



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Moléculaire et Cellulaire Biologie et biochimie de Département

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1
كلية العلوم الطبيعية والحياة
قسم الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الخلوية والجزيئية

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences alimentaires

Spécialité : Biochimie de la nutrition

Intérêt nutritionnel et thérapeutique des champignons comestibles

Présenté par :

Berchache Rym

&

Bensiali Rania

Jury d'évaluation :

Le : 16-11-2020.

Président du jury : Dr. Djekrif-Dakhmouche .S

(MCA-ENS- Assia Djebar-
Constantine).

Examinatrice : Dr BENNAMOUN. L

(MCB-UFM constantine)

Rapporteur : Dr. NOUADRI. T

(MCA-UFM Constantine)

Année universitaire : 2019-2020.

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Allah tout puissant qui nous a donné la santé, le courage et la patience afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

*Nous tenons à remercier notre encadrant **Dr. NOUADRI. T** et **Mr KEBAILI Fethi Farouk**, pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené à bon port. Qu'ils trouvent dans ce travail un hommage vivant à leur haute personnalité.*

Nos vifs remerciements vont aux membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail :

*Nous tenons à exprimer notre très grande considération, et notre profond respect à : **Dr. Djekrif-Dakhmouche. S** qui nous a fait l'honneur de présider ce Jury.*

Veillez trouver ici nos expressions respectueuses et notre profonde gratitude.

*Nous remercions vivement **Dr BENNAMOUN. L** d'avoir eu l'amabilité de bien vouloir examiner ce travail. Nous ne pouvons que sincèrement vous exprimer notre respect et notre profonde gratitude.*

À tous nos enseignants depuis la première année, qui nous ont donné les bagages scientifiques nécessaires pour faire ce mémoire.

Enfin, nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail à mes parents adorés qui m'ont accompagné durant tout mon parcours, même si aucun remerciement ne serait assez fort, sachez que je vous aime du plus profonds de mon cœur.

Je le dédie aussi à ma sœur Khadidja qui a été à mes côtés plus que quiconque, qui m'a toujours supporté et qui a toujours su me guider.

A mon frère Salah, sa femme Faiza et leur petit ange Taha Yanis qui m'ont toujours soutenus.

A mon frère Alaa et à sa femme Afaf qui m'ont encouragé du début à la fin.

Je voudrais aussi remercier toutes les personnes qui m'ont aidé et que je n'ai pas citées.

BENSIALI RANIA

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé en français

Résumé en arabe

Résumé en anglais

Introduction Générale 1

Chapitre I : Le stress oxydatif

1. Radicaux libres et espèces réactives de l'oxygène(ROS).....	3
1.1. Définition	3
1.2. Les différents radicaux libres	3
1.2.1. L'anion superoxyde ($O_2^{\bullet-}$).....	4
1.2.2. Le radical Hydroxyle ($\bullet OH$).....	4
1.2.3. L'oxyde nitrique ou monoxyde d'azote (NO^{\bullet}).....	5
1.2.4. Le radical de Pyroxyde(ROO^{\bullet}).....	5
1.2.5. L'oxygène singlet (1O_2).....	5
1.2.6. Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2).....	6
1.2.7. Le peroxy nitrite ($ONOO^-$).....	6
1.3. L'origine des radicaux libres.....	6
1.4. Les sources des radicaux libres	7
1.4.1. Les sources endogènes.....	8
1.4.1.1. La mitochondrie	8
1.4.1.2. Le peroxyosome.....	9
1.4.1.3. Le réticulum endoplasmique.....	9
1.4.2. Les sources exogènes.....	9
1.5. Les dommages des radicaux libres.....	10
1.5.1. L'acide désoxyribonucléique.....	11
1.5.2. L'acide ribonucléique.....	12

1.5.3.	La peroxydation des lipides	12
1.5.4.	les protéines	13
2.	Le stress oxydatif	14
2.1.	Définition	14
2.2.	Les symptômes.....	15
2.3.	Les pathologies	15
3.	Les systèmes de défense	16
3.1.	Les antioxydants enzymatiques.....	16
3.1.1.	Le superoxyde dismutase (SOD).....	17
3.1.2.	Les catalases.....	18
3.1.3.	Le système de glutathion.....	19
3.2.	Les antioxydants non enzymatiques	20
3.2.1.	La vitamine C.....	20
3.2.2.	La vitamine E.....	20
3.2.3.	Les caroténoïdes.....	20
3.2.4.	Le coenzyme Q10.....	21
3.2.5.	Les polyphénols.....	21
3.2.6.	Les oligo-éléments.....	22
3.2.6.1.	Le zinc.....	22
3.2.6.2.	Le sélénium.....	23
3.2.6.3.	Le cuivre	23
3.2.6.4.	La Bilirubine	23

Chapitre II : Champignons comme source d'antioxydants

1.	Généralités sur les champignons comestibles	24
1.1.	Les champignons dans les écosystèmes forestiers	24
1.2.	Biologie des champignons	25
1.3.	Modes de vie des champignons	25
1.4.	Cycle de vie des champignons	26
1.5.	Les Champignons comestibles	27
2.	Les champignons comme source des antioxydants	28
2.1.	Les polyphénols.....	28
2.2.	Les polysaccharides	33
2.3.	Les vitamines.....	35
2.3.1.	La vitamine C.....	35
2.3.2.	La vitamine E.....	37
2.3.3.	La vitamine D.....	38
2.3.4.	Les caroténoïdes.....	40
2.4.	Les oligo-éléments.....	42

Chapitre III : Intérêt nutritionnel et médicamenteux des champignons comestibles

1. Intérêt nutritionnel et médicinal des champignons comestibles	44
1.1. Intérêt nutritionnel des champignons comestibles	44
1.1.1. Les champignons : relativement riches en protéines.....	45
1.1.2. Les champignons : faibles en lipides.....	46
1.1.3. Les champignons : riches en polysaccharides.....	47
1.1.4. Les champignons : riches en Vitamines et Minéraux.....	49
1.2. Intérêt thérapeutique des champignons comestibles	51
1.2.1. Propriétés anti-oxydants.....	52
1.2.2. Propriétés anti- inflammatoires.....	53
1.2.3. L'effet hypo-choléstorimique.....	55
1.2.4. Propriétés anticancéreuses.....	58
1.2.5. L'effet cardiovasculaire.....	60
1.3. Les champignons comme compléments alimentaires (Toniques).....	61
1.3.1. Le Shiitake (<i>Lentinula edodes</i>) : Compléments alimentaires.....	62
1.3.2. Le Maitake (<i>Grifola frondosa</i>) : compléments alimentaires.....	63
1.3.3. Cordyceps : Compléments alimentaires.....	63
Conclusion	65
Références	66

Liste des figures

Figure 1 : Représentation de l'origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliqué en biologie	7
Figure 2 : Représentation de la chaîne de transport d'électrons mitochondriale (CTE) et génération d'espèces réactives de l'oxygène	8
Figure 3 : Représentation des principaux dommages cellulaires induits par les espèces réactives de l'oxygène et provoqués sur les lipides, les protéines et l'ADN.....	10
Figure 4 : Représentation des lésions de l'ADN formées par attaque radicalaire du patrimoine génétique des cellules	12
Figure 5 : Représentation du mécanisme en chaîne de la peroxydation des acides gras polyinsaturés et nature des produits terminaux formés.....	13
Figure 6 : Représentation de la nature de quelques modifications des chaînes latérales d'acides aminés des protéines après attaque radicalaire	14
Figure 7 : Représentation de la balance d'équilibre entre les systèmes pro-oxydant et antioxydants.....	15
Figure 8 : Représentation de mode d'action des principaux systèmes enzymatiques antioxydants.	17
Figure 9 : Représentation de l'élimination du H ₂ O ₂ par les réactions enzymatiques combinées de la GPx et de la GR.....	19
Figure 10 : Représentation de la récupération des espèces réactives de l'oxygène (R •) par les flavonoïdes.....	22
Figure 11 : Représentation de quelques exemples de champignons selon leur mode de vie	26
Figure 12 : Représentation du cycle de vie des champignons en milieu naturel.....	26
Figure 13 : Représentation de la classification schématique des polyphénols, y compris les acides phénoliques, les flavonoïdes et autres polyphénols	30
Figure 14 : Représentation de résumé des transductions de signalisation moléculaire régulées par ROS.....	31
Figure 15 : Représentation des trois états de la vitamine C	35
Figure 16 : Représentation des structures chimiques des tocophérols et des tocotriénols.	37

Figure 17 : Représentation des structures chimiques des tocophérols et des tocotriénols.	41
Figure 18 : Représentation des propriétés pharmacologiques des champignons comestibles.	51
Figure 19 : Représentation de l'effet des champignons comestibles sur le métabolisme du cholestérol.....	56

Liste des tableaux

Tableau 1 : Représentation des espèces radicalaires et non radicalaires	3
Tableau 2 : Représentation des différentes pathologies causées par les ERO	16
Tableau 3 : Représentation des trois espèces de l'enzyme SOD Chez l'homme	18
Tableau 4 : Représentation de la localisation et actions des principaux antioxydants non enzymatiques	21
Tableau 5 : Représentation d'informations sur quelques espèces de champignons comestibles	28
Tableau 6 : Représentation de la teneur en flavonoïdes dans certain champignons comestibles.	33
Tableau 7 : Représentation de résumé de l'influence de la vitamine C sur les systèmes organiques.	36
Tableau 8 : Représentation des tocophérols déterminés dans les champignons comestibles.	38
Tableau 9 : Représentation des aliments naturels riches en vitamine D	40
Tableau 10 : Représentation de la teneur habituelle des oligo-éléments (mgkg-1DM) dans les corpsfruitiers des champignons comestibles provenant des zones non polluées	43
Tableau 11 : Représentation de la composition proximale de certains champignons comestibles. ...	44
Tableau 12 : Représentation de la teneur en acides aminés essentiels de quelques champignons comestibles.....	45
Tableau 13 : Représentation de la teneur enprotéines de quelques aliments, en grammes pour 100 grammes	46
Tableau 14 : Contenu en acides gras de certains champignons à problèmes.....	
Tableau 15 : Représentationde la composition en sucres de certains champignons comestibles (poids sec)	48
Tableau 16 : Représentation de la teneur en vitamines de certaines espèces de champignons comestibles, dans 100 g de matière sèche.....	49
Tableau 17 : Représentation du contenu de certains constituants minéraux dans les champignons comestibles (mg /100g matière sèche).....	50
Tableau 18 : Représentation de quelques exemples d'études biologiques réalisées avec des composés anti-inflammatoires issus de champignons	55
Tableau 19 : Représentation d'exemples d'études biologiques réalisées avec des composés anti-	

inflammatoires issus de champignons comestibles	58
Tableau 20 : Représentation des activités antitumorales d'extraits d'espèces de champignons (contresarcome-180 chez la souris)	60
Tableau 21 : Représentation des produits à base de shiitake.....	63
Tableau 22 : Représentation des produits à base de maitake.....	63
Tableau 23 : Représentation des produits à base de <i>cordyceps</i>	64

Liste des abréviations

AA	Acides aminé
CAT	Catalase
EAA	Acides aminés essentiels
Fl	Flavonoïdes
GSH/GSSG	Glutathion
H ₂ O ₂	Le peroxyde d'hydrogène
HOCl	L'acide hypochlorique
MnSOD	Superoxyde dismutase mitochondriale
NO ₃ ⁻	Le Peroxynitrite
NO•	Le monoxyde d'azote
NOS	Nitrique oxyde synthase
OH•	Le radical hydroxyle
R•	Les radicaux alkyles
SOD	Superoxyde dismutase
1O ₂	L'oxygène singlet

Résumé

Dans les cellules intactes, il existe un équilibre entre la formation et l'élimination des radicaux libres. Cependant, cette balance peut s'orienter vers la formation excessive des radicaux libres ou quand la concentration des antioxydants diminue. Cet état est appelé « le stress oxydatif ».

De nombreux champignons comestibles sont utilisés depuis longtemps comme aliments et médicaments en raison de leurs propriétés nutritionnelles, car ils sont riches en polyphénols, en polysaccharides, en vitamines et en minéraux. D'où, entre autre, leur propriété antioxydante.

Des études ont montré que les champignons comestibles possèdent d'autres propriétés thérapeutiques telles que les propriétés anti-inflammatoires, anticancéreuses, immunomodulatrices, antimicrobiennes, hépatoprotectrices et antidiabétiques.

Grace à leurs nombreuses propriétés, les champignons comestibles ont par conséquent, attiré une attention croissante ces dernières années et pourraient être transformés en aliments fonctionnels ou en médicaments pour la prévention et le traitement de plusieurs maladies chroniques, telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires, le diabète sucré et les maladies neurodégénératives. Ils ont été intégrés dans l'industrie alimentaire pour l'enrichissement des compléments alimentaire afin de faciliter leur adoption et leur intégration dans notre alimentation quotidienne.

Mots clés : Champignons comestibles, stress oxydatif, propriétés nutritionnelles, propriétés thérapeutiques.

Summary:

In intact cells, there is a balance between the formation and elimination of free radicals. However, this balance may be directed towards the excessive formation of free radicals or when the concentration of antioxidants decreases. This state is called "oxidative stress".

Many edible mushrooms have long been used as foods and medicines because of their nutritional properties, they are rich in polyphenols, polysaccharides, vitamins and minerals. Hence, among other things, their antioxidant property.

Studies have shown that edible mushrooms have other therapeutic properties such as anti-inflammatory, anticancer, immunomodulatory, antimicrobial, hepatoprotective and anti-diabetic properties.

Due to their many properties, edible mushrooms have therefore attracted increasing attention in recent years and could be transformed into functional foods or drugs for the prevention and treatment of several chronic diseases, such as cancer, cardiovascular disease, diabetes mellitus and neurodegenerative diseases. They have been integrated into the food industry for the enrichment of dietary supplements to facilitate their adoption and integration into our daily diet.

Keywords: Edible mushrooms, Oxidative stress, Nutritional properties, Therapeutic properties.

ملخص :

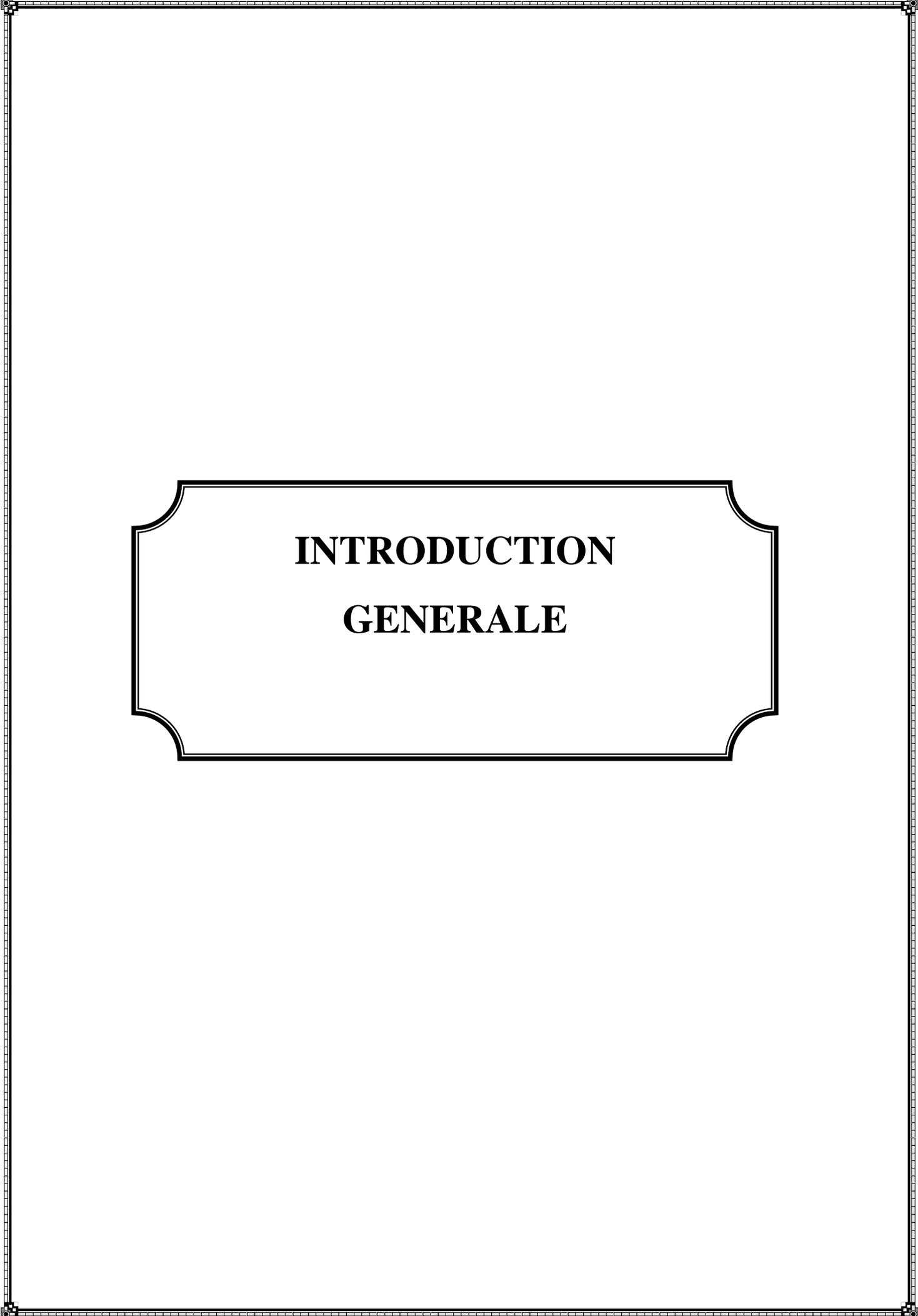
في الخلايا السليمة، يوجد توازن بين تكوين الجذور الحرة والقضاء عليها. غير أن هذا التوازن يمكن أن يهدف إلى الإفراط في تكوين الجذور الحرة أو الحد من تركيز مضادات الأكسدة. هذه الحالة تسمى "الإجهاد التأكسدي".

يستعمل الفطر الصالح للأكل منذ زمن طويل للتغذية والعلاج بسبب خصائصه الغذائية، حيث أنه غني بالبوليفينولات، عديد السكريد، الفيتامينات ولاملاح المعدنية وهذا ما يفسر امتلاكه لخاصية مضادات الاكسدة .

أظهرت الدراسات أن الفطر الصالح للأكل له خصائص علاجية أخرى مثل مضادات الالتهاب، ومضادات السرطان، معدلة المناعة، مضادات الميكروبات، مضادات للالتهابات الكبدية ولمرض السكري.

بفضل خصائصه العديدة، جذب الفطر الصالح للأكل اهتمامًا متزايدًا في السنوات الأخيرة، حيث يمكن تحويله إلى أغذية وظيفية أو أدوية للوقاية والعلاج من العديد من الأمراض المزمنة، مثل سرطان القلب والأوعية الدموية، السكري، أمراض التنكس العصبي. وقد أُدمج في صناعة الأغذية من أجل تعزيز المكملات الغذائية لتسهيل تناولها وإدماجها في غذائنا اليومي.

الكلمات المفتاحية: الفطر الصالح للأكل، الإجهاد التأكسدي، الخصائص الغذائية، الخصائص العلاجية.

A decorative border with a repeating geometric pattern surrounds the entire page. At the center, there is a rectangular frame with rounded corners and a double-line border. Inside this frame, the text is centered.

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction Générale

Introduction Générale :

Les champignons, autre fois considérés comme des aliments à faible valeur nutritive, revêtent aujourd'hui un intérêt particulier car ils constituent un apport supplémentaire en éléments bioactifs. Les radicaux libres étant des espèces très instables réagissent rapidement avec les molécules biologiques qui se trouvent à proximité (ADN, lipides, protéines et système immunitaire). Ils peuvent être provenir de plusieurs sources : endogènes ou exogènes. Cependant, cette production est contrôlée par des enzymes à activité anti-oxydantes qui sont naturellement présentes dans notre corps. L'équilibre entre les ERO et ces antioxydants est fragile et un déséquilibre peut emmener à un stress oxydant. Le stress oxydant est lié à plusieurs pathologies délétères telles que les maladies cardiovasculaires, le cancer...ect.

Depuis ces dernières décennies, l'intérêt pour l'étude des champignons n'a cessé de grandir et concerne principalement la connaissance des espèces comestibles compte tenu du fait qu'elles sont très appréciées dans l'alimentation et sont une grande source d'antioxydants exogènes qui vont soutenir l'effet des antioxydants endogènes. Les champignons comestibles possèdent des propriétés biologiques intéressantes et il est important de les valoriser. Ils sont riche en caroténoïdes, oligo-éléments, en vitamines et en composés phénoliques.

L'intérêt des composés phénoliques est très poussé en raison de leurs diverses propriétés physiologiques comme les activités antiallergique, anti-arthérogénique, anti-inflammatoire, hépatoprotective, antimicrobienne, antivirale, antibactérienne, anti- thrombotique, cardioprotective (**Ksouri et al., 2008**).

Ces actions sont attribuées à leur rôle antioxydant dans la neutralisation des radicaux libres, piégeage de l'oxygène, ou décomposition des peroxydes.

Le traitement par des médicaments et l'utilisation des additifs tels que les antioxydants synthétiques est très répandue, mais ces dernières possédant des effets néfastes sur la santé du consommateur plusieurs questions ont été soulevées concernant l'efficacité et la sécurité de ces produits chimiques (**Gião et al., 2010**).

La société moderne profite encore de ces connaissances ancestrales. Grâce à des études scientifiques, les substances contenues dans les champignons ont pu être étudiées, leur structure moléculaire analysée, leurs propriétés sur l'organisme humain identifiées. C'est dans

Introduction Générale

Cette voie qu'à travers les siècles, les traditions humaines ont su développer la connaissance et l'utilisation des champignons comestibles pour objectif de vaincre la souffrance et d'améliorer la santé de l'homme.

Ce travail a pour but de mettre en évidence l'importance nutritionnelle et médicinale des champignons comestibles en tant que source naturelle anti tumorale, modulation immunitaire etantioxydante.

