 116(11), 2254-2262.

**Bengu, A. S.** (2020). The fatty acid composition in some economic and wild edible mushrooms in Turkey. *Progress in Nutrition*, 22(1), 185-192.

**Bensakhria, A.** (2018). Toxicologie Générale, Le Stress Oxydatif, RechercheGate.p73

**Bernardshaw, S., Lyberg, T., Hetland, G., & Johnson, E.** (2007). Effect of an extract of the mushroom *Agaricus blazei* Murill on expression of adhesion molecules and production of reactive oxygen species in monocytes and granulocytes in human whole blood ex vivo. *Apmis*, 115(6), 719-725.

**Bernaś, E., Jaworska, G., & Lisiewska, Z.** (2006). Edible mushrooms as a source of valuable nutritive constituents. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 5(1), 5-20

**Bhattacharyya, A., Chattopadhyay, R., Mitra, S., & Crowe, S. E.** (2014). Oxidative stress: an essential factor in the pathogenesis of gastrointestinal mucosal diseases. *Physiological reviews*, 94(2), 329-35.

**Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O.** (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. *World Allergy Organization Journal*, 5(1), 9-19.

**Blanche, E. O. C., Valère, K. T. C., Judith, M. M. A., & Anatole, P. C.** (2019). Study of Acute Toxicity and the Effect of the Aqueous Extract of a Formulation of Three Edibles Mushrooms on Oxidative Stress Induced in Rats. *World Journal of Food Science and Technology*, 3(1), 6.

**Boonsong, S., Klaypradit, W., & Wilaipun, P.** (2016). Antioxidant activities of extracts from five edible mushrooms using different extractants. *Agriculture and Natural Resources*, 50(2), 89-97.

**Boulmerka A. Laoufi O.** (2017). Essai de multiplication et culture de champignons pleurote à échelle du laboratoire. Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER, Université des Frères Mentouri Constantine.

**Bouziane K, Rouibah L.** (2019). Etude des propriétés antioxydantes, antidiabétiques et antiinflammatoires in vitro des extraits de la plante médicinale *Capparis spinosa* L (Capparidaceae). Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master, Université des Frères Mentouri Constantine 1.p 33

**Boyd, B., Ford, C., Koepke Michael, C., Gary, K., Horn, E., McAnelley, S., & McAnelley, C.** (2003). Etude pilote ouverte de l'effet antioxydant d'Ambrotose AOTM sur des personnes en bonne santé. *GlycoScience et Nutrition*, 4(6), 7.

**Bray, F., Ferlay, J., Soerjomataram, I., Siegel, R. L., Torre, L. A., & Jemal, A. (2018).** Cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*, 68(6), 394-424.

**Britton, G., Liaaen-Jensen, S., & Pfander, H. (Eds.). (2008).** Carotenoids, vol. 4: natural functions (Vol. 4). Springer Science & Business Media.

**Bulam, S., ÜSTÜN, N. Ş. & PEKŞEN, A. (2018).** Edible Wild Mushroom Antioxidants. Proceedings Book of International Eurasian Congress on Natural Nutrition & Healthy Life.

**Burton, G. W., & Ingold, K. U. (1984).** Beta-carotene: an unusual type of lipid antioxidant. *Science*, 224(4649), 569-573.

## C

**Cai, H., & Harrison, D. G. (2000).** Endothelial dysfunction in cardiovascular diseases: the role of oxidant stress. *Circulation research*, 87(10), 840-844.

**Canfora EE, Jocken JW, Blaak EE. (2015).** Short-chain fatty acids in control of body weight and insulin sensitivity. *Nat Rev Endocrinol* 11:577

**Carocho, M., & Ferreira, I. C. (2013).** A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and chemical toxicology*, 51, 15-25.

**Carrière A, Galinier A, Fernandez Y, Carmona M C, Pénicaud L, Casteilla L. (2006).** Les espèces actives de l'oxygène : le yin et le yang de la mitochondrie. 22, (1): 47-53.

**Cazes, J. (2009).** Encyclopedia of Chromatograph. Second Edition. Edition Taylor & Francis, P1250.

**Cerf ME. (2013).** Beta cell dysfunction and insulin resistance. *Front Endocrinol (Lausanne)* 4:37

**Chaffai B. Ouchene M. (2019).** Essai de culture et multiplication de champignon de Paris (*Agaricus bisporus*) et de pleurote jaune (*Pleurotus citrinopileatus*) à l'échelle de laboratoire. Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER, Université Larbi Ben Mhidi Oum El Bouaghi.

**Chaturvedi, V. K., Agarwal, S., Gupta, K. K., Ramteke, P. W., & Singh, M. P. (2018).** Medicinal mushroom: boon for therapeutic applications. *3 Biotech*, 8(8), 334.

**Chen, H., Lu, X., Qu, Z., Wang, Z., & Zhang, L. (2010).** Glycosidase inhibitory activity and antioxidant properties of a polysaccharide from the mushroom *Inonotus obliquus*. *Journal of Food Biochemistry*, 34, 178-191.

**Chen, J., Mao, D., Yong, Y., Li, J., Wei, H., & Lu, L. (2012).** Hepatoprotective and hypolipidemic effects of water-soluble polysaccharidic extract of *Pleurotus eryngii*. *Food chemistry*, 130(3), 687-694.

**Chen, S. Y., Ho, K. J., Hsieh, Y. J., Wang, L. T., & Mau, J. L. (2012).** Contents of lovastatin,  $\gamma$ -aminobutyric acid and ergothioneine in mushroom fruiting bodies and mycelia. *LWT*, 47(2), 274-278.

**Cherrak, S. A.** (2017). Etude in vitro de l'effet antioxydant des complexes Flavonoïdes –Métaux: Relation structure activité. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Biologie, Université de Tlemcen.p30.32.

**Cheung, P. C. K.** (2010). The nutritional and health benefits of mushrooms. *Nutrition Bulletin*, 35(4), 292–299

**Cheung, P. C. K.** (2013). Mini-review on edible mushrooms as source of dietary fiber: Preparation and health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 2(3-4), 162–166.

**Cheung, Y. C., Siu, K. C., Liu, Y. S., & Wu, J. Y.** (2012). Molecular properties and antioxidant activities of polysaccharide–protein complexes from selected mushrooms by ultrasound-assisted extraction. *Process Biochemistry*, 47(5), 892-895.

**Choi, E., Ham, O., Lee, S. Y., Song, B. W., Cha, M. J., Lee, C. Y., ... & Hwang, K. C.** (2012). Mushrooms and cardiovascular disease. *Current Topics in Nutraceuticals Research*, 10(1), 43.

**Chou, W., Sheih, I. C., & Fang, T. J.** (2013). The applications of polysaccharides from various mushroom wastes as prebiotics in different systems. *Journal of Food Science*, 78, M1041–1048.

**Chu, T. T., Benzie, I. F., Lam, C. W., Fok, B. S., Lee, K. K., & Tomlinson, B.** (2012). Study of potential cardioprotective effects of *Ganoderma lucidum* (Lingzhi): results of a controlled human intervention trial. *British journal of nutrition*, 107(7), 1017-1027.

**Chun, O. K., Kim, D. O., Moon, H. Y., Kang, H. G., & Lee, C. Y.** (2003). Contribution of individual polyphenolics to total antioxidant capacity of plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(25), 7240-7245

**Cicccone, S., Maiani, E., Bellusci, G., Diederich, M., & Gonfloni, S.** (2013). Parkinson's disease: a complex interplay of mitochondrial DNA alterations and oxidative stress. *International journal of molecular sciences*, 14(2), 2388-2409.

**Cindrova-Davies, T.** (2014). The therapeutic potential of antioxidants, ER chaperones, NO and H<sub>2</sub>S donors, and statins for treatment of preeclampsia. *Frontiers in pharmacology*, 5, 119.