Chapitre I : Le stress oxydatif

1. Radicaux libres et espèces réactives de l'oxygène(ROS)

Les réactions radicalaires sont omniprésentes chez les êtres vivants, et sont impliquées plus ou moins directement dans la reproduction, la modification des gènes et la défense contre les maladies.

1.1. Définition

Les radicaux libres sont des petites molécules diffusables, très réactives à cause de l'électron non apparié dans l'orbitale la plus externe (+), la présence d'un électron non apparié entraîne certaines caractéristiques communes qui sont partagées par la plupart des radicaux.

Les radicaux libres étaient initialement connus comme des radicaux centrés sur l'oxygène appelés espèces réactives de l'oxygène (ROS), mais contenant aussi un sous-groupe d'espèces réactives de l'azote (RNS) et sont tous un produit du métabolisme cellulaire normal (Droge, 2002).

1.2. Les différents radicaux libres

L'instabilité des espèces réactives de l'oxygène (Tableau 1) rend difficile leur mise en évidence au niveau des différents milieux biologiques. Leurs constantes de vitesse réactionnelle varient selon leurs natures. La durée de vie des espèces réactives de l'oxygène est extrêmement très courte de la nano à la milli seconde (Jacob, 1995). Le tableau ci-dessous représente les espèces radicalaires et non radicalaires.

Tableau 1 : Représentation des espèces radicalaires et non radicalaires (Mercan, 2010).

Radicalaires		Non-Radicalaires	
Hydroxyle	OH^\bullet	Ion peroxydite	ONOO^-
Alkoxyde	L(R)O^\bullet	Hypochlorite	OCl^-
Hydroperoxyde	HOO^\bullet	Hydroperoxyde	L(R)OOH
Peroxyde	L(R)OO^\bullet	oxygène singlet	$^1\text{O}_2$
Oxyde nitrique	NO^\bullet	Peroxyde d'hydrogène	H_2O_2
Superoxyde	$\text{O}_2^{\bullet-}$		

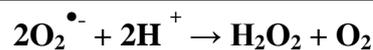
1.2.1. L'anion superoxyde ($\text{O}_2^{\bullet-}$)

Le radical anion superoxyde est le ROS répandu le plus important formé par le processus enzymatique, la réaction d'autooxydation et par des réactions de transfert d'électrons non enzymatiques dans lesquelles un électron est transféré à l'oxygène moléculaire (**Michelson et al., 1977**), il est principalement produit dans les mitochondries et sa réactivité avec les biomolécules est faible (**Kuppusamy et Zweier, 1989**). Il existe sous deux formes comme l' $\text{O}_2^{\bullet-}$ ou le radical hydroperoxyde (HO_2) à faible PH (**Bielski et Cabelli, 1996**). Il peut agir en tant qu'agent réducteur (réduit les complexes de fer), agent oxydant (oxyde l'acide ascorbique, le tocophérol).

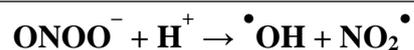
L' $\text{O}_2^{\bullet-}$ génère d'autres espèces radicales secondaires, en participant à la réaction d'Haber-Weiss, pour former un radical hydroxyle ($\bullet\text{OH}$) et un anion hydroxylé (OH^-) selon la réaction suivante (**Santo et al., 2016**):



Le superoxyde peut se transformer spontanément au peroxyde d'hydrogène (**Santo et al., 2016**).



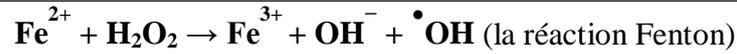
Il peut aussi réagir avec le monoxyde d'azote (NO^\bullet) et former le peroxynitrite (ONOO^-), pour former le radical hydroxyle et le dioxyde nitrique (**Lee et al., 2004**):



1.2.2. Le radical Hydroxyle ($\bullet\text{OH}$)

Le radical hydroxyle est une forme neutre d'ion hydroxyde contenant une réactivité très élevée ce que lui rend un radical très toxique (**Droge, 2002**). Il est formé par deux réactions biochimiques principales appelées réaction Haber-Weiss et réaction Fenton. Dans

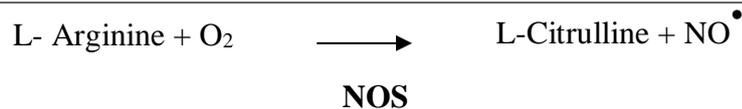
des cas de stress, les radicaux superoxydes libèrent du «fer libre» des molécules contenant du fer important pour réagir avec H_2O_2 dans la réaction de Fenton pour former des radicaux hydroxyles (**Lobo et al., 2010**), ce RL provoque la peroxydation des lipides et l'oxydation des protéines (**Leewenburgh et al., 1999**). fer important pour réagir avec H_2O_2 dans la réaction de Fenton pour former des radicaux hydroxyles (**Lobo et al., 2010**), ce RL provoque la



peroxydation des lipides et l'oxydation des protéines (**Leewenburgh et al., 1999**).

1.2.3. L'Oxyde nitrique ou le monoxyde d'azote (NO^\bullet)

Il s'agit d'une petite molécule générée dans les tissus par multiples synthèses d'oxydenitrique (NOS) qui convertissent la L-arginine en L-citrulline (**Andrew et Mayer, 1999**).



Le NO est connu pour travailler comme messagers secondaires contrôlant certaines fonctions physiologiques telles que la neurotransmission, la régulation de la pression artérielle, le mécanisme de défense, la relaxation des muscles lisses et la régulation immunitaire (**Victor et al., 2004 ; Droge et al., 2002**).

1.2.4. Le radical de Pyroxyle(ROO^\bullet)

Il est dérivé de l'oxygène dans les systèmes vivants. La forme la plus simple du radical peroxyde est le radical perhydroxyle (HOO^\bullet) qui est formé par la protonation du superoxyde (**De Grey, 2002**). Environ 0,3% de l' O_2^\bullet total dans le cytosol d'une cellule typique est sous forme protonée. Le radical de Pyroxyle initie la peroxydation des acides gras et peut même provoquer le développement tumoral (**Cerruti, 1985**).

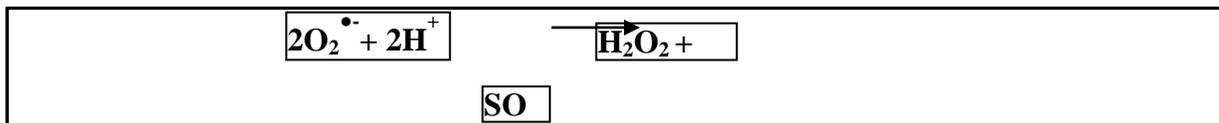
1.2.5. L'oxygène singlet ($^1\text{O}_2$)

Il s'agit d'un état d'oxygène moléculaire excité électroniquement et métastable, c'est une espèce d'oxygène réactif toxique hautement réactif (**Hojo, 2000**). Il est produit in vivo par l'activation des neutrophiles (**Hampton, 1998**), et des éosinophiles (**Kanovasky, 1989**), aussi

formé par certaines réactions enzymatiques catalysées par des enzymes telles que les lipoxygénases (Chan, 1971), les dioxygénases (Hayaishi et Nozaki, 1969) et la lactoperoxydase (Kanofsky, 1983). Il s'agit d'un agent oxydant très puissant qui peut endommager l'ADN (Sies et Menck, 1992) et les différents tissus (Kanovasky, 1989).

1.2.6. Le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂)

Le peroxyde d'hydrogène se forme in vivo dans une réaction de dismutation catalysée par l'enzyme superoxyde dismutase (SOD). Ce n'est pas un radical libre car il n'a pas d'électrons non appariés, mais il est considéré comme un ROS en raison de sa toxicité et de sa capacité à provoquer la formation de ROS (Hampton et al., 1998). Il peut aussi endommager la cellule à une concentration relativement faible. Il peut facilement pénétrer dans les membranes biologiques (Halliwell, 2000).



1.2.7. Le peroxyde d'azote (ONOO⁻)

Le peroxyde d'azote est un oxydant puissant et diffusible, capable d'endommager de nombreuses molécules organiques. Il est formé par la réaction entre O₂^{•-} et NO[•] (Haleng et al., 2007).

1.3. L'origine des radicaux libres

Les radicaux libres se trouvent dans l'organisme, ils sont produits par plusieurs mécanismes physiologiques, les ERO ont pour origine commune l'oxygène (O₂).

En présence de différents agents chimiques, l'O₂ peut subir une réduction électronique et former le radical superoxyde (O₂^{•-}). Le radical superoxyde peut interagir avec le monoxyde d'azote (NO), pour donner le peroxyde d'azote. Sous l'action de la superoxyde-dismutase (SOD), le radical superoxyde, peut également générer le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂). Le peroxyde d'hydrogène, en présence d'ions ferreux (Fe²⁺) ou cuivriques (Cu²⁺) peut être transformé, au cours de la réaction de Fenton, en radical hydroxyle (HO[•]), un ERO extrêmement réactif (Morel et Barouki, 1999). Le peroxyde d'hydrogène peut aussi être

transformé en ion hypochlorite sous l'action de la myéloperoxydase (Figure 1).

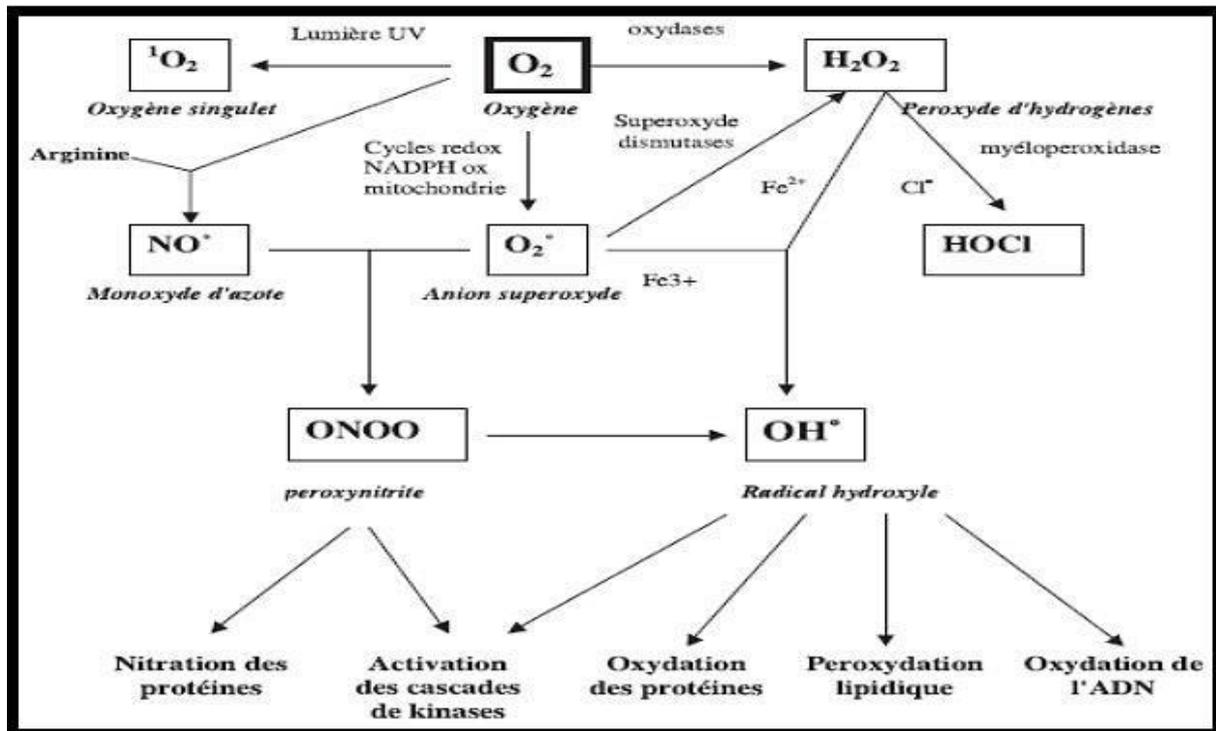


Figure 1: Représentation de l'origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliqué en biologie (Favier, 2003).

Le radical hydroxyle (HO^\bullet) constitue l'oxydant le plus puissant des ERO générés, il peut oxyder un substrat de trois façons : par arrachement d'un électron, par arrachement d'un atome d'hydrogène, ou par addition sur une double liaison.

Les trois modes d'action du radical hydroxyle (Migdal et Serres, 2011).



1.4. Les sources des radicaux libres

Les radicaux libres sont produits par un grand nombre de mécanismes tant endogènes qu'exogènes, ces radicaux dérivés de l'oxygène représentent la plus importante classe de ces espèces générées dans les systèmes vivants (Valko et al., 2004).

1.4.1. Les sources endogènes

Les radicaux libres endogènes sont produits de la chaîne respiratoire mitochondriale, l'inflammation, l'exercice excessif, l'ischémie, l'infection, le cancer et le vieillissement (Abuja et Albertini, 2001).

1.4.1.1. La mitochondrie

La plupart des ROS intracellulaires sont dérivés des mitochondries. Il est estimé que 2-5 % d'O₂ consommé par la mitochondrie est transformé en radical superoxyde (Abuja et Albertini, 2001), ce dernier est converti en peroxyde d'hydrogène par l'action du superoxyde dismutase mitochondriale (MnSOD). H₂O₂ peut être détoxifié par la catalase (CAT) et la glutathion peroxydase (GPx) (Starkov, 2006), et réagit également avec les métaux pour composer le radical hydroxyle OH (Figure 2) (Keven et al., 2006).

La génération de superoxyde est non enzymatique et donc plus le métabolisme est élevé, plus la production est importante du ROS (Finkel et Holbrook, 2000).

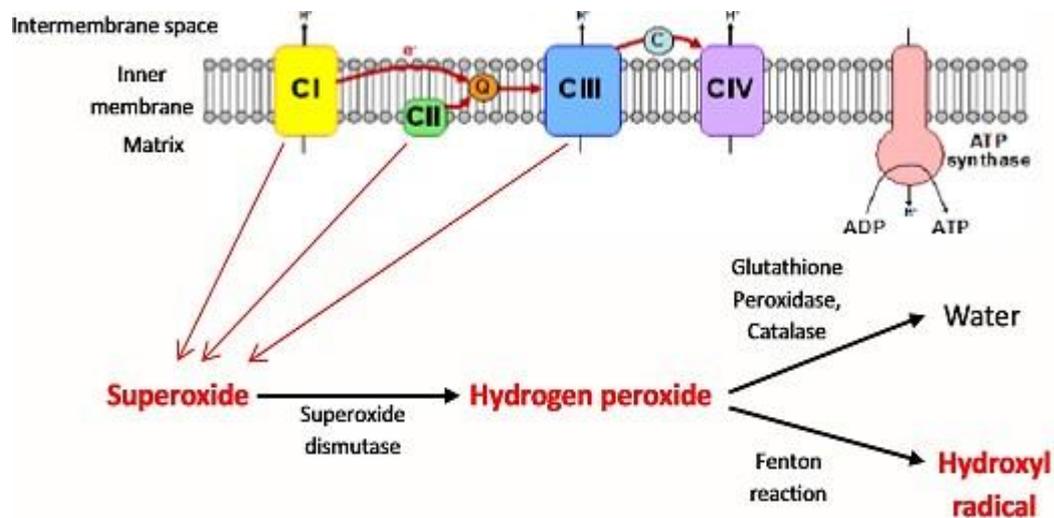


Figure 2: Représentation de la chaîne de transport d'électrons mitochondriale (CTE) et génération d'espèces réactives de l'oxygène (Keven et al., 2006).

Cinq complexes protéiques, situés dans la membrane mitochondriale interne, forment les complexes (CTE) I (CI) et II (CII) transfèrent les électrons (e) à l'ubiquinone (Q) qui réduit par la suite le complexe III (CIII). Le cytochrome c (C) agit comme un porteur d'électrons mobile entre les complexes III et IV (CIV). L'adénosine triphosphate (ATP) synthase génère ensuite de l'ATP en utilisant le gradient de protons formé à partir des complexes I, III et IV.

1.4.1.1. Les peroxysomes

Dans les peroxysomes la voie respiratoire favorise le transfert des électrons de divers métabolites à l'oxygène ce qui conduit à la formation des radicaux libres telle que H_2O_2 , $\text{O}_2^{\bullet-}$, OH^{\bullet} et NO^{\bullet} (Duve et Bauduhin, 1966).

La β -oxydation des acides gras et les réactions enzymatiques des oxydases comptent parmi les principaux processus métaboliques impliqués dans la production de H_2O_2 dans les peroxysomes (Schrader et Fahimi, 2006).

1.4.1.1. Le réticulum endoplasmique

Dans ce compartiment cellulaire sont regroupés des enzymes du métabolisme des lipides, des protéines, et notamment des complexes enzymatiques de détoxification des métabolites hautement réactifs, mais aussi des molécules pharmacologiques liposolubles. Les plus étudiées de ces enzymes appartiennent à la famille des cytochromes p-450 et b5 et la diamine oxydase contribuent à la formation de ROS (Cheeseman et Slater, 1933). Une autre importante enzyme thiol oxydase (Erop1p) catalyse le transfert des électrons des dithiols à l'oxygène moléculaire entraîne la formation de H_2O_2 (Gross et al., 2006).

1.4.1. Les sources exogènes

En plus de la production intracellulaire de ROS, des facteurs exogènes sont également à l'origine d'une aggravation du stress oxydant par la condensation des radicaux libres dans l'organisme (Hrycay et al., 2015). Elles sont majoritairement des pro-oxydants environnementaux tels que les pesticides, les métaux lourds, la fumée de cigarettes, les polluants, la poussière et les composés induits par la prise de certains médicaments, par le

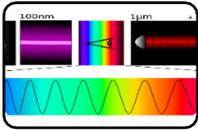
rayonnement électromagnétique (radiation ionisante, lumière ultraviolette), ou lors d'un coup de chaleur (Favier, 2003).

Fumée de cigarette



- La fumée de cigarette contient de nombreux oxydants et radicaux libres et composés organiques, tels que le superoxyde et l'oxyde nitrique (Church et Pryor, 1985).

Les rayonnements électromagnétiques



- sont des puissants initiateurs des ROS capables de produire des anions superoxydes ou de l'oxygène après activation de photo sensibilisants (Favier, 2003).

Ions de métaux lourds



- peuvent induire la génération de radicaux réactifs et provoquer des dommages cellulaires via l'épuisement des activités enzymatiques par peroxydation lipidique et réaction avec les protéines nucléaires et l'ADN (Stohs et Bagchi, 1995).

1.5. Les dommages des radicaux libres

La production excessive des ERO et ERN peuvent endommager les trois importantes classes de biomolécules (acides nucléiques, protéines et lipides) (Droge, 2002), notamment par l'apoptose (Figure 03).

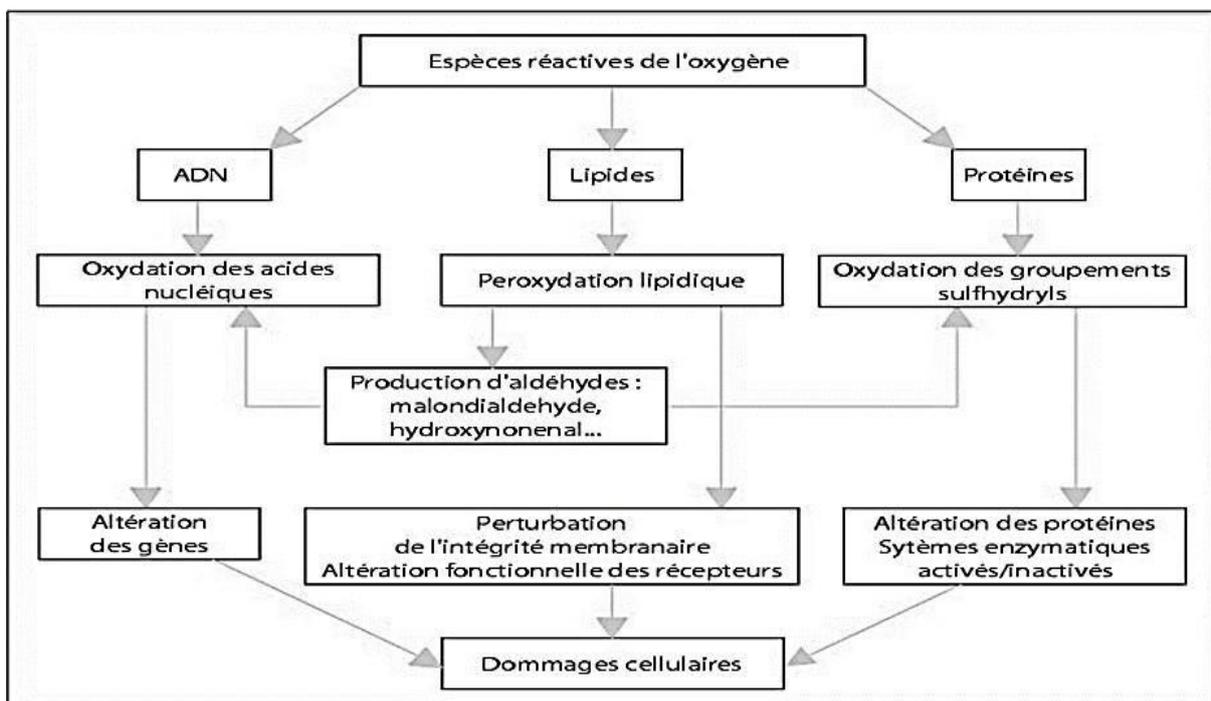


Figure 3 : Représentation des principaux dommages cellulaires induits par les espèces réactives de l'oxygène et provoqués sur les lipides, les protéines et l'ADN (**Monteil et al., 2004**).

1.5.1. L'acide désoxyribonucléique

L'ADN mitochondrial est plus vulnérable à l'attaque des ROS que l'ADN nucléaire, car il est situé à proximité de l'endroit généré par ROS, l'OH[•] radical réagit directement avec tous les composants de l'ADN tels que les bases de purine et de pyrimidine, squelette de sucre désoxyribose et provoque un certain nombre d'alternances, notamment des cassures double brin de l'ADN (**Halliwell et Gutteridge, 1989**).

La plupart de ces modifications de l'ADN (Figure 4) sont très pertinentes pour la carcinogénèse, le vieillissement, les maladies neurodégénératives, cardiovasculaires et auto-immunes.

Le 8-hydroxy désoxyguanosine est considéré comme le biomarqueur des dommages : impliqué dans la mutagenèse, la cancérogenèse et le vieillissement. Les niveaux de 8-OHdG sont plus élevés dans l'ADN mitochondrial que dans l'ADN nucléaire (**Barja, 2000**).

En plus des ROS, les espèces réactives de l'azote (RNS) comme les peroxy-nitrites (OONO⁻) et les oxydes d'azote peuvent également endommager par oxydation les acides nucléiques (**Brown, 2001**), peroxy-nitrite (OONO⁻) interagit avec la guanine produit des nitrates (8-nitroguanine et la 8-oxodésoxyguanosine) qui est une lésion d'ADN mutagène impliquée dans la cancérogenèse (**Hiraku, 2010**).

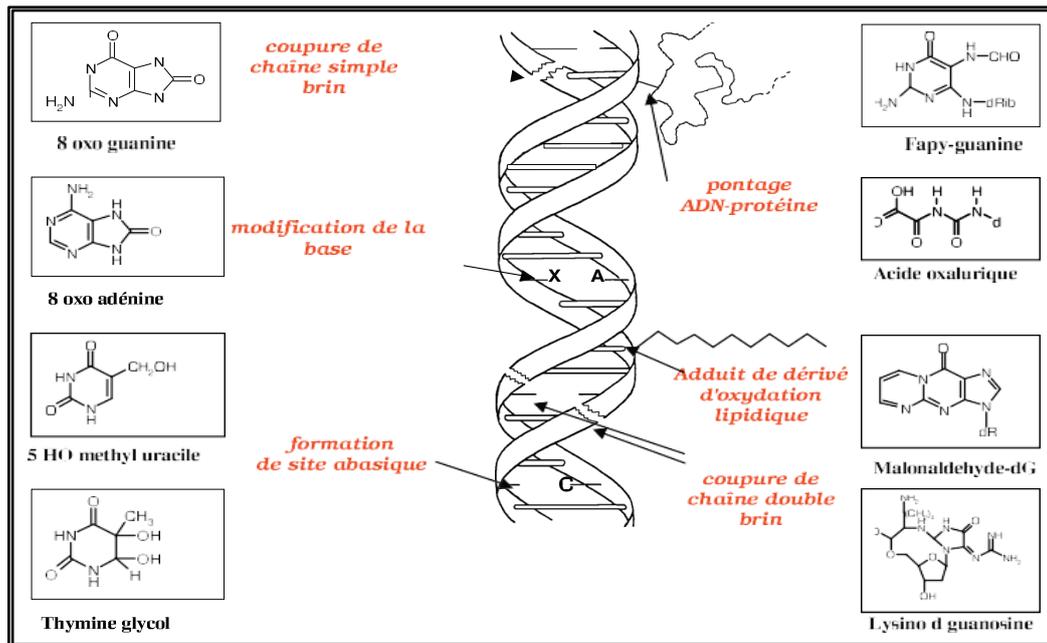


Figure 4 : Représentation des lésions de l'ADN formées par attaque radicalaire du patrimoine génétique des cellules (Favier, 2003).

1.5.1. L'acide ribonucléique :

Les ROS peuvent attaquer différents ARN produits dans le corps. L'ARN est soumis à des dommages d'oxydation plus que l'ADN en raison de sa nature monocaténaire, l'absence de mécanisme de réparation actif pour l'ARN oxydé, moins de protection par les protéines que l'ADN et de plus ces ARN cytoplasmiques sont situés à proximité des mitochondries où les charges des ROS sont produites (Hofer, 2005).

Le 7, 8-dihydro-8-oxoguanosine (8-oxoG) est l'ARN le plus étudié produit des dommages et ses niveaux sont élevés dans diverses pathologies comme la maladie d'Alzheimer (Abe et al., 2002), maladie de Parkinson (Kikuchi et al., 2002), l'athérosclérose (Martinet et al., 2004), l'hémochromatose (Broedbaek et al., 2009) et les myopathies (Tateyama et al., 2003).

1.5.2. La peroxydation des lipides

Les ROS peuvent attaquer les lipides, et plus particulièrement les acides gras polyinsaturés qui sont facilement oxydables (Siems et al., 1995). L'oxydation des lipides génère des peroxydes lipidiques qui sont eux-mêmes très réactifs (Favier, 2003), cette peroxydation est très importante in vivo en raison de son implication dans divers conditions

pathologiques, elle entraîne la perte de fonctionnement de la membrane par exemple :

diminution de la fluidité, inactivation des enzymes et des récepteurs liés à la membrane (Figure 5) (Bast, 1993).

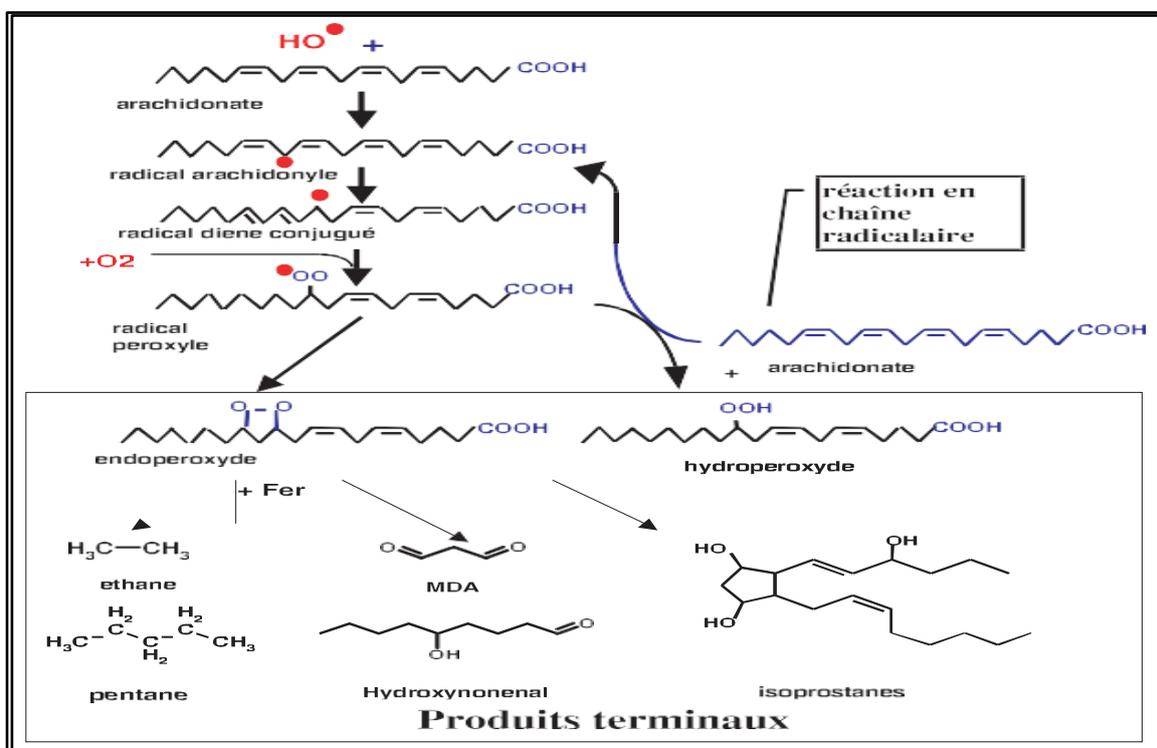


Figure 5 : Représentation du mécanisme en chaîne de la peroxydation des acides gras polyinsaturés et nature des produits terminaux formés (favier, 2003).

1.5.3. Les protéines

L'oxydation des protéines peut être induite par des espèces radicalaires et non radicalaires (Dean, 1997).

Les ROS peuvent provoquer la fragmentation de la chaîne peptidique, l'altération de

Sies en 1985 a défini la notion de stress oxydatif comme une perturbation de l'équilibre pro-oxydant - antioxydant (Jones et Radi, 2014), soit à une production accrue de radicaux libres, soit à une diminution de la capacité de défense antioxydante. Ce déséquilibre peut être dû à : un déficit nutritionnel en antioxydants, une surproduction endogène ou une exposition environnementale à des facteurs pro-oxydants (Figure 7) (Collard, 2014).

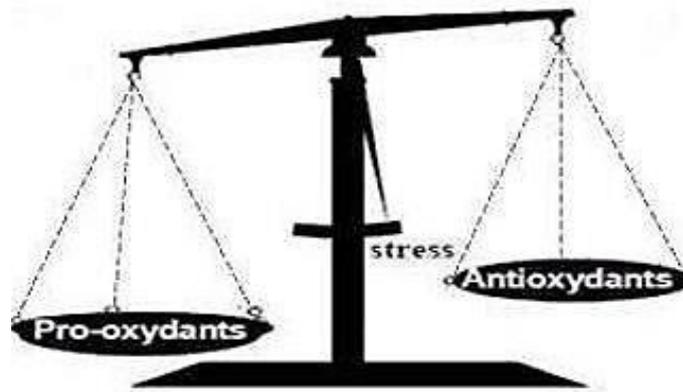


Figure 7 : Représentation de la balance d'équilibre entre les systèmes Pro-oxydant et antioxydants (Favier, 2006)

1.7. Les symptômes

Le stress oxydatif n'entraîne aucun symptôme officiellement reconnu, mais selon des études récentes, les signes peuvent causer la fatigue, les maux de tête, la sensibilité au bruit, les rides, les cheveux gris, les troubles de la vision, la diminution de l'immunité (Szalay, 2016), des taches brunes sur la peau, perte de mémoire, essoufflement rapide (Guerroudj et al., 2013).

1.8. Les pathologies

Le stress oxydatif peut être responsable de l'induction de plusieurs pathologies, à la fois chroniques et dégénératives, comme le cancer avec un défaut d'élimination de cellules cancéreuses, les maladies cardiovasculaires avec une atteinte de la paroi des vaisseaux sanguins ainsi que d'accélérer le processus de vieillissement corporel et de provoquer des pathologies aiguës comme les maladies inflammatoires car les ERO sont des acteurs essentiels dans la défense non liée aux anticorps (Tableau 2) (Baudin, 2020).

Tableau 2 : Représentation des différentes pathologies causées par les ERO (Cillard, 2011).

Pathologies chroniques :	Pathologies aiguës :
Athérosclérose	Inflammation
Cancer	Choc septique
Diabète	Lésion de reperfusion
Maladie d'Alzheimer	Post-ischémique (infarctus, AVC)
Viellissement	hyperoxygénation

2. Les systèmes de défense

Le corps humain est équipé d'une variété d'antioxydants divisés en 2 catégories : enzymatiques et non enzymatiques (**Esra et al., 2012**).

2.1. Les antioxydants enzymatiques

Les antioxydants enzymatiques (le superoxyde dismutase, la catalase, la glutathion peroxydase et la glutathion réductase) sont considérés comme la première ligne de défense de notre organisme contre les ROS (Figure 8) (**Haung et al., 2001**).

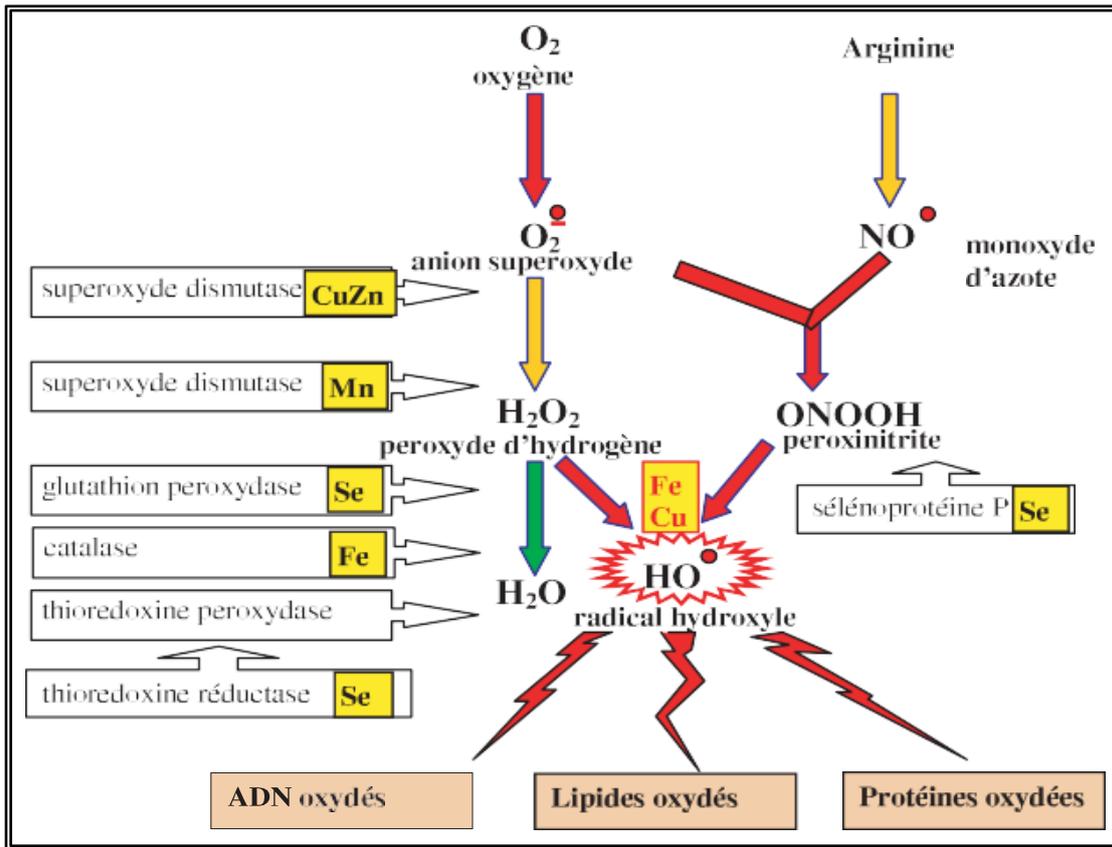


Figure 8 : Représentation de mode d'action des principaux systèmes enzymatiques antioxydants (Favier, 2003).

2.1.1. Le superoxyde dismutase (SOD) :

Les superoxydes dismutases (SOD) sont des métalloenzymes largement répandus dans cellules procaryotes et eucaryotes (Fridovich, 1995), elle catalyse la décomposition de l'anion superoxyde l' $O_2^{\bullet-}$ en peroxyde d'hydrogène H_2O_2 et en dioxygène (Wang et al., 2018).

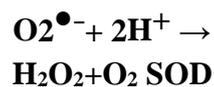


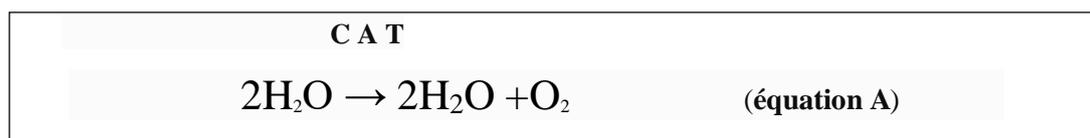
Tableau 3 : Représentation des trois espèces de l'enzyme SOD chez l'homme (**vives et al., 2007**).

SOD 1 CU / ZN-SOD	SOD 2 MN-SOD	SOD 3 EC-SOD
<ul style="list-style-type: none"> • Dimère contenant de cuivre et du zinc • Se trouve principalement dans le cytoplasme • Il joue un rôle important dans la survie et la croissance cellulaires. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tétramère contenant manganèse • Se situant dans la matrice mitochondriale. • Il joue un rôle dans la protection vis-à-vis des radicaux libre induits par l'hyperoxie 	<ul style="list-style-type: none"> • tétramère qui est comme la SOD1 comporte du cuivre et du zinc (CU/ZN-SOD) • Il est extracellulaire • Possède une forte affinité pour l'héparine et autre protéoglycannes de la matrice extracellulaire et de la membrane plasmique.

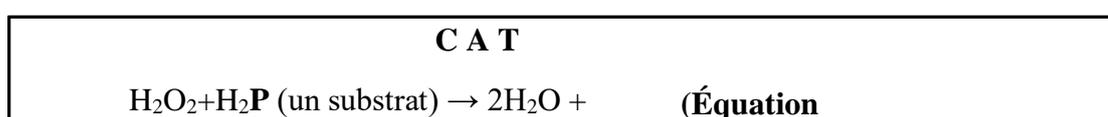
2.1.2. La catalase

C'est la première enzyme qui a été découverte chez l'animal et la plante, c'est une himnique composée de quatre chaînes polypeptidiques (**Buldak et al., 2014**).

La catalase est une enzyme intracellulaire, localisée principalement dans les peroxysomes de la plupart des cellules eucaryotes, elle est également responsable de l'élimination du peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (généralement produit par la SOD) par une transformation en eau et en oxygène moléculaire (équation A) (**Flora, 2009**). Elle est surtout présente au niveau des globules rouges et des hépatocytes (**Mates et al., 1999**).



La catalase peut également utiliser H_2O_2 pour détoxifier certaines substances toxiques via une réaction de peroxydase (équation B). Cette réaction nécessite un substrat tel que le



phénol(P), l'alcool ou l'acide formique (Julien et al., 2006).

2.1.3. Le système de glutathion

Le métabolisme du glutathion est l'un des plus importants mécanismes de défense oxydative (Flora, 2006), il inclut le glutathion réductase et le glutathion peroxydase qui sont présents dans le cytosol et dans les mitochondries (Mandal, 2012).

La glutathion peroxydase (GPx) agit en combinaison avec la SOD pour accélérer la transformation du H_2O_2 en H_2O et $\text{O}_2^{\bullet -}$ (Srinivason et al., 2012), Lors de cette réaction le GPx nécessite la présence de glutathion réduit (GSH) comme donneur d'électron, ce dernier réduit par la glutathion réductase (GR) qui utilise le NADPH comme donneur d'électron pour donner glutathion oxydé GSSG (Figure 9) (Agarwal et Prabakaran, 2005) .

Il existe aussi une glutathion peroxydase associée à la membrane mitochondriale, la phospholipide-hydroperoxyde glutathion peroxydase (PHGPx) qui est spécifiquement impliquée dans la réduction de la peroxydation lipidique (Mates et al., 1999).

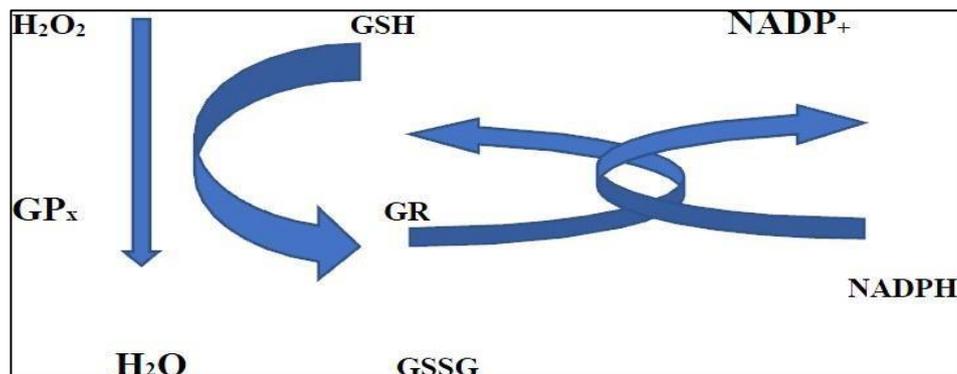


Figure 9 : Représentation de l'élimination du H_2O_2 par les réactions enzymatiques combinées de la GPx et de la GR (Servais, 2004).

GPX et CAT ont la même action sur H_2O_2 , mais GPX est plus efficace avec une concentration élevée de ROS et CAT a une action importante avec une concentration plus faible de H_2O_2 (Jenkins et Goldfarb, 1993 ; Antunes et al., 2002).

2.2. Les antioxydants non enzymatiques

Les recherches épidémiologiques suggèrent fortement que les aliments contenant des antioxydants ont un effet protecteur potentiel contre les troubles causés par les ROS (Block et

al., 1992).

2.2.1. La vitamine C

L'acide ascorbique ou La vitamine C considérée comme le plus important antioxydant dans les fluides extracellulaires (**boss et al., 2002**), en cas de stress oxydant elle agit en synergie avec la vitamine E (Tableau 4) exerçant un effet réducteur et antioxydant, piégeant les radicaux libres par la formation de radicaux ascorbyles et agissant comme un cofacteur enzymatique dans les cellules (**Carr et al., 1999 ; Padayatty et al., 2003**).

2.2.2. La vitamine E

La vitamine E est rassemblée à la famille des tocophérols (alpha, beta, gamma et delta) qui appartient à une classe d'antioxydants lipophiles.

La vitamine E joue un rôle protecteur contre le stress oxydant, elle élimine les radicaux lipo-peroxyde (Tableau 4) (**Jiang et al., 2001**), et protège l'homéostasie des cellules (**Schubert et al., 2018**).

2.2.3. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles colorés. Ils se trouvent dans les plantes, les champignons, les bactéries et les algues et sont présents dans de nombreux aliments, par exemple les fruits, les légumes et les poissons (**El-Agamey et al., 2004 ; Tapiero et al., 2004**).

Les effets bénéfiques des caroténoïdes dérivent principalement de leurs propriétés antioxydantes en tant que principal piègeur des ROS (**Stahl et Sies, 2005 ; Rao, 2007**), en particulier l'oxygène singulet et des radicaux lipidiques et pour réduire la peroxydation lipidique. La présence de doubles liaisons conjuguées permet à ces composés d'accepter des électrons d'espèces réactives, puis de neutraliser les radicaux libres (**Rutz et al., 2016**).

2.2.4. Le coenzyme Q10

CoQ10 est un coenzyme naturellement liposoluble qui réside dans les parties hydrophobes des membranes cellulaires des mammifères (**Marcoff et Thompson, 2007**).

Il agit en empêchant la formation de radicaux peroxydes (Tableau 4). Il neutralise les radicaux même après leur formation (Turunen et al., 2004). Cependant, CoQ10 agit comme un médiateur pour l'expression des gènes et la synthèse des protéines dans le muscle. Dans ce cas, le CoQ10 agit comme un pro-oxydant en donnant naissance à $O_2^{\bullet-}$ qui est converti en H_2O_2 par le SOD. H_2O_2 agit alors comme un second messager pour l'expression génétique (Linnane et al., 2002).