**Close, G. L., & McArdle, F.** (2007). Antioxidants and free radicals. *Nutrition and Sport*, 153.

**Colas R.** (2011). Syndrome métabolique et diabète chez l'Homme. Composition lipidique et oxydation des lipoprotéines de basse densité (LDL) plasmatiques en relation avec l'activation des plaquettes sanguines. *Biomolécules*. INSA de Lyon, France : 42-43

**Collard, J.** (2014). Les marqueurs biologiques du stress oxydant. *labolink*.Belgique.page 1

**Cook-Mills, J. M., & Deem, T. L.** (2005). Active participation of endothelial cells in inflammation. *Journal of leukocyte biology*, 77(4), 487-495.

**D**

- Dalto, D. B., & Matte, J. J.** (2017). Pyridoxine (vitamin B6) and the glutathione peroxidase system; a link between one-carbon metabolism and antioxidation. *Nutrients*, 9(3), 189.
- Das, T. K., Wati, M. R., & Fatima-Shad, K.** (2015). Oxidative stress gated by Fenton and Haber Weiss reactions and its association with Alzheimer's disease. *Arch Neurosci*, 2(2), e20078.
- Davey, M. W., Montagu, M. V., Inze, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N. & Fletcher, J.** (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 825-860.
- De Silva, D. D., Rapior, S., Hyde, K. D., & Bahkali, A. H.** (2012). Medicinal mushrooms in prevention and control of diabetes mellitus. *Fungal Diversity*, 56(1), 1-29.
- Delattre J., Beaudeau, J., Bonnefont- Rousselot, D.** (2005). Radicaux libres et stressoxydant : Aspects biologiques et pathologiques. Lavoisier, Paris, 47p
- Demirbaş, A.** (2001). Concentrations of 21 metals in 18 species of mushrooms growing in the East Black Sea region. *Food Chemistry*, 75(4), 453-457.
- Dennis, E. A., & Norris, P. C.** (2015). Eicosanoid storm in infection and inflammation. *Nature Reviews Immunology*, 15(8), 511–523 Erratum in *Nature Reviews Immunology*, 15(11), 724.
- Di, L.** (2015). Strategic approaches to optimizing peptide ADME properties. *The AAPS journal*, 17(1), 134-143.
- Djellouli F.** (2013). Aspect qualitatif et quantitatif des lipoprotéines sériques chez les agriculteurs utilisant les pesticides dans la région de Tlemcen (Doctoral dissertation).
- Djenidi H.,** (2019). Activité antioxydante et antiradicalaire des aliments d'origine végétale consommés dans les régions de biskra et sétif.thèse de doctorat en science, Université Ferhat Abbas Sétif 1.français.p11.p19.
- Du, B., Zhu, F., & Xu, B.** (2018). An insight into the anti-inflammatory properties of edible and medicinal mushrooms. *Journal of Functional Foods*, 47, 334-342.
- Dubey, S. K., Chaturvedi, V. K., Mishra, D., Bajpeyee, A., Tiwari, A., & Singh, M. P.** (2019). Role of edible mushroom as a potent therapeutics for the diabetes and obesity. *3 Biotech*, 9(12), 450.
- Ďuračková, Z., & Gvozdjaková, A.** (2008). Oxidants, antioxidants and oxidative stress. In *Mitochondrial medicine* (pp. 19-54). Springer, Dordrech
- Duru M.E., Cayan, G.T** (2015) biologically active terpenoids from mushroom origin: a review. *Rec Nat Prod* 9:456–483.
- Durund k.** (2018). Diabetes Et Stress Oxydant. Diplome d'état De Docteur En Pharmacie, Faculte De Pharmacie De Marseille.français.p 8.p11.13.
- Dyke, A. J., & Newton, A. C.** (1999). Commercial harvesting of wild mushrooms in Scottish forests: Is it sustainable? *Scottish Forestry*, 53, 77-85.

## **E**

**Edenharder, R., & Grünhage, D. (2003).** Free radical scavenging abilities of flavonoids as mechanism of protection against mutagenicity induced by tert-butyl hydroperoxide or cumene hydroperoxide in *Salmonella typhimurium* TA102. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 540(1), 1-18.

**Elmastas, M., Isildak, O., Turkecul, I., & Temur, N. (2007).** Determination of antioxidant activity and antioxidant compounds in wild edible mushrooms. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3-4), 337-345

**Elsayed, E. A., El Enshasy, H., Wadaan, M. A., & Aziz, R. (2014).** Mushrooms: a potential natural source of anti-inflammatory compounds for medical applications. *Mediators of inflammation*, 2014.

**Endo, M., Beppu, H., Akiyama, H., Wakamatsu, K., Ito, S., Kawamoto, Y., & Matsui, T. (2010).** Agaritine purified from *Agaricus blazei* Murrill exerts anti-tumor activity against leukemic cells. *Biochimica ET Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1800(7), 669-673.

**Eyi Ndong H., Degreef J., De Kesel A., (2011).** Champignons comestibles des forêts denses d'Afrique centrale. *Taxonomie et identification. ABC Taxa 10*, Samyn Y., Vanden Spiegel D., Degreef J. (Eds.), 254 p.

## **F**

**Fain O. (2004).** Carences en vitamine C. *Rev Médecine Interne*. 25(12):872–80.

**Fakourelis, N., Lee, E. C., & Min, D. B. (1987).** Effects of chlorophyll and  $\beta$ -carotene on the oxidation stability of olive oil. *Journal of food science*, 52(1), 234-235.

**Falandysz, J., & Borovička, J. (2013).** Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(2), 477-501.

**Farooq, M., Rakha, A., Hassan, J. U., Fazal, R., Saleem, M., Saboor, A., & Kakar, K. (2018).** Physicochemical and nutritional characterization of mushroom powder enriched muffins. *Int. J. Fauna Biol. Stud*, 5(3), 09-16.

**Favier, (2003).** Le stress oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité chimique*. 108-115.

**Favier, A. (2003).** The oxidative stress: concept and experimental interest to understand diseases mechanisms and therapeutic approaches. *Actualité Chimique*, (11-12), 108-115.

**Fernand, N. (1984).** *Wild Edible Fungi: A Global Overview of Their Use and Importance to People*; Food and Agriculture Organization: Rome, Italy, 2004.

**Ferreira, I. C., Baptista, P., Vilas-Boas, M., & Barros, L. (2007).** Free-radical scavenging capacity and reducing power of wild edible mushrooms from northeast Portugal: Individual cap and stipe activity. *Food chemistry*, 100(4), 1511-1516.

**Ferreira, I. C., Barros, L., & Abreu, R. (2009).** Antioxidants in wild mushrooms. *Current Medicinal Chemistry*, 16(12), 1543-1560.

**Figueiredo, P. S., Inada, A. C., Marcelino, G., Cardozo, C. M. L., Freitas, K. C., Guimarães, R. C. A., ... Hiane, P. A. (2017).** Fatty acids consumption: The role metabolic aspects involved in obesity and its associated disorders. *Nutrients*, 9, 1158.

**Finkel, T., & Holbrook, N. J. (2000).** Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. *Nature*, 408(6809), 239-247.

**Finley, J. W., Kong, A. N., Hintze, K. J., Jeffery, E. H., Ji, L. L., & Lei, X. G. (2011).** Antioxidants in foods: state of the science important to the food industry. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(13), 6837-6846.

**Foy, C. J., Passmore, A. P., Vahidassr, M. D., Young, I. S., & Lawson, J. T. (1999).** Plasma chain-breaking antioxidants in Alzheimer's disease, vascular dementia and Parkinson's disease. *Qjm*, 92(1), 39-45.