Tableau 4 : Représentation de la localisation et actions des principaux antioxydants non enzymatiques (Finaud et al., 2006).

Antioxydant	Localisation	Actions	Cibles
Vitamine E	Lipides / membranes cellulaires / mitochondries	inhibition de la peroxydation lipidique stabilisation de la membrane	ROOH 1O_2
Vitamine A (Carotenoids)	Lipides / membranes cellulaires	réduction de la peroxydation lipidique	1O_2 ROOH
Vitamine C	milieu aqueux / cytosol/liquides extracellulaires	régénération de la vitamine E protection LDL	$\bullet OH$ $O_2^{\bullet-}$
Coenzyme Q10	membrane interne des mitochondries	régénération de la Vitamine C et E / protection LDL	ROO \bullet

2.2.5. Les composés phénoliques

Les composés phénoliques sont les plus connus pour leurs propriétés antioxydants (Shama et al., 2015). Il existe de plus en plus de preuves de rôles bénéfiques des composés phénoliques végétaux naturels dans le corps humain (Pandey et al., 2009 ; Ross et al., 2002). Ils ont une activité antioxydante en tant que chélateurs et piègeurs de radicaux libres avec un impact spécial sur les radicaux hydroxyles et peroxydes, les anions superoxydes et les

peroxynitrites (Krimmel et al., 2010 ; Terpinc et al., 2011).

Les flavonoïdes sont les composés polyphénoliques les plus abondants contenus dans les végétaux. Ils sont capables de piéger les radicaux libres directement par don d'atomes d'hydrogène. Les radicaux sont rendus inactifs selon l'équation suivante, où R^\bullet est un radical libre et $FI-O^\bullet$ est un radical phénoxy flavonoïde le radical libre $FI-O^\bullet$ peut réagir avec un second radical, acquérant une structure quinone stable (Figure10) (Pietta, 2000).

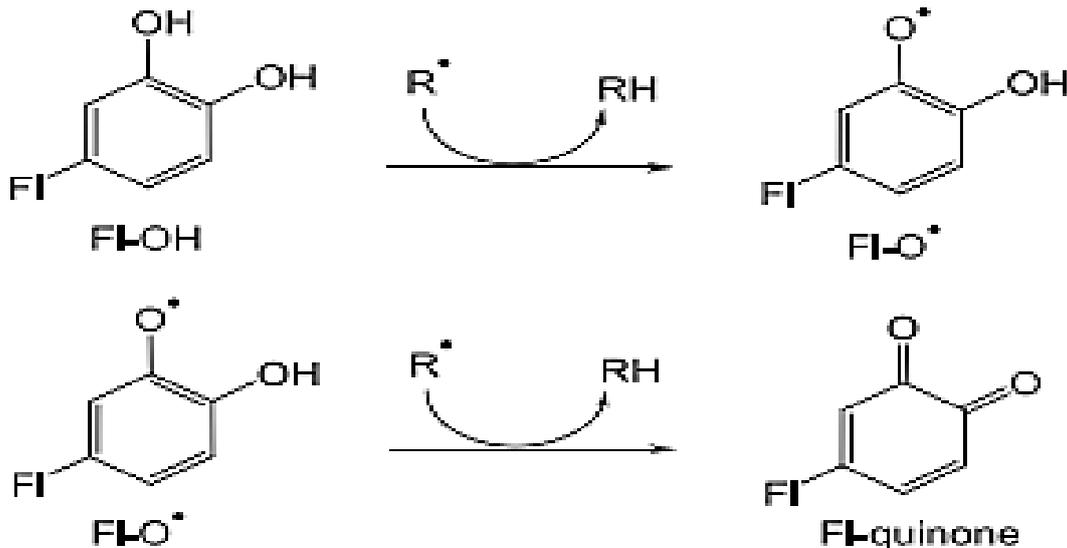


Figure 10 : Représentation de la récupération des espèces réactives de l'oxygène (R^\bullet) par les flavonoïdes (Pietta, 2000).

2.2.6. Les oligo-éléments

2.2..1.Le zinc

Est un nutriment essentiel pour la santé humaine et possède un stress anti-oxydant et des fonctions anti-inflammatoires. Il protège les cellules du stress oxydatif en augmentant la biosynthèse du glutathion (GSH) qui est responsable du maintien de l'état redox cellulaire (Cortese MM et al., 2008).

2.2..1.Le sélénium

Peut-être trouvé sous formes organiques et inorganiques dans le corps humain. Il n'agit pas directement sur les radicaux libres mais c'est un élément vital de la plupart des

enzymes antioxydantes qui n'auraient aucun effet sans lui (**Tabassum et al., 2010**).

2.2..1.Le cuivre

Est un micronutriment essentiel impliqué dans les processus vitaux fondamentaux qui sont conservés tout au long de toutes les formes de vie. La capacité du cuivre à catalyser les réactions d'oxydoréduction nécessite une régulation homéostatique stricte du cuivre dans le corps (**Denoyer et al., 2015**).

2.2..1.La bilirubine

Est un produit terminal de la dégradation de l'hème et résulte essentiellement du catabolisme de l'hémoglobine par les cellules du système réticuloendothéliale chez les mammifères. La bilirubine est capable de piéger des radicaux RO_2^\bullet et l^1O_2 , elle protège l'albumine et les acides gras liés à l'albumine des attaques radicalaires (**Neuzil et Stocker, 1993**).

**Chapitre II : Champignons
comme source d'antioxydants**

1. Généralités sur les champignons comestibles

Les champignons sont des organismes ubiquistes, occupants pratiquement tous les types d'écosystèmes terrestres et toutes les niches écologiques. Leur abondance et leur diversité sont particulièrement grandes dans les écosystèmes forestiers où ils sont présents dans le sol, l'humus et les organes des arbres, représentent un élément important de la biodiversité. Ils arrivent en deuxième position après les insectes selon le nombre d'espèces.

Environ 14 000 champignons ont été décrits, parmi lesquels environ 7 000 espèces sont considérées comme comestibles et plus de 2 000 sont considérées comme des champignons comestibles très prisés, dont environ 200 espèces ectomycorhiziennes (**Hawksworth, 2001 ; Wang et al., 2002**), certaines espèces sont par contre vénéneuses et mortelles, d'autres encore sont comestibles immédiatement après la récolte, mais deviennent toxiques après quelques jours (**Lambert, 2001**).

Les champignons comestibles font partie des produits forestiers non ligneux, exempts d'effets toxiques sur les humains et le goût et l'arôme souhaitables (**Mattila et al., 2000**), et sont considérés comme une source de nombreux bio-composés à haute valeur nutritive, écologique, pharmacologique et médicinale (**Singh et al., 2015**). On pense que les champignons médicinaux contiennent au total 126 effets thérapeutiques (**Wasser, 2010**), sont des agents anti tumoraux, antibactériens, antiviraux et hématologiques et dans les traitements immunomodulateurs (**Yang et al., 2002**).

Sur le plan nutritionnel, les champignons forestiers comestibles sont débordants de protéines, acides aminés, de glucides peu et non digestibles (fibres alimentaires), pauvres en lipides (**Ulziijargal et Mau, 2011**). De plus, ils contiennent des niveaux importants de vitamines (la thiamine, la riboflavine, l'acide ascorbique et la vitamine D2), ainsi que de minéraux (**Mattila et al., 2000**).

1.1. Les champignons dans les écosystèmes forestiers

Les champignons ou mycètes (du latin mucus/fugus, et du grec sphongos = éponge) (**Baker, 1989**), sont classés dans le règne des Fungi (**peter, 2005**).

Ce sont des organismes eucaryotes uni- ou pluri- cellulaires. D'un point de vue métabolique, les champignons jouent un rôle essentiel dans le recyclage des matières

organiques en puisant leur énergie à partir des sources carbonées externes (hétérotrophie) (**Carlile et Watkinson, 1994**). La grande majorité des champignons sont des organismes aérobies (**Carlile et Watkinson, 1994**).

Ils sont caractérisés ensuite par :

- Une paroi cellulaire constituée de plusieurs polysaccharides, notamment la chitine, des glycoprotéines, des glucanes, des lipides ainsi que des glucides comme le glucose, le mannose, le galactose et le tréhalose (**Ripert, 2013**).
- Leur appareil végétatif est composé de filaments ou hyphes et peuvent se reproduire de façon sexuée et/ou asexuée (**Alexopoulos et al., 1996**).
- La production de substances proches de celles fabriquées par notre organisme, d'où leur utilisation possible en pharmacologie.

1.1. Biologie des champignons

D'après (**Peter, 2005**), les champignons manquent la caractéristique principale des végétaux : Privés de chlorophylle, dépourvus de racines, de feuilles et de tiges, ils ont longtemps intrigué les scientifiques, qui les classent aujourd'hui dans un règne à part, distinct de celui des plantes ou des animaux : le règne fongique. Ils doivent donc assurer leur alimentation à partir d'autres organismes, en absorbant les substances nutritives du matériel organique dans lequel ils vivent. D'un point de vue microscopique le mycélium représente l'ensemble du réseau d'hyphes d'un même champignon, que l'on retrouve sous terre. Les champignons forestiers que l'on peut observer sur le sol sont en réalité la fructification du champignon, le carpophore (ou sporophore) contenant les spores prêtes à être disséminées dans l'environnement. Chaque cellule de l'hyphe peut contenir un noyau (monocaryotique), deux noyaux (dicaryotique) ou même plusieurs, ce qui les distingue des cellules animales et végétales (**Ripert, 2013**).

1.1. Modes de vie des champignons

Trois modes de vie peuvent être rencontrés : le saprophytisme, le parasitisme, la symbiose (Figure 11) (**Euzéby, 2008**).

Le mode de vie est indépendant de leur comestibilité, on trouve des champignons comestibles et toxiques dans ces trois catégories.

*Cantharellus**Agaricus bisporus**Termitomyces*

Figure 11 : Représentation de quelques exemples de champignons selon leur mode de vie (Boulmarka et laoufi, 2017).

1.1. Cycle de vie des champignons

Dans la nature, les champignons se multiplient en produisant des millions et des millions de spores. Lorsqu'un de ces spores atterrit dans un milieu favorable, il germe et se ramifie pour former un mycélium. Lorsque deux mycéliums compatibles sexuellement se rencontrent, ils fusionnent pour former un mycélium secondaire capable de produire des fructifications (Figure 12) (Peter, 2005).

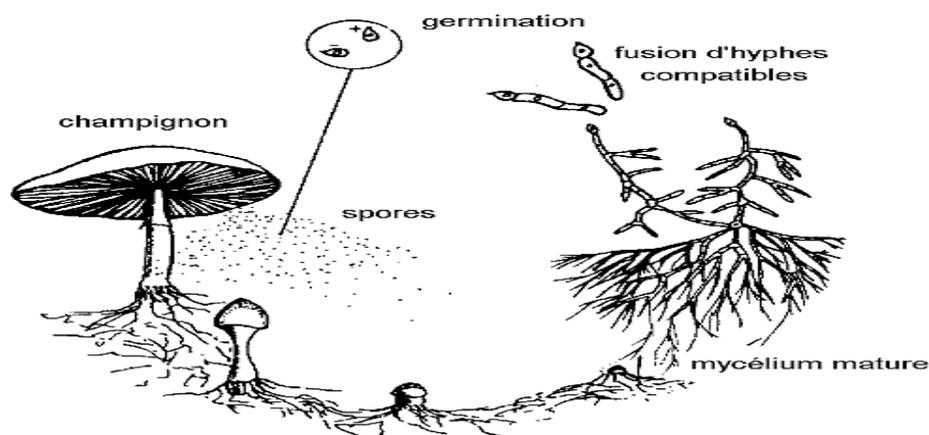


Figure 12 : Représentation du cycle de vie des champignons en milieu naturel (Peter, 2005).

1.1. Les champignons comestibles

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**), mais c'est en Chine où la consommation de champignons est d'abord vraisemblablement notée, plusieurs centaines d'années avant la naissance du Christ (**Aaronson, 2000**). Les chinois ont apprécié de nombreuses espèces, non seulement pour l'alimentation et le goût, mais aussi pour leurs propriétés médicinales. Ces valeurs et traditions sont encore fortement d'actualité aujourd'hui et sont confirmées par l'éventail varié des champignons cueillis dans les forêts et dans les champs et largement commercialisés (**Wang, 1987**). La Chine est aussi l'exportateur principal de champignons cultivés.

D'après **FAO (2006)**, les champignons sont un groupe distinct d'organismes qui incluent des espèces avec des grands corps et des sporophores visibles (des macrochampignons ou macromycètes). Les meilleurs exemples connus de macrochampignons sont les champignons avec leur mycélium. Ils ont un chapeau et une tige et se trouvent fréquemment dans les champs et les forêts. La plupart sont simplement non comestibles, mais il y a des exemples notables qui peuvent être consommés. Le nombre d'espèces vénéneuses est relativement faible tandis que ceux qui sont mortels appartiennent à une minorité marginale. Les champignons comestibles les plus familiers sont ceux qui sont cultivés et vendus frais et en conserve dans les magasins.

Les champignons ont aussi des propriétés médicinales, dont certaines sont trouvées dans des espèces comestibles. Ils sont utiles et contribuent au régime alimentaire, au revenu à la santé.

Les champignons comestibles sont importants pour trois raisons principales :

- Comme source d'alimentation (plus les bénéfices thérapeutiques).
- Comme source de revenus.
- Pour maintenir la constitution saine des forêts.

Tableau 5 : Représentation d'informations sur quelque espèces de champignons comestibles (Filipa S.et al, 2012).

Nom scientifique (espèces)	Nom anglais/ Nom local	N° D'espèces Utilisation et propriétés	Utilisation
<i>Lentinula edodes</i>	Shiitake/Shiitake	(3) alimentation (2) comestible (1) Med (1)	Soupes, sauces et salades. Peut être préparé de la même manière que la viande.
<i>Agaricus bisporus</i>	Champignon blanc / Champignon	(60) alimentation (43) comestible (17), Med (6)	Soupes, sauces, sautés ou en salades.
<i>Agaricus bisporus</i>	Champignon brun / Portobello	(60) alimentation (43) comestible (17), med (6).	Soupes, sauces, fritures ou en salades.
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Oyster mushroom / Repolga	(40) alimentation (22) comestible (18), med (7)	Soupes, dans des recettes sautées avec sauce soja ou mangé farci.
<i>Pleurotus eryngii</i>	King oyster mushroom/Eryngii	(40) alimentation (22) comestible (18), med (7).	Plats végétariens (consommés frais). Servi sauté, grillé, braisé, cuit ou bouilli.

2. Les champignons comme source d'antioxydants :

Les champignons comestibles contiennent de grandes quantités de mycochimiques qui possèdent des propriétés antioxydantes et jouent un rôle important dans la prévention et le traitement de ces maladies chroniques. Ils ont une forte capacité d'élimination des radicaux libres et sont inclus dans diverses bio-activités et avantages pour la santé (Islam et al., 2019).

2.1. Les polyphénols

Les composés phénoliques sont des composés hydroxylés aromatiques, contenant un ou plusieurs cycles aromatiques avec un ou plusieurs groupes hydroxyles.

On les trouve généralement dans les légumes, les fruits et de nombreuses sources alimentaires qui constituent une partie importante de notre alimentation, et dont certains sont parmi les substances thérapeutiques les plus actives et les plus bénéfiques sur le plan biologique (Apak et al, 2007).

Ils comprennent différentes sous-classes (Figure 13) (les acides phénoliques, les flavonoïdes, les lignanes, les tanins, les stilbènes et les polyphénols oxydés) (D'Archivio et al., 2010).

En plus de cette diversité, la plupart des polyphénols sont présents dans les aliments sous forme d'esters, de glycosides ou de polymères. Ces substances ne peuvent pas être absorbées sous leur forme d'origine et doivent être dégradées par les enzymes intestinales ou par la microflore colique avant l'absorption.

Au cours de l'absorption, les polyphénols sont conjugués et ce processus consiste principalement la méthylation, la sulfatation et la glucuronidation.

Les polyphénols circulants sont des dérivés conjugués étroitement apparentés à l'albumine (Manach et al., 2004). Les métabolites non conjugués sont généralement absents du sang ou présents en faibles concentrations (Kuntz et al., 1999).

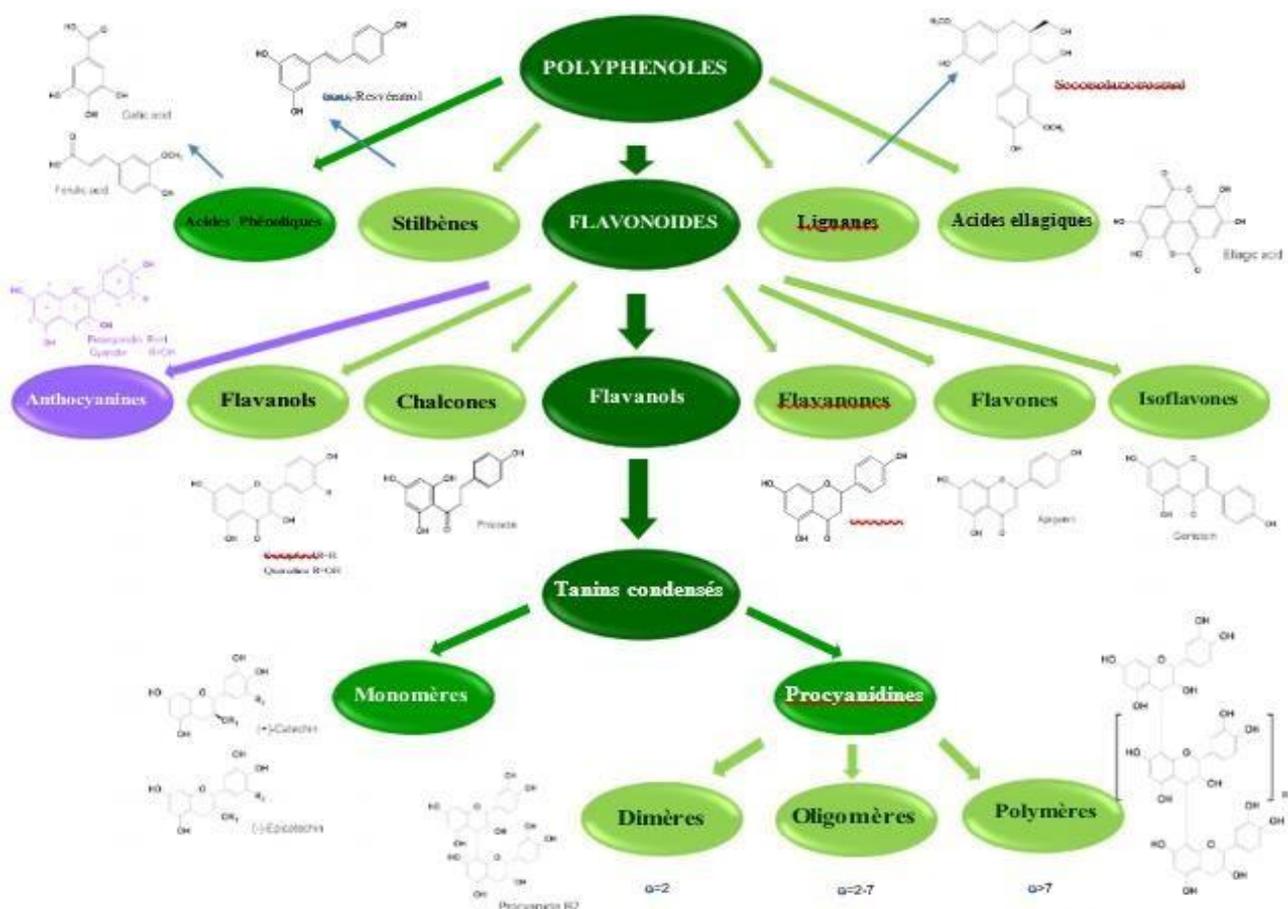


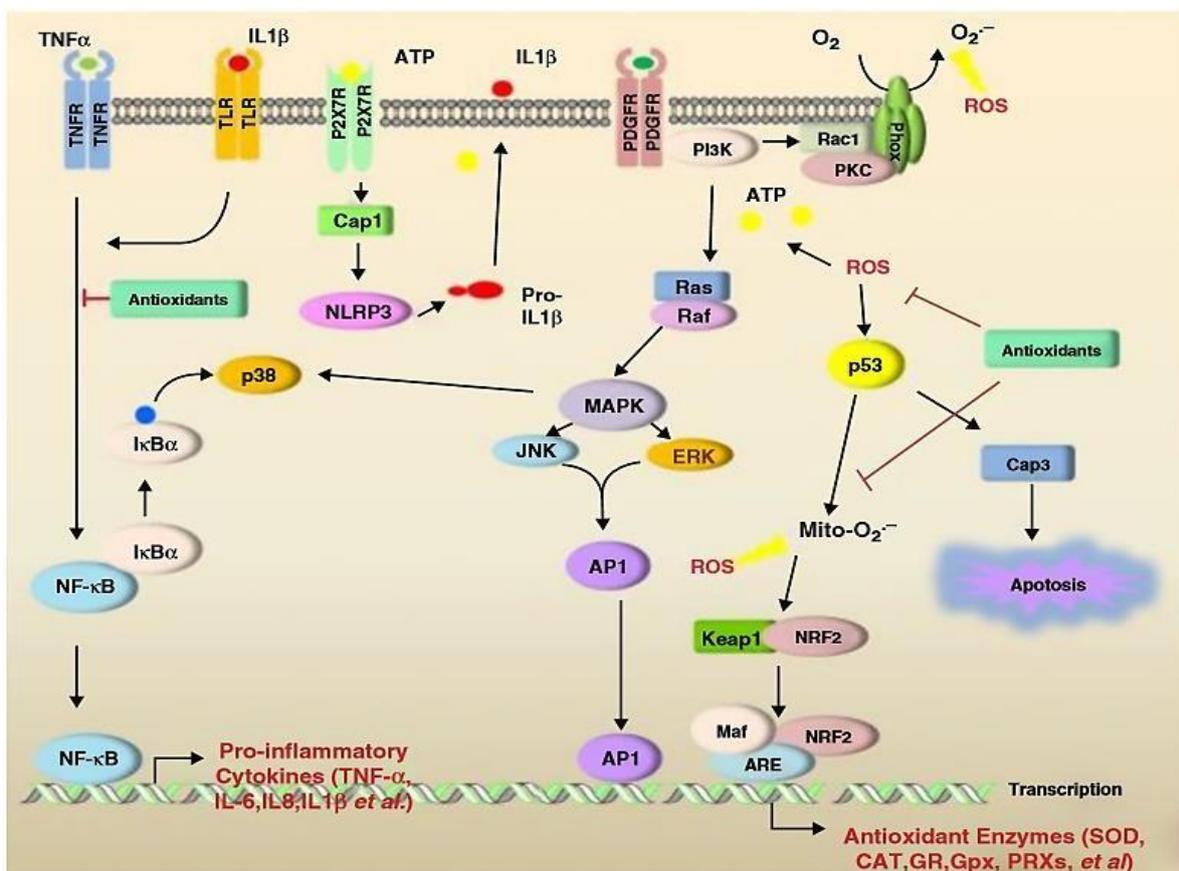
Figure 13 : Représentation de la classification schématique des polyphénols, y compris les acides phénoliques, les flavonoïdes et autres polyphénols (**Zhang et Sao, 2016**).