**Friedman, M. (2016).** Mushroom polysaccharides: chemistry and antiobesity, antidiabetes, anticancer, and antibiotic properties in cells, rodents, and humans. *Foods*, 5(4), 80.

## **G**

**Gadallah, M. G., & Ashoush, I. S. (2016).** Value addition on nutritional and sensory properties of biscuit using desert truffle (*Terfezia clavaryi*) powder. *Food and Nutrition Sciences*, 7(12), 1171-1181.

**Garait, B. (2006).** Le stress oxydant induit par voie métabolique (régimes alimentaires) ou par voie gazeuse (hyperoxie) et effet de la GliSODin® (Doctoral dissertation).

**Gardes-Albert, M., Bonnefont-Rousselot, D., Abedinzadeh, Z., & Jore, D. (2003).** Reactive oxygen species. How oxygen may become toxic?. *Actualite Chimique*, (11-12), 91-96.

**Gąsecka, M., Siwulski, M., & Mleczek, M. (2017).** Evaluation of bioactive compounds content and antioxidant properties of soil-growing and wood-growing edible mushrooms. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13386.

**Ge, Q., Mao, J. W., Zhang, A. Q., Wang, Y. J., & Sun, P. L. (2013).** Purification, chemical characterization, and antioxidant activity of a polysaccharide from the fruiting bodies of sanghuang mushroom (*Phellinus baumii* Pilát). *Food Science and Biotechnology*, 22(2), 301-307.

**Geng, Y., Zhu, S., Lu, Z., Xu, H. Y., Shi, J. S., & Xu, Z. H. (2014).** Anti-inflammatory activity of mycelial extracts from medicinal mushrooms. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 16(4).

**Gerster, H. (1997).** The potential role of lycopene for human health. *Journal of the American College of Nutrition*, 16(2), 109-126.

**Gévry, M., & Villeneuve, N. (2009).** Ecology and management of edible ectomycorrhizal mushrooms in eastern Canada. *Advances in mycorrhizal science and technology*. NRC Research Press, Ottawa, 175-191.

**Ghedira, K. (2005).** Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 3(4), 162–169.

**Giovannoni, J. J. (2007).** Completing a pathway to plant vitamin C synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(22), 9109-9110.

**Goto M., Ueda K., Hashimoto T., Fujiwara S., Matsuyama K., Kometani T., Kanazaw K. (2008).** A formation mechanism for 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine mediated by peroxidized 2'-déoxythymidine. *Free Radical Biology and Medicine*, 45: 1318-1325 p.

**Goto S, Radak Z (2013).** Implication of oxidative damage to proteins and DNA in aging and it's intervention by caloric restriction and exercise. *J sport health Sci*, 2, 75-80.

**Goudable, J., & Favier, A. (1997).** Radicaux libres oxygénés et antioxydants. *Nutrition clinique et métabolisme*, 11(2), 115-120.

**Grangeia, C., Heleno, S. A., Barros, L., Martins, A., & Ferreira, I. C. (2011).** Effects of trophism on nutritional and nutraceutical potential of wild edible mushrooms. *Food Research International*, 44(4), 1029-1035

**Gueye P.M. (2007).** Phénotypes majeurs de l'haptoglobine humaine et stress oxydant induit par l'hémoglobine extra-érythrocytaire sur le globule rouge. Thèse de doctorat, spécialité Biochimie, université Louis Pasteur-Strasbourg I. Institut Gilbert Laustriat. UMR CNRS 7175LC1-Faculté de Pharmacie. France.(244 pages).

**Guillamón, E., García-Lafuente, A., Lozano, M., Rostagno, M. A., Villares, A., & Martínez, J. A. (2010).** Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases. *Fitoterapia*, 81(7), 715-723.

**Guillouty A., (2016).** Plantes médicinales et antioxydants. Thèse de doctorat en pharmacie, Université Toulouse III - Paul Sabatier, p27 .26.

**Guzmán-Rodríguez, J. J., Ochoa-Zarzosa, A., López-Gómez, R., & López-Meza, J. E. (2015).** Plant antimicrobial peptides as potential anticancer agents. *BioMed research international*, 2015.

## **H**

**Halliwell B., Gutteridge. J. M. C (2008).** *Free Radicals in Biology and Medicine*. Fourth Edition. Oxford University Press.

**Halliwell, B. (1996).** Antioxidants in human health and disease. *Annual review of nutrition*, 16(1), 33-50.

**Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2007).** *Free Radicals in biology and medicine*. Fourth Edition New York, Oxford University Press, p 851.

**Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C. (2003).** *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford University Press, Oxford, UK.

**Hancock**, R. D., & Viola, R. (2005). Biosynthesis and catabolism of L-ascorbic acid in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(3), 167-188

**Harrison**, R. (2002). Structure and function of xanthine oxidoreductase: where are we now?. *Free Radical Biology and Medicine*, 33(6), 774-797.

**Herath**, H. M. L. P. B., Wickramasinghe, P. D. S. U., Bathige, S. D. N. K., Jayasooriya, R. G. P. T., Kim, G. Y., Park, M. A., ... & Lee, J. (2017). Molecular identification and functional delineation of a glutathione reductase homolog from disk abalone (*Haliotis discus discus*): Insights as a potent player in host antioxidant defense. *Fish & Shellfish Immunology*, 60, 355-367.

**Ho**, L. H., Zulkifli, N. A., & Tan, T. C. (2020). Edible Mushroom: Nutritional Properties, Potential Nutraceutical Values, and Its Utilisation in Food Product Development. In *An Introduction to Mushroom*. IntechOpen.

**Hossain**, M. S., Alam, N., Amin, S. R., Basunia, M. A., & Rahman, A. (2007). Essential fatty acid contents of *Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma lucidum* and *Agaricus bisporus*. *Bangladesh J Mushroom*, 1, 1-7.

**Hu**, S. H., Liang, Z. C., Chia, Y. C., Lien, J. L., Chen, K. S., Lee, M. Y., & Wang, J. C. (2006). Antihyperlipidemic and antioxidant effects of extracts from *Pleurotus citrinopileatus*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(6), 2103-2110.

**Hussein**, J. M., Tibuhwa, D. D., Mshandete, A. M., & Kivaisi, A. K. (2015). Antioxidant properties of seven wild edible mushrooms from Tanzania. *African Journal of Food Science*, 9(9), 471-479. doi:10.5897/ajfs2015.1328.

**Hwang HS**, Yun JW. (2010) .Hypoglycemic effect of polysaccharides produced by submerged mycelial culture of *Laetiporus sulphureus* on streptozotocin-induced diabetic rats. *Biotechnol Bioprocess Eng* 15:173-181

**Hyde**, K. D., Bahkali, A. H., & Moslem, M. A. (2010). Fungi—an unusual source for cosmetics. *Fungal diversity*, 43(1), 1-9.

## **I**

**Ighodaro**, O. M., & Akinloye, O. A. (2017). First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria journal of medicine*, 54(4), 287-293.

## **J**

**Jaworska**, G., Bernaś, E., Cichoń, Z., & Possinger, P. (2008). Establishing the optimal period of storage for frozen *Agaricus bisporus*, depending on the preliminary processing applied. *International Journal of Refrigeration*, 31(6), 1042-1050.

**Jayakumar**, T., Thomas, P. A., & Geraldine, P. (2008). In-vitro antioxidant activities of an ethanolic extract of the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(2), 228-234.

**Jayasena T, Poljak A, Smythe G, Braidy N, Münch G, Sachdev P. (2013).** The role of polyphenols in the modulation of sirtuins and other pathways involved in Alzheimer's Disease. *Ageing Res Rev*, 12, 867-883.

**Jean-Baptiste, M. W. Y. (2019).** Fréquence du diabète sucre. Mémoire de fin d'étude, université de Lubumbashi faculté de médecine .français.

**Jedinak, A., Dudhgaonkar, S., Wu, Q., Simon, J., & Sliva, D. (2011).** Anti-inflammatory activity of edible oyster mushroom is mediated through the inhibition of NF- $\kappa$ B and AP-1 signaling. *Nutrition Journal*, 10, 52.

**Jérôme, R. (2013).** Le kit à champignon de prêt à pousser cet automne, la chasse au champignon se fera dans la cuisine.

**Joas, J. (2009).** Incidence de l'état physiologique de la mangue à la récolte sur sa maturation en cours de conservation. Thèse de doctorat. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.

**Johnson, E. J. (2002).** The role of carotenoids in human health. *Nutrition in clinical care*, 5(2), 56-65

**Joseph, S. V., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B. M. (2016).** Fruit polyphenols: A review of anti-inflammatory effects in humans. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 419-444.

## **K**

**Kabel, A. M. (2014).** Free radicals and antioxidants: role of enzymes and nutrition. *World Journal of Nutrition and Health*, 2(3), 35-38.

**Kada S., (2018).** Recherche d'extraits de plantes médicinales doués d'activités biologiques. Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1.français .p16.p18.23.

**Kakon, A. J., Choudhury, M. B. K., & Saha, S. (2012).** Mushroom is an ideal food supplement. *Journal of Dhaka National Medical College & Hospital*, 18(1), 58-62.

**Kalač, P. (2009).** Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. *Food chemistry*, 113(1), 9-16.

**Kalač, P. (2012).** Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms, in *Mushrooms: Types, Properties and Nutrition*.

**Kalač, P. (2013).** A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 209-218.

**Kalam, S., Gul, M. Z., Singh, R., & Ankati, S. (2015).** Free radicals: Implications in etiology of chronic diseases and their amelioration through nutraceuticals. *Pharmacologia*, 6(1), 11-20.

**Kalaras, M. D., Richie, J. P., Calcagnotto, A., & Beelman, R. B. (2017).** Mushrooms: A rich source of the antioxidants ergothioneine and glutathione. *Food chemistry*, 233, 429-433.

**Karabin**, M., Hudcova, T., Jelinek, L., & Dostalek, P. (2015). Biotransformations and biological activities of hop flavonoids. *Biotechnology advances*, 33(6), 1063-1090.

**Karine** .B et Philippe J. (2014). champignons comestible. À la recherche des champignons, Dunod, p. 16.

**Kaur** A, Dhingra GS, Shri R. (2015). Antidiabetic potential of mushrooms. *Asian J Pharm* 5:111–125

**Keleş**, A., Koca, I., & Gençcelep, H. (2011). Antioxidant properties of wild edible mushrooms. *Journal of Food Processing & Technology*, 2(6), 2-6.

**Kim**, M. Y., Seguin, P., Ahn, J. K., Kim, J. J., Chun, S. C., Kim, E. H., ... & Ro, H. M. (2008). Phenolic compound concentration and antioxidant activities of edible and medicinal mushrooms from Korea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(16), 7265-7270.

**Koechlin-Ramonatxo**, C. (2006). Oxygen, oxidative stress and antioxidant supplementation, or another way for nutrition in respiratory diseases. *Nutrition clinique ET métabolisme*, 20(4), 165.

**Kolayli**, S., Sahin, H., Aliyazicioglu, R., & Sesli, E. (2012). Phenolic components and antioxidant activity of three edible wild mushrooms from Trabzon, Turkey. *Chemistry of Natural Compounds*, 48(1), 137-140.

**Kozarski**, M., Klaus, A., Niksic, M., Jakovljevic, D., Helsper, J. P., & Van Griensven, L. J. (2011). Antioxidative and immunomodulating activities of polysaccharide extracts of the medicinal mushrooms *Agaricus bisporus*, *Agaricus brasiliensis*, *Ganoderma lucidum* and *Phellinus linteus*. *Food Chemistry*, 129(4), 1667-1675.

**Kozarski**, M., Klaus, A., Vunduk, J., Zizak, Z., Niksic, M., Jakovljevic, D., & Van Griensven, L. J. (2015). Nutraceutical properties of the methanolic extract of edible mushroom *Cantharellus cibarius* (Fries): primary mechanisms. *Food & function*, 6(6), 1875-1886.

**Kumagai**, Y., & Akira, S. (2010). Identification and functions of pattern-recognition receptors. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 125(5), 985-992.

**Kumar**, K. (2015). Role of edible mushrooms as functional foods-a review. *South Asian Journal of Food Technology and Environment*, 1(3&4), 211-21

## **L**

**Laguerre** M., Lopez-Giraldo L.J., Lecomte J., Pina M and Villeneuve P. (2007). Outils d'évaluation in vitro de la capacité antioxydante. *Oilseeds and fats. Crops and lipids*. 14(5): 278-292.

**Lavanya**, J., & Subhashini, S. (2013). Therapeutic proteins and peptides from edible and medicinal mushrooms-Review. *European Scientific Journal*, 9(24).

**Lecheheb** N.Chaabna CH.(2017). Valorisation et pouvoir antioxydant des composés phénoliques des feuilles de blé dur (*Triticum durum*) : GTA dur et CIRTA. Mémoire pour l'obtention du Diplôme de Master, Université des Frères Mentouri Constantine.

**Lee, K. H., Morris-Natschke, S. L., Yang, X., Huang, R., Zhou, T., Wu, S. F., ... & Itokawa, H. (2012).** Recent progress of research on medicinal mushrooms, foods, and other herbal products used in traditional Chinese medicine. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 2(2), 1-12.

**Lemann P. (2007)** .Mushrooms in cosmetics. *SpecialChem Cosmetics and Personal Care, Innovations and Solutions*

**Li, H., Zhang, M., & Ma, G. (2010).** Hypolipidemic effect of the polysaccharide from *Pholiota nameko*. *Nutrition*, 26(5), 556-562.

**Li, L. X., Ye, S. L., Wang, Y. H., & Tang, Z. Z. (2007).** Progress on experimental research and clinical application of *Trametes robiniophila*. *Bulletin of Chinese Cancer*, 16, 110-113.

**Lillian Barros a, Maria-Joa ~o Ferreira a,b, Bruno Queiro ´s a,b, Isabel C.F.R. Ferreira a,\* , Paula Baptista a( 2006).** Total phenols, ascorbic acid, b-carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities. *Food Chemistry* 103 (2007) 413–419

**Liu, K., Wang, J., Zhao, L., & Wang, Q. (2013).** Anticancer, antioxidant and antibiotic activities of mushroom *Ramaria flava*. *Food and chemical toxicology*, 58, 375-380.

**Liu, Y. T., Sun, J., Luo, Z. Y., Rao, S. Q., Su, Y. J., Xu, R. R., & Yang, Y. J. (2012).** Chemical composition of five wild edible mushrooms collected from Southwest China and their antihyperglycemic and antioxidant activity. *Food and Chemical Toxicology*, 50(5), 1238-1244.

**Lloyd M.M., Grima M.A., Rayner B.S., Hadfield K.A., Davies M.J., Hawkins C.L. (2013).** Comparative reactivity of the myeloperoxidase-derived oxidants hypochlorous acid and hypothiocyanous acid with human coronary artery endothelial cells. *Free Radic Biol Med*, 65, 1352-1362

**Loft, S., Møller, P., Cooke, M.S., Rozalski, R. & Olinski, R. (2008).** Antioxidant vitamins and cancer risk: is oxidative damage to DNA a relevant biomarker? *Eur J Nutr* 47 Suppl 2:19- 28

**Loria-Kohen, V., Lourenço-Nogueira, T., Espinosa-Salinas, I., Marín, F. R., Soler-Rivas, C., & Ramirez de Molina, A. (2014).** Nutritional and functional properties of edible mushrooms: A food with promising health claims. *J. Pharm. Nutr. Sci*, 4, 187-198.