Les polyphénols présentent une activité antioxydante dans les systèmes biologiques, agissant comme des inhibiteurs des radicaux libres en favorisant la capacité antioxydante endogène via l'activation de la voie Nrf / ARE (**Figure 14**) (**Finley et al., 2011 ; Scalbert et al., 2005**).

Certains d'autres inhibent les décomposeurs de peroxyde, les inactivateurs des métaux ou les capteurs d'oxygène (**Dziezak, 1986**).

Figure 14 : Représentation des transductions de signalisation moléculaire régulées par ROS (Finley et al., 2011).

Les ROS diffusés dans la cellule ou éclatés des mitochondries stimulent les activations des MAPK, des voies NF- κ B ainsi que des voies associées à Nrf2. La dissociation de Nrf2



entraîne la transcription d'enzymes antioxydantes, telles que la glutathion peroxydase (GPx), le superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), l'hème oxygénase-1 (HO-1) et la libération de glutathion antioxydant endogène (GSH). Les antioxydants endogènes et exogènes peuvent directement piéger les ROS en atténuant ainsi le stress oxydatif **(Bhattacharyya et al., 2014)**.

Les flèches indiquent l'activation, tandis que les lignes perpendiculaires indiquent l'inhibition.

En plus des propriétés antioxydantes, les polyphénols ont une capacité pro-oxydante basée sur la structure spécifique du polyphénol et le contexte d'oxydation cellulaire qui peut inclure des niveaux accrus de protéines absorbant les oxydants ou des niveaux réduits de protéines et lipides oxydés **(Davenport et al., 2014)**. En tant qu'antioxydants, les polyphénols peuvent améliorer la survie cellulaire, en tant que pro oxydants, ils peuvent induire l'apoptose et empêcher la croissance tumorale, et lutter contre les infections bactériennes et virales par des dommages oxydatifs directs ou par une variété de mécanismes innés et adaptatifs **(Scalbert et al., 2005 ; Paiva et al., 2014)**.

Les champignons sont riches en composés phénoliques, parmi lesquels le pyrogallol, lamyricétine, l'acide caféique, la quercétine et la catéchine. Les champignons contiennent de grandes quantités de polyphénols à des concentrations de l'ordre de 3,62 à 6,25 mg / ml **(Barros et al., 2008)**.

Les acides phénoliques sont les principaux composés présents dans les champignons. Ils peuvent être divisés en deux groupes principaux, les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques, respectivement dérivés de molécules non phénoliques, d'acide benzoïque et cinnamique **(Liu, 2004)**. Les dérivés d'acide benzoïque les plus répandus trouvés dans les champignons seraient le p-hydroxybenzoïque, le protocatechuïque, le gauloïque, le gentisique, l'homogentisique, le vanillique, le 5-sulfosalicylique, le syringique, le vératrique, la vanilline **(Ferreira et al., 2009)**. La majorité des dérivés identifiés de l'acide cinnamique dans les champignons sont : p-coumarique, o-coumarique, caféique, férulique, sinapique, 3-o-caféoylquinique, 4-o-caféoylquinique, 5-o-caféoylquinique. Par ailleurs, la présence d'acides ellagiques et tanniques est observée **(Ferreira et al., 2009)**.

➤ Les flavonoïdes

En général, on suppose que seules les plantes ont le potentiel de biosynthèse pour

produire des flavonoïdes et non les animaux et les champignons. Cependant, la présence de flavonoïdes dans divers champignons comestibles a été rapportée, par exemple : la myricétine, la chrysine, la catéchine, l'hespérétine, la naringénine, la naringine, la formométine, la biochanine, le pyrogallol, le resvératrol, la quercétine, la rutine, le kaempférol (**Ferreira et al., 2009**).

Les flavonoïdes comprennent un grand groupe de composés phénoliques possédant une activité antioxydante, qui se produisent naturellement dans les plantes et se trouvent dans les fruits, les légumes, les grains, les écorces, les racines, les tiges, les fleurs et les produits dérivés tels que le thé et le vin. Ces composés ont été combinés pour démunir le risque de maladies chroniques majeures (**Liu, 2004**). Ils sont caractérisés par le squelette carboné C6 – C3 – C6. La structure de base de ces composés se compose de deux cycles aromatiques (cycles A et B)

Liés par une chaîne à trois atomes de carbone qui se trouve généralement dans un cycle hétérocyclique oxygéné, ou cycle C (Figure 13) (Iwashina, 2000).

Plusieurs mécanismes ont été déterminés comme étant impliqués dans les effets bénéfiques pour la santé des flavonoïdes, notamment les activités antioxydantes, anti-inflammatoires et anti-prolifératives, l'inhibition des enzymes bioactives ou l'induction des enzymes détoxifiantes (Le Marchand, 2002). La propriété antioxydante des flavonoïdes a été le premier mécanisme d'action étudié, notamment en ce qui concerne leur effet protecteur contre les maladies cardiovasculaires. Il a été démontré que les flavonoïdes sont des capteurs très efficaces de la plupart des types de molécules oxydantes, y compris l'oxygène singulet et divers radicaux libres, qui peuvent être inclus dans les dommages à l'ADN et l'amélioration des tumeurs (Wright et al., 2001).

Tableau 6 : Représentation de la teneur en flavonoïdes dans certains champignons comestibles (Hussein et al., 2015 ; Barros et al., 2008).

Champignon	Teneur en flavonoïdes $\mu\text{mol QE} / \text{g DW}$	Référence
<i>Lentinus</i> <i>Squarrosulus</i>	$25,62 \pm 1,78$	(Hussein et al., 2015)
<i>Agaricus</i> <i>Silvaticus</i>	3.40 ± 0.01	(Barros et al., 2008)
<i>Marasmius</i> <i>Oreades</i>	2.26 ± 0.18	

2.1. Les polysaccharides

Le glucane est le polysaccharide idéal pour le D-glucose lié aux liaisons glycosidiques, ce qui lui permet d'être classé comme α -ou β -glucanes. Les α -glucanes sont spécialement trouvés pour stocker le glucose comme l'amidon, le glycogène et le dextrane. Le β -glucane est un polysaccharide non amylicé composé de molécules de D-glucose liées à la β liées les unes aux autres par 1 à 3 chaînes glycosidiques avec 1 à 6 branches glycosidiques.

Les propriétés physico-chimiques des β -glucanes varient selon les caractéristiques de leur structure primaire, en particulier le type de liaison, le degré de ramification, le poids moléculaire et la conformation (exemple : triple hélice, hélice simple et structures de bobines

aléatoires) (Tada et al., 2008 ; Vetvicka, 2007). Le β -glucane est l'un des principaux composants de la paroi cellulaire fongique.

Ainsi, les propriétés antioxydantes des champignons sont principalement attribuées aux β -glucanes (Kozarski et al., 2015). Les β -glycanes des différents champignons peuvent être absorbés par les cellules M des plaques de Peyer et / ou interagir avec les cellules dendritiques (DC) dans l'intestin grêle pour stimuler les réponses de l'organisme systémique (Batbayar et al., 2012 ; Vos et al., 2007).

Selon Trznadel et al (Trznadel et al., 1990). Une augmentation du superoxyde dismutase a été signalée lorsque la levure commerciale β -glucane a été administrée à des patients urémiques chroniques. Le superoxyde dismutase est l'une de nos principales enzymes antioxydantes qui combattent les radicaux libres. La longueur et les branches du β -glucane fongique pour différents champignons varient considérablement (Ruiz-Herrera, 2012).

Les polysaccharides et les glycoconjugués de champignons peuvent être avantageux pour fabriquer de nouveaux médicaments naturels ou compléments alimentaires et sont efficace pour prévenir et traiter les troubles associés au stress oxydatif. Les ROS sont produits dans le tractus gastro-intestinal. Malgré la barrière protectrice fournie par la muqueuse, les substances ingérés et les agents pathogènes microbiens peuvent provoquer des dommages oxydatifs et des réponses inflammatoires gastro-intestinales qui incluent l'épithélium et les cellules immunitaires / inflammatoires. Les fortes capacités antioxydantes des polysaccharides dans les champignons comestibles peuvent accélérer la peroxydation lipidique (Klaus et al., 2011 ; Kozarski et al., 2014), et provoquer diverses maladies gastro-intestinales, notamment les ulcères gastro-duodénaux (Cipriani et al., 2006), les cancers gastro-intestinaux (Batbayar et al., 2012) et les maladies inflammatoires de l'intestin causée par le stress oxydatif (Bhattacharyya et al., 2014).

La capacité des molécules de polysaccharides à retenir les radicaux libres peut être adaptée par la présence d'hydrogène de certaines unités monosaccharides spécifiques et le type de leur liaison dans les branches latérales de la chaîne principale (Lo et al., 2011 ; Tsiapali et al., 2001). L'activité antioxydante accrue des polymères par rapport à la forme monomère peut être due à la plus grande facilité d'abstraction de l'hydrogène anomère de l'une des unités monosaccharides internes plutôt que de l'extrémité réductrice (Tsiapali et al., 2001).

2.2. Les vitamines

2.2.1. La vitamine C

L'acide ascorbique est un composé cristallisé, une poudre blanche, inodore et de saveur acide. Il est très hydrosoluble, peu soluble dans l'alcool et insoluble dans l'éther et le chloroforme (Munnich et al., 1987). Il s'oxyde facilement sous sa forme ionisée il est donc difficile à formuler (Figure 15) (Stamford, 2012).

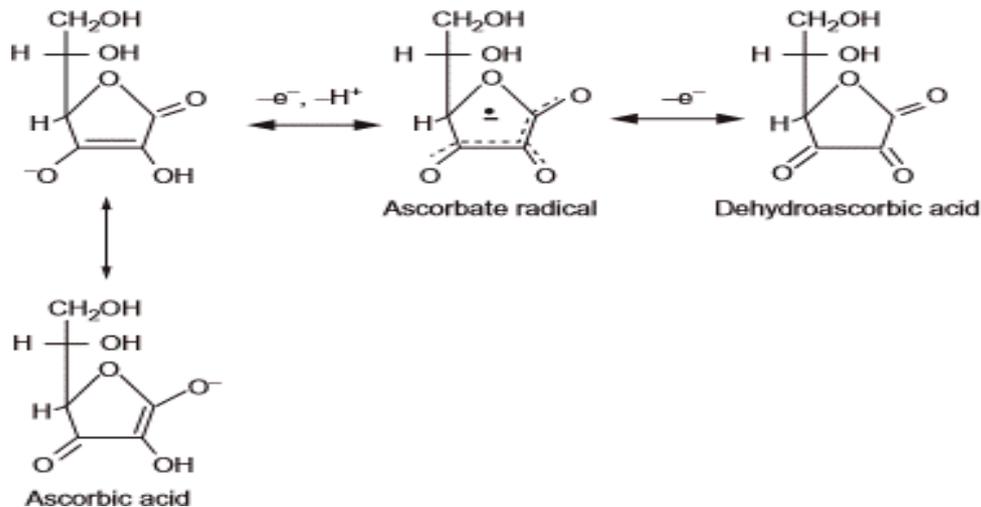


Figure 15 : Représentation des trois états de la vitamine C (Stamford, 2012).

L'acide ascorbique réduit existe au pH physiologique de 7,4 sous forme d'anion acide ascorbique. Le radical acide ascorbique résulte de la perte d'un électron et est une espèce radicalaire stable, indiquée par le point. L'acide déhydroascorbique résulte de la perte d'un autre électron et est la forme oxydée de la vitamine C, qui peut être recyclée en acide ascorbique par réduction par le glutathion éorglutathion en utilisant des enzymes.

Plusieurs champignons contiennent de la vitamine C. Parmi eux : *Boletus edulis*, *B. pseudosulphureus*, *Lactarius deliciosus*, *Pleurotus ostratus*, *Suillus luteus*, entre autres. Ramesh et Pattar (Ramesh et Pattar, 2010) ont rapporté que les champignons contiennent de la vitamine C à des concentrations comprises entre 0,15 et 0,06 mg de vitC / ml.

La vitamine C grâce à ses propriétés antioxydantes, intervient dans l'organisme contre les radicaux libres qui jouent un rôle dans l'initiation et la promotion du processus néoplasique, aussi dans le métabolisme de l'histamine et du fer. L'Acide ascorbique est impliqué aussi dans la formation de la carnitine, des catécholamines et dans le catabolisme de la phénylalanine et de la tyrosine (Munnich et al. 1987). Effectivement, plusieurs études

Chapitre II champignons comme source d'antioxydants

rapportent une action protectrice de la consommation de la vitamine C sur l'incidence des cancers, parmi ceux de la cavité buccale, du pharynx, de l'œsophage, de l'estomac et du pancréas (**CARR et FREI, 1999 ; Block, 1992**). En fait, l'application de vitamine C est fréquemment envisagée dans le traitement des brûlés graves. Alors qu'un aperçu de l'influence de la vitamine C sur le dysfonctionnement des organes est résumé dans le (**Tableau 7**).

Tableau 7 : Représentation du résumé de l'influence de la vitamine C sur les systèmes organiques (**Aileen et al., 2018**).

Système d'organes	Influence de la vitamine C
Système Nerveux	Des niveaux élevés protègent les neurones des dommages oxydatifs Réduit le volume de l'infarctus après une ischémie
Système cardiovasculaire	Atténue les dommages myocardiques et améliore l'étourdissement myocardique Réduit la demande des vasopresseurs Réduit le taux de fibrillation auriculaire Améliore la fonction endothéliale
Système respiratoire	Réduit le temps d'intubation Diminue le risque de pneumonie et d'inflammation alvéolaire
Système rénal	Réduit la demande de liquide et augmente la production d'urine
Système digestif	Atténue la toxicité des médicaments, diminue la réaction inflammatoire Réduit l'infiltration des neutrophiles Réduit l'expression des gènes liés à l'apoptose
Système de Coagulation	Restaure la fonction plaquettaire et diminue l'obstruction capillaire Atténue une chute de thrombocytes induite par une septicémie
Système immunitaire	Inhibe la croissance bactérienne, améliore la destruction microbienne Soutient la fonction de barrière endothéliale et favorise l'élimination des antioxydants

Des interactions coopératives existent entre la vitamine C et la vitamine E. Elles interagissent en synergie à l'interface membrane-cytosol pour régénérer la vitamine E oxydée liée à la membrane (**Li et al., 2007**). En tant qu'antioxydant lipophile, la vitamine E peut interagir avec les composants lipidiques des systèmes vasculaires, surtout les LDL, et les protège des changements oxydatives athérogènes (**Burton et al., 1986**). Par contre, les tocophérols liés aux lipides peuvent être oxydés par des radicaux en phase aqueuse et transformés en radicaux réactifs de tocophérol, qui à leur tour, réagissent avec les lipides

Chapitre II champignons comme source d'antioxydants

C'est un antioxydant naturel important dans les aliments, en particulier ceux riches en acides gras polyinsaturés. En raison de son rôle de piègeur de radicaux libres, la vitamine E est également censée protéger notre corps contre les dysfonctionnements dégénératifs, principalement le cancer et les maladies cardiovasculaires (**Blokhina et al., 2003 ; Burton et al., 1990**).

La vitamine E réagit avec les radicaux peroxydes produits à partir d'acides gras polyinsaturés dans les phospholipides membranaires ou les lipoprotéines pour donner un hydroperoxydelipidique stable. Ils agissent comme antioxydants en faisant don d'un atome d'hydrogène aux radicaux peroxyde des molécules lipidiques insaturées, formant un hydroperoxyde et un radical tocophéroxyle, qui réagit avec d'autres radicaux peroxyde ou tocophéroxyle formant des adduits plus stables (**Lampi et al., 1999**). 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 ; Grangeia et al., 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), etc., la teneur en tocophérols des champignons comestibles est mesurée entre 0,02 et 200 µg / 100 g DW (**Barros et al., 2008 ; Grangeia et al., 2011**).

Tableau 8 : Représentation des tocophérols déterminés dans les champignons comestibles (**Barros et al., 2008 ; Reis et al., 2011**).

Espèce	Teneur en tocopherol (µg/100 g)
<i>Agaricus bisporus</i>	2,41 ± 0,05
<i>Lentinula edodes</i>	1.83± 0.10
<i>Pleurotus ostreatus</i>	3.72± 0.29

2.2.3. La vitamine D

La vitamine D est le nom collégial du cholécalciférol (vitamine D3) et de l'ergocalciférol (vitamine D2), qui sont des précurseurs d'hormones qui exercent un rôle essentiel dans la régulation du métabolisme du calcium et des phosphates (**Kulda, 2012**). Ses

impacts directs sur les ostéoblastes et les ostéoclastes et son interaction avec les tissus non squelettiques usent à garder un équilibre entre le renouvellement osseux et la croissance osseuse (**Hou et al., 2018**). Elle est fabriquée dans la peau ou absorbée par l'alimentation (**Goltzman, 2018**). Ces deux précurseurs sont métabolisés dans le foie en 25-hydroxyvitamine D et plus loin dans le rein en la forme biologiquement active, la 1,25-dihydroxyvitamine D. La concentration sérique de 25-hydroxyvitamine D est un bon prédicteur du statut en vitamine D chez l'homme (**Outila et al., 1999**).

La vitamine D3 d'origine animale et la vitamine D2 provient principalement des champignons et des levures (**Phillips et al., 2012**). Certains champignons contiennent de l'ergostérol, qui est le précurseur de la vitamine D. Dans les champignons, l'ergostérol est transformé en vitamine D2 (ergocalciférol) lorsqu'il est exposé aux rayons UV. Donc la vitamine D2 est la seule source nutritionnelle disponible de vitamine D pour ceux qui ne consomment pas de produits d'origine animale. La vitamine D est importante pour la santé osseuse (**Thacher et Clarke, 2011**). La teneur en vitamine D2 est disponible à partir de champignons, cultivés ou récoltés à l'état sauvage, elle varie considérablement avec et au sein des divers espèces et selon le stade de développement (**Mattila et al., 1994 ; Shao et al., 2010**). Les changements de climat, d'habitat et de degré de l'altitude capable de maintenir une modification du contenu en ergocalciférol des champignons (**Mattila et al., 1994**). Outila et al (**Outila et al., 1999**). Il a été démontré pour la première fois que l'ergocalciférol était bien absorbé chez l'homme par les champignons comestibles sauvages lyophilisés et homogénéisés.

La vitamine D3 et D2, son métabolite actif, le 1,25-dihydroxycholécalférol ainsi que le 7- déhydrocholestérol (pro-vitamine D3), sont des antioxydants membranaires et inhibent la peroxydation lipidique liposomique dépendante du fer (**Wiseman, 1993**). La base structurelle de la capacité antioxydante de ces composés de vitamine D est considérée en termes de leur relation moléculaire avec le cholestérol et l'ergostérol (**Wiseman, 1993**).

La vitamine D exerce un rôle important dans la croissance et la minéralisation osseuses. La 1,25(OH)₂D (calcitriol), forme active de la vitamine D, est impliqué dans l'homéostasie phosphocalcique en agissant sur les parathyroïdes, les reins et l'intestin. La calcémie est contrôlée dans une fourchette très étroite. Un manque de calcium dans le sang active la production de parathormone qui à son tour stimule le calcitriol pour augmenter l'absorption intestinale de calcium. Par contre, la 1,25(OH)₂D et la 25(OH)D effectuent une action inhibitrice sur la sécrétion de parathormone. Ainsi, une carence profonde en vitamine D

peut conduire à des défauts de minéralisation osseuse observés dans le rachitisme et l'ostéomalacie (**Briot et al., 2009**).

De nombreux tissus expriment les récepteurs à vitamine D (VDR) et la 1- α -hydroxylase : la 25(OH)D peut ainsi être localement convertie en 1,25(OH)₂D (calcitriol) qui contrôle l'expression de plusieurs centaines de gènes. Cette action serait à la base des actions non phosphocalciques attribuées à la vitamine D : différenciation et prolifération cellulaires, apoptose, angiogénèse, etc. Cependant, le rôle exact du calcitriol sur les différents tissus et ses conséquences physiologiques doivent encore être clarifiés (**Briot et al., 2009 ; Holick, 2009 ; Ross et al., 2011**).

Tableau 9 : Représentation de certains aliments naturels riches en vitamine D
(**Ross et al., 2011**).

Aliment	Quantité (g)	Teneur en vitamine D (UI)
Champignons shiitaké secs	100	1600
Beurre	100	50

2.2.4. Les caroténoïdes

Le β -carotène et le lycopène sont des caroténoïdes, qui sont des pigments naturels présents dans les aliments (par exemple les légumes, les fruits et les champignons) qui sont fabriqués par des plantes et des micro-organismes mais pas par des animaux. Le β -carotène est le précurseur de la digeste de la vitamine A. Le lycopène est un isomère acyclique du β -carotène et n'a aucune activité en vitamine A. Il s'agit d'un hydrocarbure à chaîne droite hautement insaturé possédant des doubles liaisons conjuguées et non conjuguées, ce qui en fait un puissant antioxydant (Figure 17) (**Rao et Agarwal, 1999 ; Mueller et Boehm, 2011**).