**Lu, M. K., Lin, T. Y., Chao, C. H., Hu, C. H., & Hsu, H. Y. (2017).** Molecular mechanism of *Antrodia cinnamomea* sulfated polysaccharide on the suppression of lung cancer cell growth and migration via induction of transforming growth factor  $\beta$  receptor degradation. *International journal of biological macromolecules*, 95, 1144-1152.

**Luo, Z., Lu, J., Li, H., Tu, Y., Wan, Y., & Yang, Z. (2018).** Air-assisted liquid-liquid microextraction integrated with QuEChERS for determining endocrine-disrupting compounds in fish by high-performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Food chemistry*, 260, 174-182.

**Lushchak**, V. I. (2014). Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. *Chemico-biological interactions*, 224, 164-175.

## **M**

**MacDonald** PE, El-kholy W, Riedel MJ, Salapatek AMF, Light PE, Wheeler MB. (2002). The multiple actions of GLP-1 on the process of glucose-stimulated insulin secretion. *Diabetes* 51:434–442

**Macheix**, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). *Les Composés Phénoliques Des Végétaux : Un Exemple De Métabolites Secondaires D'importance Économique*. Ppur Presses Polytechniques.

**Majeed**, M., Khan, M. U., Owaid, M. N., Khan, M. R., Shariati, M. A., Igor, P., & Ntsefong, G. N. (2019). Development of oyster mushroom powder and its effects on physicochemical and rheological properties of bakery products. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2019, 1221-1227.

**Mangels**, A. R., Holden, J. M., Beecher, G. R., Forman, M. R., & Lanza, E. (1993). Carotenoid content of fruits and vegetables: an evaluation of analytic data. *Journal of the American Dietetic Association*, 93(3), 284-296.

**Manzi**, P., & Pizzoferrato, L. (2000). Beta-glucans in edible mushrooms. *Food Chemistry*, 68(3), 315-318.

**Mao**, G., Feng, W., Xiao, H., Zhao, T., Li, F., Zou, Y. E., ... & Wu, X. (2014). Purification, characterization, and antioxidant activities of selenium-containing proteins and polysaccharides in royal sun mushroom, *Agaricus brasiliensis* (Higher Basidiomycetes). *International journal of medicinal mushrooms*, 16(5).

**Marković**, Z., Đorović, J., Marković, J. M. D., Živić, M., & Amić, D. (2014). Investigation of the radical scavenging potency of hydroxybenzoic acids and their carboxylate anions. *Monatshefte für Chemie-Chemical Monthly*, 145(6), 953-962.

**Marqus**, S., Pirogova, E., & Piva, T. J. (2017). Evaluation of the use of therapeutic peptides for cancer treatment. *Journal of biomedical science*, 24(1), 21.

**Marventano**, S., Kolacz, P., Castellano, S., Galvano, F., Buscemi, S., Mistretta, A., & Grosso, G. (2015). A review of recent evidence in human studies of n-3 and n-6 PUFA intake on cardiovascular disease, cancer, and depressive disorders: Does the ratio really matter? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(6), 611–622.

**Mattila**, P., Könkö, K., Eurola, M., Pihlava, J. M., Astola, J., Vahteristo, L., & Piironen, V. (2001). Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(5), 2343-2348.

**Mattila**, P., Lampi, A. M., Ronkainen, R., Toivo, J., & Piironen, V. (2002). Sterol and vitamin D2 contents in some wild and cultivated mushrooms. *Food Chemistry*, 76(3), 293-298.

**Mau**, J. L., Chao, G. R., & Wu, K. T. (2001). Antioxidant properties of methanolic extracts from several ear mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5461-5467.

**Medjoujda.O.** (2017). Méthodes d'études d'activité des antioxydants des plantes médicinales. Mémoire en ligne.nutrition sciences, 67(3), 173-182.

**Michel, F., D. Bonnefont-Rousselot, E. Mas, J. Drai, et P. Thérond.** 2008. « Biomarqueurs de la peroxydation lipidique: aspects analytiques ». In Annales de Biologie Clinique, 66:605–620150-168.

**Migdal, C., & Serres, M.** (2011). Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. médecine/sciences, 27(4), 405-412.

**Milbury, P. E., & Richer, A. C.** (2008). Understanding the antioxidant controversy: scrutinizing the " fountain of youth". Greenwood Publishing Group.p81-100.

**Mirończuk-Chodakowska, I., Socha, K., Witkowska, A. M., Zujko, M. E., & Borawska, M. H.** (2013). Cadmium and Lead in Wild Edible Mushrooms from the Eastern Region of Poland's ' Green Lungs'. Polish Journal of Environmental Studies, 22(6).

**Mishra, T., Das, A. P., & Sen, A.** (2012). Phytochemical screening and In-vitro antioxidant profiling of solvent fractions of canna edulis ker gawler. Free Radicals and Antioxidants, 2(1), 13-20.

**Mokochinski, J. B., López, B. G. C., Sovrani, V., Santa, H. S. D., Gonzalez-Borrero, P. P., Sawaya, A. C. H. F., ... Torres, Y. R.** (2015). Production of Agaricus brasiliensis mycelium from food industry residues as a source of antioxidants and essential fatty acids. International Journal of Food Science and Technology, 50(9), 2052–2058.

**Moradi, S., Soltani, S., Ansari, A. M., & Sardari, S.** (2009). Peptidomimetics and their applications in antifungal drug design. Anti-Infective Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Infective Agents), 8(4), 327-344.

**Morris, H. J., Llauradó, G., Beltrán, Y., Lebeque, Y., Bermúdez, R. C., García, N., & Moukha, S.** (2015). The use of mushrooms in the development of functional foods, drugs, and nutraceuticals. Wild Plants, Mushrooms and Nuts: Functional Food Properties and Applications, 5, 123-159.

**Mueller, L., & Boehm, V.** (2011). Antioxidant activity of  $\beta$ -carotene compounds in different in vitro assays. Molecules, 16(2), 1055-1069.

**Muszyńska, B., Kała, K., Rojowski, J., Grzywacz, A., & Opoka, W.** (2017). Composition and biological properties of Agaricus bisporus fruiting bodies—a review. Polish journal of food and nutrition sciences, 67(3), 173-182.

*N*

**Nakajima K, Nakano T, Tanaka A.** (2006). The oxidative modification hypothesis of atherosclerosis: The comparison of atherogenic effects on oxidized LDL and rem-nant lipoproteins in plasma.Clin Chim Acta, 367: 36-47.

**Nemmiche, S.** (2017). Oxidative signaling response to cadmium exposure. Toxicological Sciences, 156(1), 4-10.

**Ng, L. T., Wu, S. J., Tsai, J. Y., & Lai, M. N.** (2007). Antioxidant activities of cultured Armillariella mellea. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 43(4), 444-448.

**Nicol M** et Maudet M. (2000). Caroténoïdes et vitamines A. Actualités. Oléagineux, Corps gras, lipides. 7(3) : 266-270.

**Nitschke, J.**, Modick, H., Busch, E., Von Rekowski, R. W., Altenbach, H. J., & Mölleken, H. (2011). A new colorimetric method to quantify  $\beta$ -1, 3-1, 6-glucans in comparison with total  $\beta$ -1, 3-glucans in edible mushrooms. Food chemistry, 127(2), 791-796.

**Niu, Y. C.**, Liu, J. C., Zhao, X. M., & Cao, J. (2009). A low molecular weight polysaccharide isolated from *Agaricus blazei* Murill (LMPAB) exhibits its anti-metastatic effect by down-regulating metalloproteinase-9 and up-regulating Nm23-H1. The American Journal of Chinese Medicine, 37(05), 909-921.

**Nordberg J**, Arnér E.S.J. (2001). Reactive oxygen species, antioxidants, and the mammalian thioredoxin system. Free Rad Biol Med, 31, 1287-1312).

## **O**

**Ognjanović, B. I.**, Marković, S. D., Pavlović, S. Z., Žikić, R. V., & Štajn, A. Š. (2008). Effect of chronic cadmium exposure on antioxidant defense system in some tissues of rats: protective effect of selenium. Physiological research, 57(3).

**Okin, D.**, & Medzhitov, R. (2012). Evolution of inflammatory diseases. Current Biology, 22(17), R733-R740.

## **P**

**Padayatty, S. J.**, Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J. H., & Levine, M. (2003). Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. Journal of the American college of Nutrition, 22(1), 18-35.

**Palacios, I.**, Lozano, M., Moro, C., D'arrigo, M., Rostagno, M. A., Martínez, J. A., ... & Villares, A. (2011). Antioxidant properties of phenolic compounds occurring in edible mushrooms. Food Chemistry, 128(3), 674-678.

**Parajuli, S.**, Pun, N. T., Parajuli, S., & Jamarkattel-Pandit, N. (2012). Antioxidant Activity, Total Phenol and Flavanoid Contents in Some Selected Medicinal Plants of Nepal. Journal of Health and Allied Sciences, 2(1), 27-31.

**Parc.T.** (2016) m2c2 biotechnologies végétales

**Park, D. K.** (1994). Antioxidant activity of  $\beta$ -carotene related carotenoids of peroxy radical mediated lipid peroxidation. BMB Reports, 27(6), 479-483

**Patterson, S. L.**, Colbert Maresso, K., & Hawk, E. (2013). Cancer chemoprevention: successes and failures. Clinical chemistry, 59(1), 94-101.

**Phillips, K. M.**, Horst, R. L., Koszewski, N. J., & Simon, R. R. (2012). Vitamin D 4 in mushrooms. PloS one, 7(8), e40702.

**Phillips, K. M.**, Ruggio, D. M., Horst, R. L., Minor, B., Simon, R. R., Feeney, M. J., ... & Haytowitz, D. B. (2011). Vitamin D and sterol composition of 10 types of mushrooms from retail suppliers in the United States. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59(14), 7841-7853.

**Phull, A. R., & Kim, S. J. (2017).** Fucoïdan as bio-fonctionnel molecule: Insights into the anti-inflammatoire potentiel et associés mécanismes moléculaires. *Journal of Functional Foods*, 38, 415–426.

**Picchi, A., GAO, X., Belmadani, S., Potter, B. J., Focardi, M., Chilian, W. M., & Zhang, C. (2006).** Tumor necrosis factor- $\alpha$  induit une dysfonction endothéliale dans le syndrome métabolique pré-diabétique. *Circulation research*, 99(1), 69-77

**Pierangelo T, Rita M, Desirée B, Francesco., (2020).** Vitamine E: aspects nutritionnels, Nutrition moléculaire, Université de Pérouse, Laboratoire de biochimie clinique et de nutrition, Pérouse, Italie.

**Pierce, J. P., Natarajan, L., Sun, S., Al-Delaimy, W., Flatt, S. W., Kealey, S., ... & Gold, E. B. (2006).** Augmentation des concentrations plasmatiques de caroténoïdes en réponse à un changement majeur de l'alimentation dans l'étude de l'alimentation saine et du mode de vie chez les femmes. *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers*, 15(10), 1886-1892.

**Pincemail J, Haleng J, Defraigne JO, Charlier C, Chapelle JP. (2007).** Le stress oxydant. *62 (10): 628-38*

**Prasad, S., Rathore, H., Sharma, S., & Yadav, A. S. (2015).** Champignons médicinaux en tant que source de nouveaux aliments fonctionnels. *Int J Food Sci Nutr Diet*, 4(5), 221-225.

## *Q*

**Quinones M, Miguel M, Alexandre A. (2013).** Effets bénéfiques des polyphénols sur les maladies cardiovasculaires. *Pharmacol Res*, 68(1), 125-131

## *R*

**Raccah D.** Épidémiologie et physiopathologie des complications dégénératives du diabète sucré, *EMC-Endocrinologie*1.2004 ;( 29 -42).

**Radulescu, C., Stih, C., Busuioc, G., Gheboianu, A. I., & Popescu, I. V. (2010).** Études concernant l'accumulation bioaccumulation de métaux lourds dans les champignons comestibles de la zone industrielle en utilisant des techniques spectrométriques. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 84(5), 641-646

**Rahman, A., Hershey, S., Ahmed, S., Nibbelink, K., & Simpson, R. U. (2007).** Profil d'expression des gènes de la matrice extracellulaire dans les souris déficientes en récepteur de la vitamine D. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 103(3-5), 416-419.

**Rahman, M. A., Abdullah, N., & Aminudin, N. (2016).** Interprétation du champignon en tant qu'agent thérapeutique commun pour la maladie d'Alzheimer et les maladies cardiovasculaires. *Critical reviews in biotechnology*, 36(6), 1131-1142.

**Raman, Arjun V., and Marla J. Berry. (2011).** Protéines sélénoprotéines dans la régulation redox cellulaire et la signalisation. *Oxidative Stress in Vertebrates and Invertebrates: Molecular Aspects of Cell Signaling*, 195-208 p.

**Rampin M. (2017).** Champignons « médicaux » : de l'usage traditionnel aux compléments alimentaires. thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie, université toulouse 3 paul sabatier.

**Rao, A. V., & Rao, L. G. (2007).** Carotenoids and human health. *Pharmacological research*, 55(3), 207-216.

**Rathee, S., Rathee, D., Rathee, D., Kumar, V., & Rathee, P. (2012).** Mushrooms as therapeutic agents. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 22(2), 459-474.

**Reis, F. S., Barros, L., Martins, A., & Ferreira, I. C. (2011).** Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms: an inter-species comparative study. *Food and Chemical Toxicology*, 50(2), 191-197.

**Reis, F. S., Martins, A., Vasconcelos, M. H., Morales, P., & Ferreira, I. C. (2017).** Functional foods based on extracts or compounds derived from mushrooms. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 48-62.

**Ribeiro, B., Valentão, P., Baptista, P., Seabra, R. M., & Andrade, P. B. (2007).** Phenolic compounds, organic acids profiles and antioxidative properties of beefsteak fungus (*Fistulina hepatica*). *Food and Chemical Toxicology*, 45(10), 1805-1813.

**Robert, J. (2010).** Signalisation cellulaire et cancer. *Bulletin du cancer*, 97(11), 1215-1222.

**Rochat, G. (2014).** Les radicaux libres et l'oxydation .O2score.

**Rock, E. (2003).** Stress oxydant, micronutriments et santé. *Inra-CRNH, unité des maladies métaboliques et micronutriments*, 63122, 37-42.

**Rodrigo, R., Miranda, A., & Vergara, L. (2011).** Modulation of endogenous antioxidant system by wine polyphenols in human disease. *Clinica Chimica Acta*, 412(5-6), 410-424.

**Roger P., 1981.** Les champignons. Eds. Solar pour la traduction française, Paris, 288p.

**Rojas, C., & Mansur, E. (1995).** Ecuador: informaciones generales sobre productos non madereros en Ecuador. Memoria, consulta de expertos sobre productos forestales no madereros para America Latina y el Caribe, 208-223.

**Romagnesi, H. (1995).** Atlas des champignons d'Europe. Bordas nature.

## S

**Sabry, S., & Dinh-Xuan, A. T. (1996).** Le monoxyde d'azote: un médiateur ubiquitaire. *Archives de pédiatrie*, 3, S275-S277.