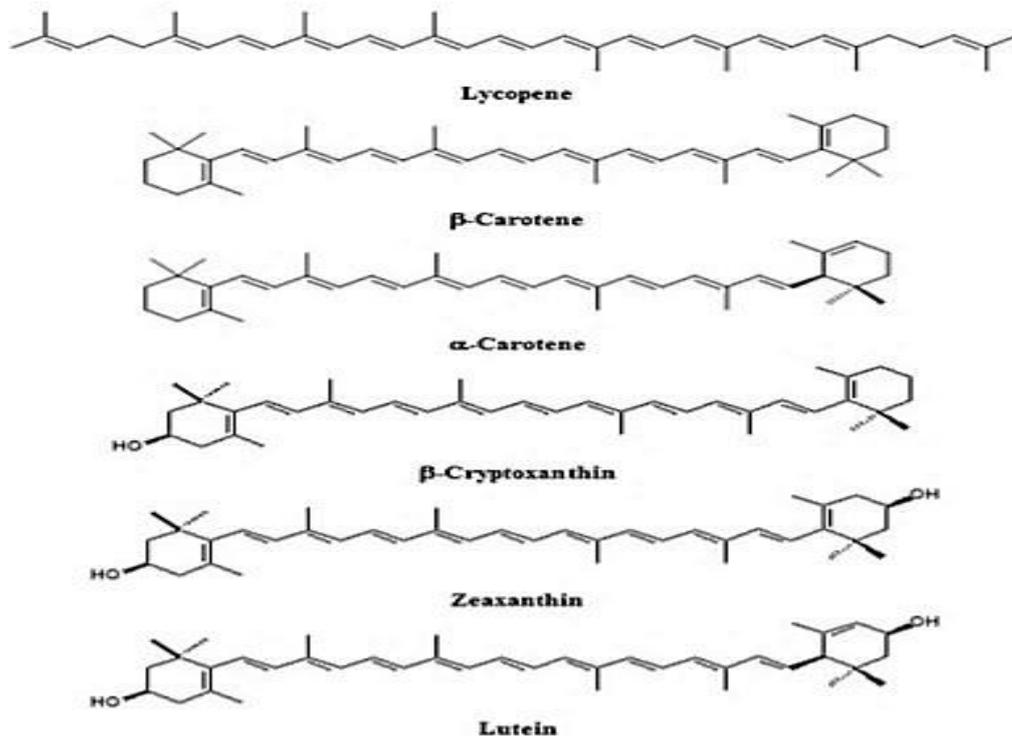


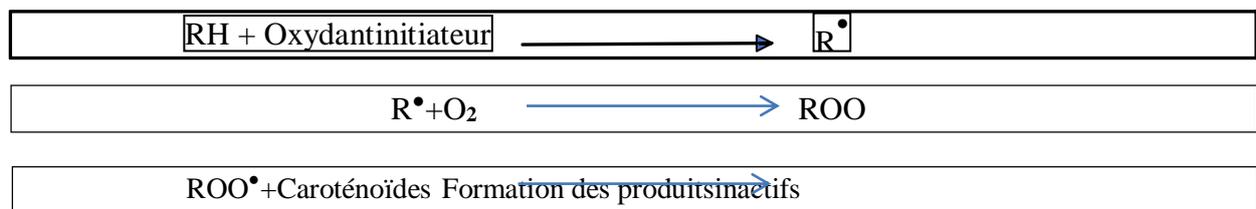
Figure 17 : Représentation des structures chimiques des tocophérols et des tocotriénols (Mueller et Boehm, 2011).

En particulier, le β -carotène et la lutéine se trouvent dans de nombreuses espèces de champignons (Ferreira et al., 2009 ; Kozarski et al., 2015 ; Pilz et al., 2003). Les caroténoïdes trouvés dans le *Cantharellus cinnabarinus* rose-rouge et le *Cantharellus friesii* orange sont composés presque entièrement de canthaxanthine, un pigment également présent dans le saumon (Pilz et al., 2003). Cela pourrait justifier l'utilisation des chanterelles par les herboristes chinois dans le traitement de la cécité nocturne (Pilz et al., 2003). La canthaxanthine protégerait les tissus humains des dommages oxydatifs et est vendue comme antioxydant (Pilz et al., 2003).

On pense que les caroténoïdes sont responsables des propriétés bénéfiques de la prévention des maladies humaines, notamment les maladies cardiovasculaires, le cancer et d'autres maladies chroniques (Paiva et al., 1999). Ce sont des sources alimentaires importantes de vitamine A, car le carotène, le carotène et la cryptoxanthine peuvent agir comme une préparation de provitamine A (Liu, 2004).

Ces dernières années, ces propriétés antioxydantes ont été au centre des recherches. Les caroténoïdes peuvent interagir avec les radicaux libres et devenir eux-mêmes des radicaux. Ils agissent comme un antioxydant à rupture de chaîne dans un environnement

lipidique, en particulier sous de faibles pressions partielles d'oxygène (Rao et al., 2007; Burton et al., 1984). Les radicaux peroxy (ROO^\bullet) constitués de graisses (en particulier les phospholipides polyinsaturés) sont très nocifs pour les cellules. Les systèmes de doubles liaisons extensifs rendent les caroténoïdes vulnérables aux attaques des radicaux peroxy, conduisant à la formation de produits inactifs (Chew, 1995).



2.3. Les oligo-éléments

Les champignons sont généralement capables de synthétiser des oligo-éléments puis de devenir leur source dans la chaîne alimentaire (Radulescu et al., 2010 ; Falandysz et Borovicka, 2013). Les oligo-éléments Zn, Cu, Mn et Fe sont des enzymes qui ont des fonctions antioxydantes et sont classées comme micronutriments antioxydants (Bhattacharyya et al., 2014).

Se l'est un antioxydant majeur sous forme de sélénoprotéines qui réduisent les effets cytotoxiques des ROS. La GPx et la sélénoprotéine-P sont les composés dominants dans le sang (Falandysz et Borovicka, 2013). Chez les champignons, nombreux imposés de Se ont été déterminés, spécialement la sélénométhionine, la sélénocystéine, la Se-méthylsélénocystéine, le sélénite et les sélénopolysaccharidecos (Turlo et al., 2011 ; Milovanovic et al., 2015). Les facteurs affectant la bioaccumulation des oligo-éléments dans les champignons et l'importance biologique du processus d'accumulation lui-même sont mal connus. Cependant, les fondamentaux suivants ont été identifiées : les facteurs naturels (base géochimique), les régions minérales et la pollution de l'environnement, l'environnement fongique, la bioaccumulation d'oligo-éléments dans les corps fruitiers est très précis : certains macrofunges sont capables d'accumuler des éléments beaucoup plus efficacement que d'autres, le processus d'accumulation est très spécifique aux éléments, les macrofunges peuvent être distingués des éléments ayant des caractéristiques et un comportement chimique similaires (homologues) (Falandysz et Borovicka, 2013 ; Vunduk et al., 2014). Il est connu que de nombreux types de champignons comestibles accumulent des niveaux élevés de métaux lourds, en particuliers le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) (Stihi et al., 2011;

Mironczuk-Chodakowska et al., 2013).

Tableau 10 : Représentation de la teneur habituelle des oligo-éléments (mg/kg-1DM) dans les corps fruitiers des champignons comestibles provenant des zones non polluées (Kala et al., 2012 ; Nitschke et al., 2011 ; Vetter, 2010).

Élément	Accumulateurs	Contenu
Zinc	<i>Calvatia utriformis, Lycoperdon perlatum</i>	25 - 200
Sélénium	<i>Albatrellus pes-caprae, Boletus edulis, B. pinophilus, B. reticulatus (syn. B. aestivalis)</i>	< 2 - 20
Cuivre	<i>Agaricus macrosporus, A. silvicola, Macrolepiota procera, M. rhacodes</i>	20 - 100

**Chapitre III : Intérêt
nutritionnel et thérapeutique
des champignons comestibles**

1. Intérêt nutritionnel et thérapeutique des champignons comestibles

Les champignons étaient considérés comme une délicatesse spéciale par les premières civilisations et évalués comme une source crédible de nutriments, y compris des quantités considérables de fibres alimentaires, de minéraux et de vitamines (en particulier, la vitamine D). Les champignons sont également reconnus comme des aliments fonctionnels car leurs composés bioactifs offrent d'énormes effets bénéfiques sur la santé humaine.

1.1. Intérêt nutritionnel des champignons comestibles

En raison de son goût, son odeur et de sa valeur nutritive attrayants, les champignons comestibles ont longtemps été utilisés comme des composants précieux dans l'alimentation et la médecine (De Pinho et Ribeiro, 2008 ; Zawirska-wojtasiak et al., 2009). Généralement, les champignons contiennent des protéines, fibres, vitamines, minéraux et matières grasses (Bano et Rajarathnam, 1988 ; Barros et al., 2008), ainsi que de nombreux composés bioactifs différents tels que les polysaccharides et les composés phénoliques (Mattila, 2001 ; Barros et al., 2008 ; Barros, 2007).

Tableau 11 : Représentation de la composition proximale de certains champignons comestibles (MaríaElena et al., 2014).

Éspece	Proteine %	Lipide %	Glucide %	Energie Kcal / kg
<i>Agaricus bisporus</i>	14.1	2.2	74.0	325
<i>Lentinus edodes</i>	4.5	1.73	87.1	772
<i>Pleurotus ostreatus</i>	7.0	1.4	85.9	416
<i>Pleurotus eryngii</i>	11.0	1.5	81.4	421
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	37.4	1.0	55.3	
<i>Pleurotus giganteus</i>	17.7	4.3	78.0	364

1.1.1. Les champignons : relativement riches en protéines

En général, les champignons sont assez riches en protéines, avec une teneur importante en acides aminés essentiels, mais faible en gras, ce qui les rend bien adaptés aux régimes hypocaloriques (Mattilda, 2001). Il existe de nombreuses protéines fongiques ayant des activités biologiques intéressantes, telles que les lectines, les protéines immunomodulatrices fongiques (FIP), les protéines d'inactivation des ribosomes (RIP), les ribonucléases, les laccases et d'autres protéines qui sont devenues des sources courantes d'antitumeur naturel, anti viral, anti microbien, antioxydant et les agents immunomodulateurs (Xu, 2011).

La protéine de champignon contient presque tous les acides aminés essentiels à des niveaux qui varient considérablement d'une espèce à l'autre (Tableau 12) (Diez et Alvarez, 2001).

Tableau 12 : Représentation de la teneur en acides aminés essentiels de quelques champignons comestibles (Beelmam et al., 2003).

Acides aminés essentiels	<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Lentinus Edodes</i>	<i>Pleurotus spp</i>
Cystine	23	24	28
Méthionine	33	29	35
Thréonine	111	98	106
Valine	121	124	112
Isoleucine	91	79	82
Leucine	153	133	139
Lysine	143	122	126
Tyrosine	283	265	219
Phénylalanine	107	91	111

Le contenu en protéines des champignons est relativement plus élevé que tous les légumes frais et équivaut à celui des légumineuses : sa teneur se situe entre 1,71 à 4,6% au lieu de 1% à 2%. Ces protéines sont mieux approvisionnées en acides aminés soufrés (méthionine et cystine) que les protéines des végétaux frais. Mais sa valeur biologique reste inférieure à celle des protéines d'origine animale. Les champignons contiennent dix fois moins de protéines que la viande (David, 2009). En raison de sa teneur plutôt faible en certains

acides aminés. Bien que la protéine fongique contienne de la thréonine, de la valine et de la phénylalanine en quantités équivalente aux protéines de viande, elle peut être légèrement inférieure en isoleucine, leucine, lysine, tryptophane et histidine. Ainsi, la protéine fongique est donc intermédiaire en qualité nutritionnelle entre la viande et les protéines végétales (**Giuseppe et lanzi, 2020**). L'importance nutritionnelle des champignons devrait augmenter dans les prochaines années en raison de la demande de protéines population mondiale et l'intérêt de réduire les risques liés à la consommation de sources d'aliments d'origine animale.

Tableau 13 : Représentation de la teneur en protéines de quelques aliments, en grammes pour 100 grammes (**David, 2009**).

Aliment	Teneur en proteine (g)
Bœuf	20,2
Champignons	2
Haricot vert	1,6
Tomate	1,1

1.1.2. Les champignons : faibles en lipides

Les champignons comestibles fournissent de faibles quantités de matières grasses (2,5% de leur poids uniquement). Le taux des lipides varie selon les espèces comestibles analysées entre 0% pour *Clitopilus prunulus* à 0,06% pour *Fistulina hepatica* et 2,63% pour *Helvella lacunosa*. Par contre, ce sont les espèces non comestibles et toxiques qui ont des teneurs en lipides les plus élevées : *Amanita phalloides* 1,50%, *Stropharia aeruginosa* 5,44%, *Lactarius torminosus* 3,93%, *Calodon caeruleum* 7,44% etc. Cela est bien regrettable car les lipides offrent des valeurs énergétiques plus importantes (**Charles, 2004**).

En général. Les acides gras fondamentaux des végétaux diffèrent légèrement de ceux des champignons (**Weete, 1980**). C16 et C18 sont les longueurs de chaînes toujours présentes mais alors que l'acide palmitique est encore très bien représenté et oscille autour de 20 % des acides gras totaux, l'acide stéarique est beaucoup plus irrégulier : il peut être présent à l'état de traces chez certaines espèces et représenter 68 % des acides gras totaux chez le lactaire délicieux ou 44 % chez *Fusarium oxysporum* (**Losel, 1988**). Les acides gras dominants sont à de très rares exceptions près, l'acide oléique ou l'acide linoléique que l'acide α -linoléique est

présent chez de très nombreux champignons et absent chez d'autres.

Tableau 14 : Représentation du contenu en acides gras de certains champignons à problèmes.
(MaríaElena et al., 2014).

Espèce	Acides gras (g / 100 g de poids frais)				
	Palmitique (C16:0)	Stearique (C18:0)	Oleique (C18:1)	Linoléique (C18:2)	Linoléique (C18:3)
<i>Agaricus bisporus</i>	11.9	3.1	1.1	77.7	0.1
<i>Lentinus Edodes</i>	10.3	1.6	2.3	81.1	0.1
<i>Pleurotus ostreatus</i>	11.2	1.6	12.3	68.9	0.1
<i>Pleurotus Eryngii</i>	12.8	1.7	12.3	68.8	0.1
<i>Agaricus Blazei</i>	11.38	2.8	1.85	72.42	Nd
<i>Lentinus edodes</i>	11.78	1.09	3.28	78.59	0.59

1.1.3. Les champignons : riches en polysaccharides

Les polysaccharides sont les substances dérivées des champignons les plus connues et les plus puissantes avec des propriétés antitumorales et immunomodulatrices. Des données sur les polysaccharides de champignons ont été recueillies auprès de centaines d'espèces différentes de basidiomycètes supérieurs certains glucides spécifiques possédant ces propriétés ont été quantifiés dans différents champignons : rhamnose, xylose, fucose, arabinose, fructose, glucose, mannose, mannitol, saccharose, maltose et tréhalose (Tableau 14) (Valverde et al., 2015). Les concentrations déclarées de glucides varient de 35 à 70% DW avec une certaine hétérogénéité entre le mannitol et le tréhalose, les principaux sucres fongiques qui ont été analysés malgré les différents profils de sucre. Pour *L. deliciosus*, *Chantarellus cibarius*, *A. bisporus* et *Volvariella volvacea*, le mannitol était le sucre le plus abondant, tandis que le tréhalose prédomine chez *P. ostreatus*, *Boletus edulis*, *Lepista nuda* et *Calocybe gambosa*. D'autres sucres ne se produisent qu'en petites quantités ou restent non détectés à quelques exceptions près (Guillamón, 2010). De sorte quelques champignons ont une glycémie basse et un niveau

élevé de mannitol, ce qui est particulièrement bénéfique pour les diabétiques.

Une grande variabilité peut également être observée parmi les champignons dans l'approvisionnement en fibres alimentaires. En général, un niveau appréciable de fibre totale allant de 5,5 à 42,6 DW obtenus auprès du groupe *Boletus*, *Agrocybe aegerita*, *A. bisporus*, *Pleurotus eryngii* et *ostreatus*, dans lesquels les β -glucanes sont les plus importants polysaccharides fibreux avec la chitine (Manzi, 2004). Les fibres alimentaires dans les champignons présentent des niveaux plus élevés de fibres alimentaires insolubles (2,28–8,99g/ 100 g de poids comestible) que les fibres alimentaires solubles (0,32–2,20 g / 100 g de poids comestible) (Manzi et Pizzoferrato, 2000). Les β -glucanes représentent de 4 à 13% de la fibre alimentaire totale avec une variabilité des fractions de fibres alimentaires en fonction des champignons.

Tableau 15: Représentation de la composition en sucres de certains champignons comestibles (poids sec) (María-Elena et al., 2014).

	(g / 100 g de poids frais)				
Espèce	Fructose	Mannitol	Saccharose	Trehalose	Sucres totaux
<i>Agaricus bisporus</i>	0.03	5.6	Nd	0.16	5.79
<i>Lentinus edodes</i>	0.69	10.01	Nd	3.38	14.03
<i>Pleurotus ostreatus</i>	0.01	0.54	Nd	4.42	4.97
<i>Pleurotus eryngii</i>	0.03	0.60	0.03	8.01	8.67
<i>Agaricus blazei</i>	0.27	60.89	Nd	5.74	66.91
<i>Lentinus edodes</i>	Nd	23.3	Nd	13.22	38.31

1.1.4. Les champignons : riches en Vitamines et Minéraux

Les champignons participent efficacement à la couverture des besoins vitaminiques, notamment en vitamines du groupe B (B2, B3, B5) et les vitamines D, C, et E (Tableau 16) (Mattila et al., 2001).

Une comparaison des espèces les plus populaires de champignons comestibles (Tableau 16) montre que *Boletus edulis* est l'espèce la plus riche en vitamines du groupe B, tandis que *Lentinula edodes* (shiitake) a le plus petit contenu. *Pleurotus ostreatus* contient plus de folacine, de vitamines B1 et B3 mais moins de vitamine B12 que *Agaricus bisporus* et *Lentinula edodes*. Le Tableau 16 montre également que la plus grande teneur en vitamine D se trouve dans *Lentinula edodes* et *Boletus edulis*. Une quantité considérable de vitamine PP, qui protège la peau contre la pellagre, est notée dans les champignons. Dans 100 g de matière fraîche d'*Agaricus bisporus* environ 5 mg de cette vitamine peuvent être trouvés, un niveau non observé dans aucun autre produit alimentaire (Grochowski, 1990). En général, les champignons contiennent de petites quantités de vitamine C : généralement jusqu'à 7 mg · 100 g-1 de parties comestibles (Sapers et al., 1999 ; Mattila et al., 2001).

Tableau 16 : Représentation de la teneur en vitamines de certaines espèces de champignons comestibles, dans 100 g de matière sèche (Emilia et al., 2006).

Vitamine	<i>Pleurotus ostreatus</i>	<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Lentinula edodes</i>	<i>Boletus edulis</i>	<i>Cantharellus cibarius</i>
B ₁ , mg	0.90-4.25	0.56-0.60	0.60	1.25	0.58
B ₂ mg	2.5-2.84	4.39-5.10	1.80	9.36	5.58
B ₃ , mg	65.0	39.7-43.0	31.0	69.5	47.0
B ₁₂ , µg	0.6	0.8	0.8	*	*
D µg	0.3	3.0	22.0-110.0	35.0	*
C mg	20	17	25	*	*

Les champignons sont aussi des sources intéressantes de minéraux, tel que le fer, le zinc, le cuivre, le potassium. Ils constituent également une excellente source d'oligo-éléments nombreux et très variés, en particulier de sélénium (Tableau 17) (Bianchetti et Vaccarino, 2007 ; Aaronson, 2000).

Le cuivre est nécessaire à la formation d'hémoglobine et du collagène (une protéine impliquée dans la structure et réparation des tissus). Également, de nombreux enzymes contenant du cuivre participent à la défense du corps contre les radicaux libres. Certaines espèces présentent une présence relativement abondante de cuivre, comme *Cantharellus cornucopoides*, *Hydnumrepandum*, *Tricholomasquarrulosum*, *Amanitacaesarea*, mais la grande majorité des champignons en est totalement dépourvus (David S, 2009).

Le sélénium entre dans la composition de nombreuses enzymes aux propriétés anti-oxydantes et qui joue un rôle protecteur vis-à-vis des maladies cardio-vasculaires et de certains cancers (Beckett et Arthur, 2005).

Les champignons ont une très faible concentration de sodium(Na), ce qui est bénéfique pour les patients hypertendus et une teneur élevée en potassium(K) et en phosphore (P) utiles pour rétablir l'équilibre acido-basique et protéger contre l'hypertension artérielle (Tableau 17) (Chang et Wasser, 2012).

Une attention particulière devrait être accordée à l'accumulation des champignons de traces de métaux lourds, en particulier d'éléments toxiques comme le cadmium, le plomb et le mercure, couramment présents dans les substrats de culture. En effet, *L.edodes* s'est a véréun accumulateur de cadmium, tandis que *A. bisporus*, *P. ostreatus*, *L. edodes* et certaines espèces du genre *Boletus* sont naturellement riches en sélénium (Falandysz et al., 2008).

Tableau 17 : Représentation du contenu de certains constituants minéraux dans les champignons comestibles (mg /100g matière sèche) (Emilia et al., 2006).

Mineral constituents	<i>Pleurotusostreatus</i>	<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Boletus edulis</i>	<i>Cantharellus cibarius</i>
Sodium	44-144	76-86	12-52	4-14
Potassium	2 722-5 100	3 500-4 520	2 367-3900	5 400-5 900
Calcium	89-150	46-99	46-99	19-57
Phosphore	618-1 339	969-1 730	1 024-1730	500-657
Magnésium	128-190	91-124	100-120	110-120
Soufre	210	450	450	*
Fer	9-15	5-50	5-50	10-18
Zinc	3-12	2-12	12	9-11

1.2. Intérêt thérapeutique des champignons comestibles

En addition au précédent intérêt nutritionnel, les champignons comestibles possèdent un intérêt thérapeutique. En effet, les composés bioactifs qui existent sont très variés en tant que composants de leur paroi cellulaire (polysaccharides tels que les β -glucanes), en protéines ou en tant que métabolites secondaires organiques (stéroïdes, terpènes, composés phénoliques, entre autres). L'activité de ces composés dépend fortement de nombreux facteurs tels que le type de champignon, son stade de développement et ses conditions de croissance (**Guillamón et al., 2010**).

Aujourd'hui, au total, 126 fonctions médicinales seraient produites par des champignons comestibles et médicinaux. Y compris les effets anticancéreux, immunomodulateurs, antioxydants, anti-inflammatoires, cardiovasculaires, effets antiviraux, antimicrobiens, anti-neurodégénératifs, hypoglycémiques et bien d'autres activités biologiques sont découvertes chaque jour (**Wasser, 2010**).

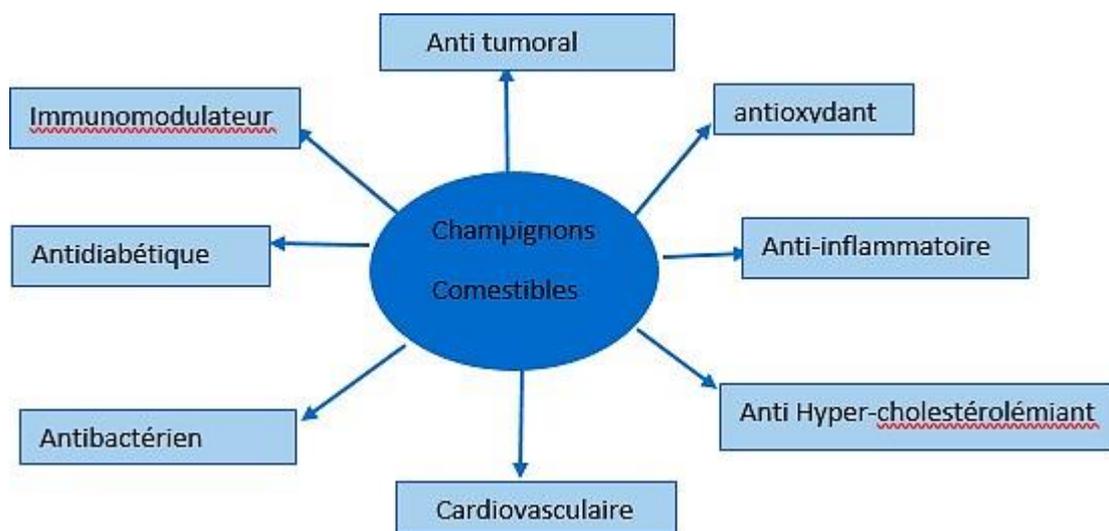


Figure 18 : Représentation des propriétés pharmacologiques des champignons comestibles (**Mirunalini et Deepalakshmi, 2014**).

1.2.1. Propriétés anti-oxydantes

Les champignons sont principalement reconnus pour ses effets antioxydants attribuables majoritairement à des produits naturels tels que les polysaccharides, l'ergostérol, l'acide nicotinique, les triterpènes et les composés phénoliques (Vamanu et Nita, 2013). Ces molécules antioxydantes ont la capacité d'inhiber ou de ralentir la production des radicaux libres et de protéger les lipides contre la peroxydation (Cheung et al., 2003 ; Kitzberger et al., 2007 ; Mujic et al., 2010 ; Zhang et al., 2013 ; Acharya et al., 2015).

L'activité antioxydante des molécules phénoliques issues du Shiitake s'explique par leur capacité à donner un atome d'hydrogène au radical libre ou à chélater les ions métalliques impliqués dans la formation des radicaux (Choi et al., 2016 ; Diallo et al., 2017). D'ailleurs, les travaux de Cheung et al. (2003) ont montré une corrélation positive entre l'activité antioxydante et le contenu en polyphénols de *Lentinula edodes*.

Des polysaccharides purifiés à partir du Shiitake ont été aussi utilisés par certains auteurs, ils ont montré un effet inhibiteur sur les radicaux hydroxyles, superoxydes et sur les métaux pro-oxydants (Chen et al., 2012).

Des polysaccharides de *B. edulis* ont également démontré des propriétés antioxydantes, que ce soit in vitro ou in vivo. Selon une étude, un polysaccharide hydrosoluble (BEBP-3) s'est montré efficace contre les radicaux libres hydroxyles in vitro (Luo et al., 2012). De plus, cette molécule a également stimulé l'activité du superoxyde dismutase (SOD), une des enzymes impliquées dans la défense naturelle contre les radicaux libres de l'oxygène, lors de tests chez des souris à une concentration de 150 mg/kg. Des tests effectués sur une fraction de polysaccharides nommée BEPF60, issue d'une précipitation d'un extrait aqueux avec 60 % d'éthanol, ont indiqué que cette fraction possédait une capacité réductrice et une activité chélatrice significative. De plus, elle posséderait des propriétés inhibitrices contre les radicaux hydroxyles et superoxydes (Zhang et al., 2011).

Des extraits éthanoliques de *P. ostreatus* cultivés sur du bois ont présenté une concentration de 2,63 µg/ml en polyphénols totaux, avec un pourcentage d'inhibition de 90,75% au test de piégeage du radical libre DPPH (1,1-diphényle-2-picrylhydrazyl), ce qui a amené les auteurs à dire que ce sont des antioxydants forts capables de déplacer les radicaux libres et de les chélater (Oyetayo et al., 2013). Une étude faite sur des extraits acétoniques de *P.ostreatus* a montré une activité antioxydante (IC50 =4,4 mM) et un taux élevé en polyphénols totaux (352,8 mg/l eq.AG) (Iwalokun, 2010).

1.2.2. Propriétés anti-inflammatoires

Certaines espèces de champignons présentent d'importantes propriétés anti-inflammatoires (Jose, 2004 ; Lull et al., 2005). Jose et d'autres ont suggéré une utilisation thérapeutique possible contre les troubles cardiovasculaires pour *P. florida* (Jose, 2004), concernant son activité dans l'amélioration de l'inflammation. Dans une étude de Mori et al., *P. eryngii*, *Grifola fondosa* et *Hypsizygos marmoreus* sont efficaces pour réduire, non seulement les concentrations de triglycérides, mais également la formation de lésions athérosclérotiques chez les souris présentant une carence en apolipoprotéine E nourries avec un régime alimentaire régulière. En outre, il a été rapporté que l'ergostérol et le peroxyde d'ergostérol du champignon comestible *H. marmoreus* qui peuvent prévenir les processus inflammatoires (Guillamón E., 2010).

Une des stratégies possibles permettant de supprimer l'inflammation, est l'utilisation d'aliments possédant des hautes activités biologiques favorisant la production de cytokines anti inflammatoires telles qu'Il-4, Il-10 ou encore Il-13. A cet effet, les champignons comestibles attirent de plus en plus l'attention en tant qu'aliments fonctionnels car ils sont riches en 52 composés à activités anti-inflammatoires (Gunawardena et al., 2014 ; Muszyńska et al., 2018).

Parmi ces champignons le Shiitake montre, dans plusieurs études, une activité anti inflammatoire satisfaisante à cause de certaines de ses molécules bioactives comme les polysaccharides, l'ergostérol et les polyphénols qui inhibent la production de l'oxyde nitrique (NO) (Carbonero et al., 2008 ; Xu et al., 2012 ; Gunawardena et al., 2014). Les travaux de Pacheco-Sanchez et al., (2006) sur des cellules RAW 264.7, ont démontré clairement l'effet inhibiteur des polysaccharides issus du champignon *Collybia dryophila* sur la production de NO (oxyde nitrique) induite par le LPS (lipopolysaccharide) et IFN γ (interféron gamma) chez les macrophages. A 250 μ g/ml de l'extrait, 90.5% de la production du NO est inhibée. Ces recherches ont permis de démontrer que la diminution de la production de NO induite par le LPS et l'IFN chez les macrophages était associée à une diminution de l'expression de l'enzyme inductible responsable de la synthèse de NO (iNOS). Cette diminution de l'expression d'iNOS observée par Western blot était elle-même associée à une inhibition de l'expression de l'ARNm du gène codant pour iNOS (Pacheco-Sanchez et al., 2006).

En **2012**, pour tester les effets anti-inflammatoires du Shiitake, douze sujets humains souffrant de douleurs articulaires, ont consommés pendant six semaines un complément alimentaire contenant de la L-ergothioneine (molécule aminée se trouvant dans le Shiitake), après une semaine de traitement, les résultats montrent une diminution nette de la sensibilité à la douleur. Il a été constaté une reprise des douleurs 6 semaines après l'arrêt de la consommation du complément alimentaire (**Benson et al., 2012**). Une autre étude sur des modèles in vitro et in vivo menée au **Japon en 2013** sur l'effet anti-inflammatoire du lentinane issue de *Lentinus edodes* dans le cas des maladies intestinales inflammatoires, comme la maladie de Crohn et la colite ulcéreuse a montré des résultats satisfaisants. Sur le modèle in vivo, le lentinane a été quotidiennement administré chez des souris, par voie intragastrique à différentes doses (50, 100 et 200 µg par souris). Les résultats suggèrent que l'administration de lentinane possède une activité inhibitrice sur la perte de poids corporel. On observe également une réduction de l'inflammation de la muqueuse intestinale. Dans le modèle in vitro de la même étude, des macrophages de type RAW 264. 7 sont stimulés par un lipopolysaccharide afin d'induire la formation des cytokines inflammatoires IL-8 et du facteur TNF- α . Les résultats montrent que le lentinane supprime l'augmentation de 53 facteurs de transcription nucléaires via la réduction d'un type de récepteurs spécifiques (**Nishitani et al., 2013**).

Tableau 18 : Représentation de quelques exemples d'études biologiques réalisées avec des composés anti- inflammatoires issus de champignons (**Elsayed et al., 2014**).

Composé bioactif/ espèce de champignons	Modèle de test	Résultats/mécanisme d'action	Références
Polysaccharides <i>A. bisporus</i>	(i) Souris mâles suisses, induites par le formollécher	(i) Inhibition des neurogènes et inflammatoires phases, effet antinociceptif avec IC50 de 36,0(25,8 à 50,3 mg / kg) (ii) Diminution de l'iNOS et de la COX2	(Ruthes et al., 2013)
Peptides <i>Cordyceps sinensis</i>	(i) Inflammation induite par l'acide acétique Chez la souris	(i) Diminution du taux de TNF- α , IL-1 β , Inhibition dose-dépendante de l'abdomencontractions	(Qian, 2012)
Phénoliques <i>Lactarius deliciosus</i>	(i) RAW364.7 stimulé par LPS Cellules macrophages, nitrite et cytokine dosages	(i) 0,5 mg / ml d'extrait de champignon inhibé NO Production et expression d'iNOS, d'IL-1 β etARNm d'IL6	(Moro et al., 2012)
Polysaccharides <i>Lentinus edodes</i>	(i) Souris mâles suisses, acide acétique inflammation induite, 3 à 100 mg / kg.i.p. concentré de corps fructifère	(ii) Inhibition de la capillaire péritonéale perméabilité et infiltration leucocytaire (76% Inhibition), IC50 13,9, 8,2-23,7 et 100% inhibition, IC50 6,5, 1,5–28,2 mg / kg, respectivement	(Carbonero et al., 2008)

1.2.3. L'effet hypo-cholestéromique

Les mécanismes liés au métabolisme du cholestérol impliqués dans l'effet hypocholestérolémique des champignons comestibles sont illustrés à la (Figure 19).

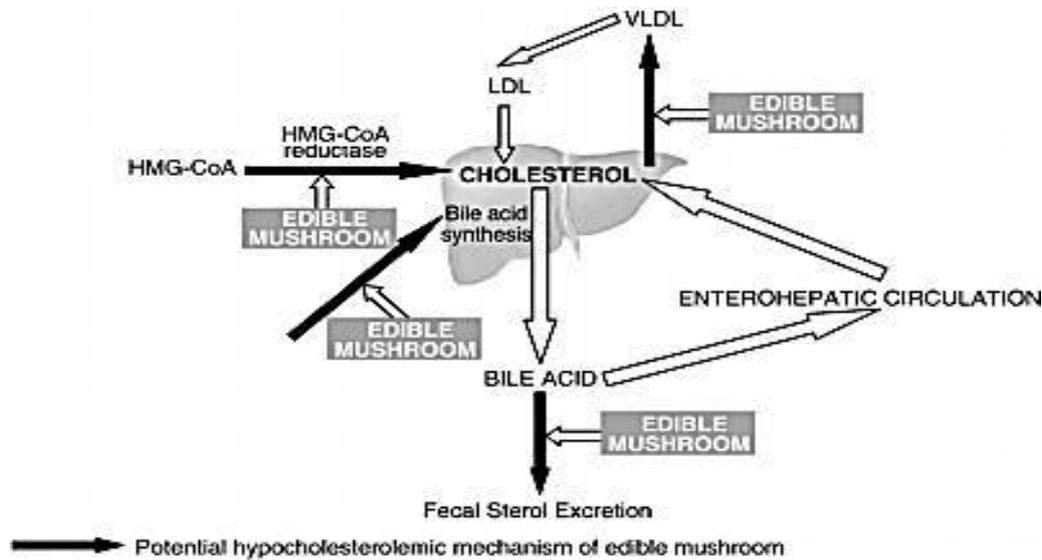


Figure 19 : Représentation de l'effet des champignons comestibles sur le métabolisme du cholestérol (Barros et al., 2007 ; Mauger et al., 2003).

Deux champignons à haute teneur en fibres alimentaires tels que *Auricularia auricula* et *Tremella fuciformis* se sont révélées produire une baisse similaire du taux de cholestérol LDL, et donc du cholestérol sérique total (Cheung, 1996). Aucun d'entre eux n'affecte le cholestérol sérique HDL, mais les fibres d'*A. bisporus* peuvent élever l'ARN messager du récepteur LDL hépatique chez les rats mâles et réduire la concentration de cholestérol HDL et le cholestérol total sérique en abaissant les concentrations de cholestérol VDL + LDL + LDL (Fukushima et al., 2000). En plus de la réduction du cholestérol sérique, *T.fuciformis* a également abaissé les taux plasmatiques de triacylglycérol et cholestérol total (Cheng, 2002). Cette constatation pourrait être le résultat d'une inhibition de la synthèse des triglycérides hépatiques en augmentant la production d'acides gras à chaînes courtes (acétate, propionate et butyrate) pendant la fermentation des fibres alimentaires par la flore intestinale (Suzuki, 1983 ; Nishina, 1990). Les champignons sont également intéressants car ils contiennent de grandes quantités de β -glucanes polysaccharides, qui présentent des fonctions hypocholestérolémiques et anticoagulantes (Alban et Franz, 2001 ; Zekovic et al., 2005).

D'autres polysaccharides fongiques intéressants avec des caractéristiques similaires des fibres alimentaires sont le chitosane (D-glucosamine polymère) ou de chitine (polymère de N-acétyl-D-glucosamine). Les souris obèses résultants d'un régime riche en graisses complété par un supplément de chitosane (5%) d'*A. bisporus* pendant dix semaines, ont montré une

diminution de l'absorption des lipides et des taux sériques d'adipocytokine (Neyrinck, 2009).

Par conséquent, ces actions pourraient contribuer à réduire les graisses dépôt dans le foie (diminution de la teneur en triglycérides par 39%) et musculaire (une diminution de la teneur en triglycérides de 66%) en plus d'une diminution de la masse grasse. De nos jours, le chitosane fongique (KiOnutrime_CsTM) est commercialisé comme aliment supplément pour la gestion de l'obésité et du cholestérol. Pour cela une quantité de 7, 20 et 60 g de poudre de shiitake a été ajoutée dans leurs régimes riches en matières grasse pendant 6 semaines. Les résultats ont révélé que les rats ayant reçu la plus grande quantité de poudre de shiitake (60 g) avaient un gain de poids corporel plus bas par rapport aux autres. Le dépôt total de graisse était assez faible chez les rats alimentés par un régime riche en teneur (60 g) de poudre de champignon que ceux supplémentés à 7 ou 20g seulement. De plus, leur taux de triglycérides était très réduit (55%), comparativement à ceux possédant un régime faiblement supplémenté en poudre de *Lentinula edodes* (Handayani et al., 2011).

Les enquêtes de ces dernières années ont révélés que les fructifications de *P. ostreatus* présentent un effet hypocholestérolémiant sur les rats atteints de normocholestérolémie et d'hypercholestérolémie induite par la prise d'un régime riche en graisses ou d'alcool apport (Bobek et al., 1991) et diabète (Bobek et al., 1992), ou cholestérol héréditaire trouble. Un effet hypocholestérolémiant prononcé de la consommation de pleurotes (*P. ostreatus*) a été démontré sur des rats par une diminution de très faible densité lipoprotéines (Bobek et al., 1998), et aussi en supprimant l'activité de la HMG-CoA réductase (Bobek et al., 1995) et un taux catabolique fractionnel de cholestérol (Bobek et al., 1994). Récemment, il a été mis en évidence par Kantun et al. (Khatun, 2007) que *P. ostreatus* diminue le cholestérol total, les triglycérides plasmatiques, le glucose et la pression artérielle chez les sujets diabétiques. Les chercheurs pensent que c'est probablement dû à la présence de la lovastatine (Deepalakshmi et Mirunalini, 2014).

Tableau 19 : Représentation d'exemples d'études biologiques réalisées avec des composés anti-inflammatoires issus de champignons comestibles (**Guillamón et al., 2010**).

Champignons comestibles	Effets hypocholestérolémiques	Références
<i>Agaricus bisporus</i>	↓cholesterol LDL ↓cholestérol total sérique ↓ cholestérol HDL ↑ ARNm du récepteur LDL hépatique ↓ adipocytokine sérique / ↓ dépôt de graisse / ↓ triglycérides dans le foie	(Neyrinck et al., 2009)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	↓ cholestérol VLDL ↓ cholestérol LDL ↓ Cholestérol total sérique ↓ triglycérides plasmatiques ↓ tension artérielle ↓ Activité de la glutathion peroxydase antioxydante Inhibition de la HMG-CoA réductase	(Khatun et al., 2007)
<i>Lentinus edodes</i>	↓ Niveaux de cholestérol ↓ Phospholipides du plasma Modification du métabolisme hépatique des phospholipides Effet hyperhomocystéinémique	(Chibata et al., 1996)
<i>Tremella fuciformis</i>	↓ cholestérol LDL ↓ cholestérol total sérique ↓ triglycérides plasmatiques ↓ Cholestérol total hépatique	(Cheng et al., 2002)

1.2.4. Propriétés anticancéreuses

D'après les études mécanistiques limitées in vitro et in vivo, certains champignons comestibles semblent inhiber la croissance des cellules cancéreuses via l'induction de l'apoptose, l'inhibition de la progression du cycle cellulaire, la modulation de la fonction immunitaire et l'inhibition de l'angiogenèse.

Des études précliniques sur des animaux modèles et un nombre relativement limité d'essais cliniques ont montré des résultats mitigés concernant les effets anticancéreux des champignons comestibles couramment consommés.

Pour certains, comme le maitake et le shiitake, leur efficacité seule ou en complément des traitements traditionnels.

P. ostreatus fait partie des champignons présentant un grand intérêt anticancéreux à l'avenir grâce à son efficacité et son spectre d'action large tout en étant tolérée (**Blandeau, 2012**). Une étude sur la prévention des cancers chimio induits et le rôle de la diététique a montré qu'un régime riche en fibres pouvait prévenir le cancer du côlon et que les acides gras non saturés pouvaient prévenir l'apparition du cancer du sein, en effet, lorsque le 1,2-diméthylhydrazine (DMH) (substance cancérigène) a été administrée à des rats, ceux-ci ont développé des tumeurs au niveau du côlon. Les rats recevant le DMH avec un complément de *P.ostreatus* n'ont pas développé de tumeurs contrairement au groupe non supplémenté. Les analyses effectuées sur les deux groupes ont mis en évidence une activation de l'apoptose et un taux en protéine P53 (protéine suppresseur de tumeur par arrêt du cycle cellulaire des cellules cancéreuses en G0 /G1) plus important dans le groupe supplémenté. Il est donc permis de dire que le *Pleurote* joue un rôle protecteur contre certaines substances cancérigènes (**Givelet, 2011 ; Blandeau, 2012**).

Des extraits de polysaccharides et de glycoprotéines ont démontré des propriétés anticancéreuses contre certaines lignées cellulaires humaines. Une étude portant sur des fractions d'un extrait de polysaccharide hydrosolubles a indiqué qu'une des fractions (BE3) a inhibé de manière significative la prolifération des cellules d'adénocarcinome colorectal LS180 (**Lemieszek et al., 2013**). L'administration d'un polysaccharide extrait du *cèpe d'Amérique* à des concentrations de 100 et 400 mg/kg chez des souris inoculées avec des cellules cancéreuses rénales a induit une diminution significative du volume tumoral sur une période de 32 jours (**Wang et al., 2017**). Un article rapporte, quant à lui, l'activité anticancéreuse d'une lectine extraite de ce champignon avec une inhibition de la prolifération cellulaire atteignant 92 % contre HT29 (cancer du côlon), 79% contre HepG2 (cancer du foie) et 77 % contre MCF-7 (cancer du sein) à une concentration de 10 µg/ml (**Bovi et al., 2011**).

Les recherches ont également dévoilé la présence de molécules antiherpétiques contre HSV-1. Une fraction enrichie de polysaccharides, préparée à partir d'un extrait aqueux de *B. edulis*, a pu inhiber la réplication intracellulaire du virus avec une IC50 de $6,0 \pm 0,6$ µg/ml et un index de sélectivité de 143 (**Santoyo et al., 2011**).

En 1969, (**Ikekawa et al., 1969**) ont constaté que l'injection d'un extrait aqueux de *L. edodes* inhibait fortement à 81% la croissance des tumeurs issus des cellules d'ascite de sarcome 180 implantées chez des souris albinos suisses.