**Saddhe, A. A., Malvankar, M. R., Karle, S. B., & Kumar, K. (2019).** Reactive nitrogen species: paradigms of cellular signaling and regulation of salt stress in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 86-97.

**Saffidine K. (2015).** Etude analytique et biologique des flavonoïdes extraits de *Carthamus caeruleus* L. et de *Plantago major* L. thèse de doctorat en science, université ferhat abbas sétif .p17.

**Sajon, S. R., Sana, S., Rana, S., Rahman, S. M., & Nishi, Z. M. (2018).** Mushrooms: Natural factory of anti-oxidant, anti-inflammatory, analgesic and nutrition. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 464-475.

**Sánchez, C.** (2016). Reactive oxygen species and antioxidant properties from mushrooms. *Synthetic and systems biotechnology*, 2(1), 13-22.

**Sande, D., de Oliveira, G. P., e Moura, M. A. F., de Almeida Martins, B., Lima, M. T. N. S., & Takahashi, J. A.** (2019). Edible mushrooms as a ubiquitous source of essential fatty acids. *Food Research International*, 125, 108524.

**Sande, D., de Oliveira, GP, e Moura, MAF, de Almeida Martins, B., Lima, MTNS, & Takahashi, JA** (2019). Les champignons comestibles comme source omniprésente d'acides gras essentiels. *Food Research International*, 125, 108524

**Saranghi, I., Ghosh, D., Bhutia, S. K., Mallick, S. K., & Maiti, T. K.** (2006). Anti-tumor and immunomodulating effects of *Pleurotus ostreatus* mycelia-derived proteoglycans. *International immunopharmacology*, 6(8), 1287-1297.

**Sari, M., Prange, A., Lelley, J. I., & Hambitzer, R.** (2017). Screening of beta-glucan contents in commercially cultivated and wild growing mushrooms. *Food Chemistry*, 216, 45-51.

**Sears, M. E., & Genuis, S. J.** (2012). Environmental determinants of chronic disease and medical approaches: recognition, avoidance, supportive therapy, and detoxification. *Journal of environmental and public health*, 2012.

**Shamtsyan, M.** (2016). Potential to develop functional food products from mushroom bioactive compounds. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 15, 51-59. **Hyde, K. D., Bahkali, A. H., & Moslem, M. A.** (2010). Fungi—an unusual source for cosmetics. *Fungal diversity*, 43(1), 1-9.

**Shao, S., Hernandez, M., Kramer, J. K., Rinker, D. L., & Tsao, R.** (2010). Ergosterol profiles, fatty acid composition, and antioxidant activities of button mushrooms as affected by tissue part and developmental stage. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(22), 11616-11625.

**Siess, H., Stahl, W., & Sundquist, A.** (1992). Antioxidant Functions of Vitamins—Vitamin E and Vitamin C,  $\beta$ -Carotene, and Other Carotenoids. *Ann. NY Acad. Sci*, 669, 7-20.

**Simopoulos, A. P.** (2016). An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. *Nutrients*, 8(3), 128.

**Siu, K. C., Chen, X., & Wu, J. Y.** (2014). Constituents actually responsible for the antioxidant activities of crude polysaccharides isolated from mushrooms. *Journal of Functional Foods*, 11, 548-556.

**Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Quek, S., & Perera, C. O.** (2010). Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: A review. *Journal of food science*, 75(8), R163-R174.

**Smith, HA** (2014). Production d'antimicrobiens et d'antioxydants à partir de champignons filamenteux .thèse de doctorat, National University of Ireland Maynooth

**Speckmann, B., Steinbrenner, H., Grune, T., & Klotz, L. O.** (2016). Peroxynitrite: from interception to signaling. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 595, 153-160.

**Srikram**, A., & Supapvanich, S. (2016). Proximate compositions and bioactive compounds of edible wild and cultivated mushrooms from Northeast Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 50(6), 432-436.

**Stahl**, W., & Sies, H. (2005). Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1740(2), 101-107.

**Stihi**, C., Radulescu, C., Busuioc, G., Popescu, I. V., Gheboianu, A., & ENE, A. (2011). Studies on accumulation of heavy metals from substrate to edible wild mushrooms. *Romanian Journal of Physics*, 56(1-2), 257-264

**St-Louis**, R. (2011). Implication des espèces réactives de l'oxygène dans le contrôle central de l'osmorégulation. *Neurosciences [q-bio.NC]*. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI

**Sun D**, Zhang Y, Wang F, Wu K, Chen J, Zhou Y. (2009). Electrochemical sensor for simultaneous detection of ascorbic acid, uric acid and xanthine based on the surface enhancement effect of mesoporous silica. *Sens. Actuators B*; 41: 641-645

**Sun**, C., Lin, J., Wan, Y., Liu, Y., & Xu, H. (2012). Amino acids contents of common wild edible mushrooms in Yunnan Province. *Plant Diversity and Resources*, 34(1), 89-92.

## **T**

**Tabart J**, (2011). Optimisation et caractérisation d'un extrait de cassis riche en antioxydants utilisable comme complément alimentaire et Etude de ses effets sur la vasorelaxation dépendante de l'endothélium. these de doctorat, Académie Universitaire Wallonie-Europe .p8

**Takamura**, K., Hoshino, H., Sugahara, T., & Amano, H. (1991). Determination of vitamin D2 in shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 545(1), 201-204.

**Taofiq**, O., González-Paramás, A. M., Martins, A., Barreiro, M. F., & Ferreira, I. C. (2016). Mushrooms extracts and compounds in cosmetics, cosmeceuticals and nutricosmetics—A review. *Industrial Crops and Products*, 90, 38-48.

**Taofiq**, O., Martins, A., Barreiro, M. F., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Anti-inflammatory potential of mushroom extracts and isolated metabolites. *Trends in Food Science and Technology*, 50, 193–210.

**Teixeira**, J., Gaspar, A., Garrido, E. M., Garrido, J., & Borges, F. (2013). Hydroxycinnamic acid antioxidants: an electrochemical overview. *BioMed research international*.

**Tian**, L., Wang, X., Li, X., Liu, B., Zhang, W., Cao, J... & Zhong, M. (2016). In vitro antitumor activity of Latcripin-15 regulator of chromosome condensation 1 domain protein. *Oncology Letters*, 12(5), 3153-3160

**Tian**, Y., Zeng, H., Xu, Z., Zheng, B., Lin, Y., Gan, C., & Lo, Y. M. (2012). Ultrasonic-assisted extraction and antioxidant activity of polysaccharides recovered from white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Carbohydrate Polymers*, 88(2), 522-529.

**Tibuhwa**, D. D. (2014). A comparative study of antioxidant activities between fresh and dry mushrooms in the genera *Cantharellus* and *Afrocantharellus* from Tanzania. Food and nutrition sciences, 2014.

## U

**Ukwuru**, M. U., Muritala, A., & Eze, L. U. (2018). Edible and non-edible wild mushrooms: Nutrition, toxicity and strategies for recognition. *J. Clin. Nutr. Metab*, 2.

**Usmani**, S. S., Bedi, G., Samuel, J. S., Singh, S., Kalra, S., Kumar, P. & Raghava, G. P. (2017). THPdb: Database of FDA-approved peptide and protein therapeutics. *PloS one*, 12(7), e0181748.

## V

**Valko M.**, Omova K.J. (2011). Free Radicals, Signal Transduction, and Human Disease. Oxidative Stress in Vertebrates and Invertebrates: Molecular Aspects of Cell Signaling, 17-3p

**Valko**, M., C. J. Rhodes, J. Moncol, M. Izakovic and M. Mazur. (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160(1): 1-40 p.

**Valverde**, M. E., Hernández-Pérez, T., & Paredes-López, O. (2015). Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. *International journal of microbiology*, 2015.

**Vansant**, G. (2004). Radicaux libres et antioxydants: principes de base. In Symposium «Antioxydants et alimentation». Institut Danone.

**Vetter**, J. (2010). Inorganic iodine content of common, edible mushrooms. *Acta alimentaria*, 39(4), 424-430.

**vidal**, (2008). Guide de l'alimentation équilibré.

**Villasante A.**, Araneda O.F., Behn C., Galleguillos M., Adarmes H. (2010). Antioxidant capacity and oxidative damage determination in synovial fluid of chronically damaged equine metacarpophalangeal joint. *Veterinary Research Communications*, 34 (2): 133–141p.

**Virtanen**, J. K., Mursu, J., Tuomainen, T. P., & Voutilainen, S. (2014). Dietary fatty acids and risk of coronary heart disease in men: the Kuopio Ischemic Heart Disease Risk Factor Study. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, 34(12), 2679-2687.

**Vunduk**, J., Klaus, A., Kozarski, M., Đorđević, R., Jovanović, L., & Nikšić, M. (2014). Zeolites as possible biofortifiers in Maitake cultivation. *Archives of Biological Sciences*, 66(1), 123-129.

## W

**Wahyono**, A., & Bakri, A. (2018). Physicochemical and sensorial characteristics of noodle enriched with oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) powder. *JPhCS*, 953(1), 012120.

**Wang, L., Brennan, M. A., & Brennan, C. S. (2020).** Improving antioxidant capacity of foods: adding mushroom powder to pasta. In *Pathology* (pp. 289-296). Academic Press.

**Wang, X. M., Zhang, J., Wu, L. H., Zhao, Y. L., Li, T., Li, J. Q., ... & Liu, H. G. (2014).** A mini-review of chemical composition and nutritional value of edible wild-grown mushroom from China. *Food chemistry*, 151, 279-285.

**Wani, B. A., Bodha, R. H., & Wani, A. H. (2010).** Nutritional and medicinal importance of mushrooms. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(24), 2598-2604.

**Wasser, S. P., & Weis, A. L. (1999).** Medicinal properties of substances occurring in higher basidiomycetes mushrooms: current perspectives. *International Journal of medicinal mushrooms*, 1(1).

**Wassmann, S., Wassmann, K., & Nickenig, G. (2004).** Modulation of oxidant and antioxidant enzyme expression and function in vascular cells. *Hypertension*, 44(4), 381-386.

**Wei, H., Yue, S., Zhang, S., & Lu, L. (2018).** Lipid-lowering effect of the pleurotus eryngii (king oyster mushroom) polysaccharide from solid-state fermentation on both macrophage-derived foam cells and zebrafish models. *Polymers*, 10(5), 492.

**Wei, S., Helsper, J. P., & Van Griensven, L. J. L. D. (2008).** Phenolic compounds present in medicinal mushroom extracts generate reactive oxygen species in human cells in vitro. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 10(1).

**Wu, Y., Choi, M. H., Li, J., Yang, H., & Shin, H. J. (2016).** Mushroom cosmetics: the present and future. *Cosmetics*, 3(3), 22.

**Wuerges, J., Lee, J. W., Yim, Y. I., Yim, H. S., Kang, S. O., & Carugo, K. D. (2004).** Crystal structure of nickel-containing superoxide dismutase reveals another type of active site. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(23), 8569-8574.

## **Y**

**Yahaya, N. F. M., Rahman, M. A., & Abdullah, N. (2014).** Therapeutic potential of mushrooms in preventing and ameliorating hypertension. *Trends in food science & technology*, 39(2), 104-115.

**Yaltirak, T., Aslim, B., Ozturk, S., & Alli, H. (2009).** Antimicrobial and antioxidant activities of *Russula delica* Fr. *Food and Chemical Toxicology*, 47(8), 2052-2056.

**Yildiz, O., Can, Z., Laghari, A. Q., Şahin, H., & Malkoç, M. (2015).** Wild edible mushrooms as a natural source of phenolics and antioxidants. *Journal of Food Biochemistry*, 39(2), 148-154.

**Yilmaz, N., Türkekul, I., Bulut, S., & Sahin, F. (2013).** Fatty acid composition in ten mushroom species collected from middle black sea region of Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 25(3), 1216.

## **Z**

**Zhang, J. J., Li, Y., Zhou, T., Xu, D. P., Zhang, P., Li, S., & Li, H. B. (2016).** Bioactivities and health benefits of mushrooms mainly from China. *Molecules*, 21(7), 938.

**Zhang, M., Zhu, L., Cui, S. W., Wang, Q., Zhou, T., & Shen, H. (2011).** Fractionation, partial characterization and bioactivity of water-soluble polysaccharides and polysaccharide–protein complexes from *Pleurotus geesteranus*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48(1), 5-12.

**Zhang, R., Zhou, Z., Wu, W., Lin, C. C., Tsui, P. H., & Wu, S. (2018).** An improved fuzzy connectedness method for automatic three-dimensional liver vessel segmentation in CT images. *Journal of Healthcare Engineering*, 2018.

[http://ruedeslumieres.morkitu.org/apprendre/champignon/biologie/images/coupe\\_agaric.jpg](http://ruedeslumieres.morkitu.org/apprendre/champignon/biologie/images/coupe_agaric.jpg)

<http://www.aveeno.com>

<http://www.chaga.us.oriveda.com/agaricus.php>

<https://www.totalnutraceutical.com/glucosano-diabetes-health-formula>

[www.wexlerdermatology.com](http://www.wexlerdermatology.com)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Année universitaire :</b><br>2019/2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Présenté par :</b> BADAoui Chahinez<br>DOUIBI Intissar Kenza |
| Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master 2 en Biochimie<br>Option : Biochimie de la Nutrition                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                 |
| <p style="text-align: center;"><b>Propriétés nutritionnelles, potentiels antioxydants des champignons comestibles</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                 |
| <p><b>Résumé :</b></p> <p>Le stress oxydatif résulte d'un déséquilibre selon la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les capacités de défense antioxydant de l'organisme, le mécanisme de défense antioxydants enzymatique et non enzymatique intervient dans la regulation potentielle le stress oxydatif.</p> <p>Les champignons comestibles sont plus importants dans notre système alimentaire, par leur valeur nutritionnelle, le partage de certains avantages des fruits et légumes. Les champignons comestibles sont des aliments riches en nutriments essentiels tel que les protéines, les lipides, les fibres alimentaires, <math>\beta</math>-glucane, vitamines et les minéraux. Différents espèces des champignons comestibles ont été identifiées comme source des composés bioactifs (par exemple, les composés phénoliques) qui ont des propriétés bénéfiques telles que les effets antioxydants. Outre les champignons comestibles peuvent être utilisés aussi comme un procédé de biothérapies qui peut aider à développer de nouveaux médicaments. Les champignons comestibles considérés comme un aliment idéal pour les personnes diabétiques afin de prévenir l'hyperglycémie, les cardiopathologies, les memes espèces considérés ont des activités anti-inflammatoires et anti-cancéreuses.</p> <p>Grace à leurs propriétés nutritionnelles et thérapeutiques des champignons comestibles, ont été exploités dans l'industrie alimentaire pour l'enrichissement des aliments transformés, les compléments alimentaires et aussi dans les produits cosmétiques. Pour suivre un régime alimentaire sain et équilibré, nous devons intégrer les champignons comestibles dans nos repas.</p> |                                                                 |
| <p><b>Mots clés :</b> Champignon comestible, Valeur nutritive, Effet thérapeutique, Stress oxydatif, Activité antioxydant.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                 |