Les effets anti-tumoraux du lentinane sont plus importants que les polysaccharides

issus d'autres champignons et il est très actif contre certains types de tumeurs (**Diallo et al., 2018**).

Cette activité a été confirmée en utilisant le Sarcoma-180 transplanté dans des souris. Il a été constaté une régression complète des tumeurs et sans toxicité (**Chihara et al., 1987**). Une étude in vitro de 2006 qui portait sur deux lignées cellulaires de carcinome mammaire humain, une lignée de cellules saines et deux lignées cellulaires de myélome a tenté d'explorer le rôle potentiel d'un extrait d'acétate d'éthyle du Shiitake. Les résultats montrent que cet extrait possède une activité antiproliférative des cellules tumorales avec une concentration inhibitrice (IC50) se situant entre 179 et 477 µg/ml. L'extrait analysé par LC-MS sans pouvoir identifier les structures des composés bioactifs a induit aussi le processus de mort cellulaire programmée (l'apoptose) de 50 % des cellules à 50 µg/ml pour toutes les lignées cancéreuses (**Fang et al., 2006**). En 2009 également, l'effet du lentinane issu de *Lentinula edodes* associé à une chimiothérapie (5-FU + mitomycine) a été testé sur un groupe de 650 personnes atteintes d'un cancer gastrique. Les résultats de cette méta-analyse ont révélé que l'association du lentinane au traitement possède un effet important et significatif ($p < 0,01$) sur la qualité de vie des patients (**Oba et al., 2009**).

Tableau 20: Représentation des activités anticancéreuses d'extraits d'espèces de champignons (contresarcome-180 chez la souris) (**Lu, 2012**).

Espèces de champignons	Inhibition tumorale (%)
<i>Agaricus bisporus</i>	2
<i>Lentinus edodes</i>	80
<i>Pleurotus ostreatus</i>	75
<i>Tricholoma matsutake</i>	91
<i>Flammulina velutipes</i>	81

1.2.5. L'effet cardiovasculaire

Les champignons comestibles ont été décrits en médecine orientale en raison de ses effets hypocholestérolémiques (**Guillamón, 2010**). Ainsi, ils réduisent les risques du système cardiovasculaire (**Mori, 2008**). En raison de la survenue de substance spécifique et autres composés bioactifs. La recherche au cours des deux dernières décennies a révélé que les processus inflammatoires et oxydatifs sont une caractéristique commune de nombreuses maladies cardiovasculaires, telles que l'athérosclérose (**Kim, 2004**). Plusieurs mécanismes

impliqués dans l'effet anti-athérosclérotique de certains champignons comestibles ont été rapportés.

Jose et d'autres ont suggéré une utilisation thérapeutique possible contre les troubles cardiovasculaires pour *P.florida* (**Jose, 2004**), concernant son activité dans l'amélioration de l'inflammation. Dans une étude de **Mori et al**, *P. eryngii*, *Grifola fondosa* et *Hypsizyguis marmoreus* sont efficaces pour réduire non seulement les concentrations de tryglicérides, mais également la formation de lésions athérosclérotiques chez les souris présentant une carence en apolipoprotéine E nourries avec un régime alimentaire régulière. En outre, il a été rapporté que l'ergostérol et le peroxyde d'ergostérol du champignon comestible *H. marmoreus* qui peut prévenir les processus inflammatoires (**Guillamón, 2010**).

En effet, de nombreuses études ont étudié les effets hypotenseurs de certains champignons comestibles tels que *L. edodes*, *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus narbonensis* et *G. frondosa* (**Miyazawa et Okazaki, 2008**). Dans ce domaine, (**Talpur et al., 2002**) ont rapporté cet effet hypotenseur d'autres extraits solubles de *G. frondosa*. En plus du champignon comestible, il existe un grand nombre d'applications médicales potentielles des champignons avec des composés importants responsables de la réduction du cholestérol. Notamment *G.lucidum* (**Berger, 2004**), *Cordyceps sinensis* (**Yamaguchi, 2000**), *F. velutipes* (*enokitake*) (**Fukushima, 2001**).

Bobek et al. ont observé que le *pleurote* empêchait la formation de plaques athéromateuses et a réduit l'incidence et l'étendue des lésions athérosclérotiques dans l'aorte et les artères coronaires ainsi que de la fibrose focale des lapins myocardiques. Un extrait de méthanol de *P. la floride* a montré une activité d'agrégation anti-plaquettaire par inhibition du diphosphate d'adénosine 5' (**Jose, 2004**). L'éritadénine est un puissant inhibiteur de la S-adénosyl méthionine hydrolase (**Votruba et Holýa, 1982**). Une augmentation du niveau de cette hydrolase ou une diminution du rapport S- adénosyl méthionine : S-adénosylméthionine hydrolase inhibe la méthylation de la phosphatyl éthanolamine, ce qui pourrait contribuer à réduire la synthèse de l'un des principaux phospholipides des lipoprotéines plasmatiques.

1.3. Les champignons comme compléments alimentaires (toniques)

La majorité des préparations et substances dérivées des champignons ne sont pas utilisées comme produits pharmaceutiques («vrais» médicaments) ou comme médicaments botaniques, mais plutôt comme une nouvelle catégorie de produits sous plusieurs noms : compléments

alimentaires, toniques, aliments fonctionnels, nutraceutiques, nutriceutiques, phytochimiques, mycochimiques, biochimiques et aliments de marque (Wasser, 2010). La définition de ces termes varie d'un pays à l'autre, tout comme la réglementation de ces produits.

Les compléments alimentaires sont des ingrédients obtenus à partir d'aliments, de plantes, et champignons (champignons) qui sont pris, sans autre modification (Namara, 1999). Les suppléments sont faciles à ajouter à l'alimentation quotidienne et sont souvent les premières étapes que les consommateurs entreprennent vers une plus grande sensibilisation nutritionnelle et l'adoption d'un mode de vie sain. Dans le même temps, l'augmentation de l'intérêt pour les remèdes traditionnels pour multiples troubles physiologiques et la reconnaissance de nombreuses activités biologiques des produits à base de champignons ont conduit à la dénomination des champignons nutriceutiques, (Chang et al., 2008), à ne pas confondre avec les nutraceutiques, aliments fonctionnels et produits pharmaceutiques.

Les nutriceutiques aux champignons sont un extrait raffiné, ou partiellement raffiné, ou de la biomasse séchée du mycélium ou du corps fruitier d'un champignon, qui est consommé sous forme de capsules ou de comprimés sous forme de complément alimentaire (pas un aliment) et a des applications potentiellement thérapeutiques.

Ces nutriceutiques sont proposés pour tonifier l'organisme, stimuler les défenses naturelles et renforcer la résistance du corps face au stress : ils sont dits « adaptogènes » ou « immunostimulants ». Ils ont aussi la réputation de lutter contre l'hypertension artérielle et de contribuer à diminuer le taux de cholestérol dans le sang. De plus, le shiitaké et le maitaké sont étudiés en complément du traitement de certains cancers.

1.3.1. Le Shiitake (*Lentinula edodes*) : Compléments alimentaires

Le shiitake stimule les défenses naturelles de l'organisme, aide à lutter contre la fatigue et à renforcer l'organisme, équilibrer le taux de cholestérol sanguin.

Tableau 21 : Représentation des produits à base de shiitake (Belabbas, 2015).

Produit	composition	Posologies
shiitake-bio-60- gelules	pour 2 gélules : Mycélium de Shiitaké biologique <i>Lentinula edodes</i> 940 mg, Gingembre biologique Zinziber officinale 60 mg	Prendre une à deux gélules par jour
Shii -Také Bio - 20 ampoules (shiitake/ <i>Lentinula Edodes</i>)	Jus de Pommes 8390 mg - Shiitaké 1210 mg dont 40 mg de Lentinane par ampoule-Arome naturel de pomme	En complément d'une alimentation variée et équilibrée, prendre 1 ampoule par jour pure ou diluée, de préférence le matin, pendant 5 jours durant 4 semaines.

1.3.2. Le Maitake (*Grifola frondosa*) : compléments alimentaires

Le maitake renforce le système immunitaire et stimule l'organisme en cas de fatigue chronique, renforce les défenses naturelles et fortifie les défenses naturelles, Renforce les voies hépatiques et intestinales.

Tableau 22 : Représentation des produits à base de maitake (Belabbas, 2015).

Produit	composition	Posologies
Mai-také BIO - 60 comprimés (Maitake/Bêta Glucane)	Pour 2 comprimés : Poudre concentrée de Maitaké 286 mg dont β -glucanes 60 mg	2 comprimés/jour
Maitake Bio - 20 ampoules	Extrait concentré de Maitaké Bio (<i>Grifola frondosa</i>) dans jus de Pomme Bio (10 000 mg) Garanti en β glucanes = 38mg par ampoule.	Prendre 1 AMPOULE par jour avec un grand verre d'eau avant le repas. Cure de 20 jours par mois, renouvelable.

1.3.3. Cordyceps : Compléments alimentaires

Le cordyceps stimule les fonctions physiques et intellectuelles, tonifie les fonctions sexuelles, protège les fonctions du foie, stimule l'organisme de personnes âgées, renforce les

fonctions rénales et hépatiques.

Tableau 23: Représentation des produits à base de *cordyceps* (Belabbas, 2015).

produit	composition	Posologie
<i>Cordyceps</i> bio en poudre	pour 2 comprimés : 509 mg (dont 360 mg de poudre concentrée de <i>cordyceps</i> et 149 mg de bêta-glucane)	Prendre 2 comprimés par jour avec un grand verre d'eau.
Extrait 500 mg standardisé	<i>Cordyceps</i> (<i>Cordyceps sinensis</i>) (biomasse de mycellium) (Standardisé à 50 mg (10%) d'acide cordycep) : 500 mg	1 capsule par jour avec un verre d'eau, au cours du repas.

Conclusion

A partir de cette recherche bibliographique on peut conclure que le stress oxydant est un concept complexe et en pleine évolution, Il s'agit d'un mécanisme physiopathologique et non d'une maladie. Ce phénomène précède une vague impressionnante d'apparition des pathologies (cancer, les maladies cardiovasculaires, les maladies neurodégénératives, l'inflammation). Il est possible d'agir par voie thérapeutique et/ou nutritionnelle.

Les champignons sont une source naturelle de l'alimentation et les antioxydants qui deviennent importants pour la santé humaine. Fait intéressant, le potentiel antioxydant des champignons est plus élevé que celui de la plupart des légumes et des fruits.

Des composés antioxydants peuvent être extraits pour être utilisés comme ingrédients fonctionnels ou des champignons peuvent être incorporés à notre alimentation pour aider le corps humain à réduire les dommages oxydatifs. Les bienfaits pour la santé et le goût délicieux des champignons en font un bon choix d'aliments à impliquer dans notre régime alimentaire.

Perspectives :

Compte tenu de la valeur des informations recueillies dans ce travail, il est évident qu'il ne constitue qu'une première étape dans la recherche de substances naturelles et bioactives dans les champignons comestibles. Pour compléter cette étude, il serait souhaitable de :

- Tester et évaluer les différents composés et molécules bioactives extraites des champignons comestibles in vivo et in vitro et examiner leur potentiel dans la réduction du stress oxydatif
 - Sensibiliser la population sur le potentiel préventif de l'utilisation nutritionnelle et pharmacologique de ces produits et molécules naturelles comme des alicaments.
 - D'étudier d'autres activités biologiques (antibactérienne, antidiabétique...).
 - D'approfondir les recherches sur les avantages des champignons comestibles
 - D'assurer une culture des champignons comestibles pour permettre une constante disposition à des fins de recherche puis pour permettre leur exploitation à des fins commerciales, thérapeutiques et pharmacologiques.
- Intégrer des produits pharmaceutiques à base de champignons pouvant être utilisés dans la prévention et le traitement de diverses maladies.

Références

A

- Abuja PM., & Albertini R., 2001. Methods for monitoring oxidative stress, lipid peroxidation and oxidation resistance of lipoproteins. *Clin Chim Acta*, 306 : p. 1-17.
- Acharya K., Mukherjee S., & Mitra P., 2015. Pharmacognostic standardisation of *Lentinula Edodes*: A widely explored medicinal mushroom. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 7(4): p. 866-872.
- Agarwal., & Prabakaran., 2005. Mechanism, measurement, and prevention of oxidative stress in male reproductive physiology. NISCAIR-CSIR, India.
- Aileen H., Sebastian W., Carina B., Christina N., Patrick M., Pascal L., Neill KJA., Daren K., Heyland., & Christian S., 2018. Vitamin C to Improve Organ Dysfunction in Cardiac Surgery Patients—Review and Pragmatic Approach.
- Alban S., & Franz G., 2001. *Biomacromolecules*, 2 : p. 354-61. *alimentaria*, 39(4) : p. 424-430.
- Aldini G., Dalle-Donne I., Facino RM., Milzani A., & Carini M., 2007. Intervention strategies to inhibit protein carbonylation by lipoxidation-derived reactive carbonyls, 27 : p. 817-868.
- Alexopoulos CJ., Mims CW., & Blackwell M., 1996. *Introductory mycology*, 4 : p. 869.
- Andrew PJ., & Mayer B., 1999. Enzymatic function of nitric oxide synthases. *Cardiovasc Res*, 43 : p. 521-31.
- Antunes F., Derick H., & Cadenas E., 2002. Contributions relatives des mitochondries cardiaques glutathion peroxydase et catalase à la désintoxication de H₂O₂ dans des conditions in vivo, 33 (9) : p. 1260-1267.
- Antunes F., Han D., & Cadenas E. 2002. Relative contributions of heart mitochondria glutathione peroxidase and catalase to H₂O₂ detoxification in in vivo conditions. *Free Radical Biology and Medicine*, 33(9) : p. 1260-1267.
- Apak R., Guclu K., Demirata B., Ozyurek M., Celik SE., Bektasoglu B., Berker K.I., & Ozyurt D., 2007. Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, 12 : p. 1496-1547.
- Arnora D., 1986. *Mushrooms démystifié*. T en Speed Press. p. 23.
- Aronson J., Pereira JS., & Pausas J., 2009. *Crok Oak Woodlands on the Edge: Conservation, Adaptive Management and Restoration*. Island press, New York.
- AV Rao., 1999. Agarwal Rôle du lycopène comme caroténoïde antioxydant dans la

prévention des maladies chroniques: une revue Nutr Res. 19 : p. 305-323.

B

- Baker T., 1989. Origine du mot «champignon» Mycol. P. 88- 90.
- Bano Z., & Rajarathnam S., 1988. Pleurotus mushrooms. Part II. Chemical composition, nutritional value, post-harvest physiology, preservation, and role as human food. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 27(2) : p. 87-158.
- Barja G., 2000. Oxidative damage to mitochondrial DNA is inversely related to maximum life span in the heart and brain of mammals, 14(2) : p. 312-318.
- Barros L., Baptista P., Correia DM., Casal S., Oliveira B., & Ferreira ICFR., 2007. Fatty acid and sugar compositions, and nutritional value of five wild edible mushrooms from North east Portugal. Food Chemistry, 105(1) : p.140-145.
- Barros L., Baptista P., Correia DM., Morais JS., & Ferreira ICFR., 2007. J Agric Food Chem, 55 : p. 4781-8.
- Barros L., Correia D M., Ferreira P., Baptista., & 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) : p. 1046-1050.
- 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) : p. 61-66.
- Barros L., Venturini BA., Baptista P., Estevinho LM., & Ferreira IC., 2008. Chemical composition and biological properties of Portuguese wild mushrooms: a comprehensive study. J. Agric. Food Chem, 56: p. 3856-3862.
- Barros L., Venturini BA., Baptista P., Estevinho LM., Ferreira CIIF., 2008. Composition chimique et propriétés biologiques des champignons sauvages portugais : une étude approfondi J Agric Food Chem, 56 : p. 3856-3862.
- Batbayar S., Lee DH., & Kim HW., 2012. Immunomodulation of fungal β -glucan in host defense signaling by dectin-1. Biomol. Ther, 20 : 433-445.
- Baudin., & Bruno., 2020. Stress oxydant et protections antioxydantes. Revue Francophone des Laboratoires, 522 : p. 22-30.
- Beckett GJ., & Arthur JR., 2005. Selenium and endocrine systems. In Journal Of Endocrinology, 184(3) : p. 455-465.

- Beelmam RB., Royse DJ., & Chikhimmah N., 2003. Bioactive components in button mushroom *Agaricus bisporus* (Lge) Imbach (*Agaricomycetidae*) of nutritional, medicinal, and biological importance (Review). *Int J Med Mushr*, 5: p. 321-37.
- BELABBAS M., 2015. Les compléments alimentaires à base de Champignons : bénéfices et risques, 49 : p.84-86.
- Benson KF., Ager DM., Landes B., Aruoma OI., & Jensen GS., 2012. Improvement of joint range of motion (ROM) and reduction of chronic pain after consumption of an ergothioneine-containing nutritional supplement. *Preventive Medicine*, 54 : p. 83-89.
- Berger A., Rein D., & Kratky E., 2004. Monnard I., Hajjaj H., Meirim I., *P Lipids Health*, 18 : p. 2-3.
- Bhattacharyya A., Chattopadhyay R., & Mitra S., 2014. Crowe SE Oxidative stress: an essential factor in the pathogenesis of gastro intestinal mucosal diseases. *Physiol Rev*, 94: p. 329-354.
- Bielski BHJ., & Cabelli DE., 1996. Superoxide and hydroxyl radical chemistry in aqueous solution. *Active Oxygen in Chemistry*. P. 66-104.
- Biophys Acta*, 1740: p. 101-107.
- Bisen PS., Baghel RK., Sanodiya BS., Thakur GS., & Prasad GBKS. 2010. *Lentinus edodes*: A Macrofungus with Pharmacological Activities. *Current Medicinal Chemistry*, 17(22) : p. 2419-2430.
- Blandeau E., 2012. Etat des lieux du potentiel anticancéreux de neuf champignons macroscopiques. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie : Département de pharmacie d'Anger.
- BLOCK G., 1992. Vitamin C status and cancer. Epidemiological of reduced risk. *Ann NY Acad Sci*, 669: p. 280-90.
- Block G., Patterson B., & Subar A., 1992. Fruit, vegetables, and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence. *Nut Cancer*, 18: p. 1-29.
- Bobek P., Chorváthová V., & Ginter E., 1992. *Biologia*, 46: p. 1025-30.
- Bobek P., Ginter E., Kuniak L., Babala J., Jurčovičová M., & Ozdín L., 1991. *Nutrition*, 7: p. 105-8.
- Bobek P., Hromadova M., & Ozdín L., 1995. *Experientia*, 51: p. 589-91.
- Bobek P., Ozdín L., & Galbavý S., 1998. *Nutrition*, 14: p. 282-6.

- Bobek P., Ozdín L., Kuniak L., 1994. Z Ernährungswiss, 33: p. 44-50.
- 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.
- Briot K., Audran M., Cortet B., Fardellone P., Marcelli C., Orcel P., & et al., 2009. Vitamine D : effet osseux et extraosseux ; recommandations de bon usage. Presse Med, 38(1) : p. 43-54.
- Buldak Ł., Łabuzek K., Buldak RJ., Kozłowski M., Machnik G., Liber S., & Okopień B. 2014. Metformin affects macrophages' phenotype and improves the activity of glutathione peroxidase, superoxide dismutase, catalase and decreases malondialdehyde concentration in a partially AMPK-independent manner in LPS-stimulated human monocytes/macrophages. Pharmacological Reports, 66(3) : p. 418-429.
- Burton GW., & Ingold KU., 1986. Vitamin-E - Application of the principles of physical organic- chemistry to the exploration of its structure and function. Acc. Chem. Res, 19: p. 194- 201.
- Burton GW., & Traber MG., 1990. Vitamin E : antioxidant activity, biokinetics, and bioavailability. Annu. Rev. Nutr, 10 : p. 357-382.
- Burton GW., Ingold KU., 1984. beta-Carotene : an unusual type of lipid antioxidant. Science, 224 : p. 569-573.

C

- Carbonero ER., Gracher AHP., & Komura DL., 2008. Lentinus edodes heterogalactan : antinociceptive and anti-inflammatory effects. Food Chemistry, 111(3) : p. 531-537.
- Carlile MJ., & Watkinson SC., 1994. The fungi. British Library, 2 : p. 34.
- Carr AC., & Frei B., 1999. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. Am. J. Clin. Nutr, 69 : p. 1086-1107.
- CARR AC., & FREI B., 1999. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. Am J Clin Nutr, 69 : p. 1086-107.
- Casalino E., Sblano C., & Landriscina C., 1997. Enzyme activity alteration by cadmium administration to rats The possibility of iron involvement in lipid peroxidation, 346 : p.171-179.
- Cerruti PA., 1985. Pro-oxidant states and tumor activation. Science, 227 : p. 375-81.
- Chan HWS., 1971. Singlet oxygen analogs in biological systems : coupled oxygenation of

- 1,3- dienes by soybean lipoxidase. *J Am Chem Soc*, 93(9) : p. 2357–8.
- Chang ST., & Wasser SP., 2012. The role of culinary-medicinal mushrooms on human welfare with a pyramid model for human health. *Int. J. Med. Mushrooms*, 14 : p. 95-134.
- Chang ST., 2009. Medicinal mushroom products : nutraceuticals and/or pharmaceuticals ? *ACTA Edulis Fungi*, 16 : 80-86.
- Chang ST., Buswell JA., 2003. Medicinal mushrooms a prominent source of nutraceuticals for the 21st century. 1(3) :257–80.
- Chang ST., Buswell JA., 2008. Safety, quality control and regulational aspects relating to mushroom nutraceuticals. *Proceedings of the 6th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products*. p : 188–96.
- Chang ST., Miles PG., 2004. *Mushrooms cultivation nutritional value medicinal effect and environmental impact*. 2nd ed. Boca Raton (FL) : CRC Press. 451 pp.
- Charles EL., 2004. Polyphenol Content and Antioxidant Activity of Fourteen Wild Edible Fruits from Burkina Faso. *Molecules*, 13(3) : p. 581-594.
- Chem Fax Comparing teneur en vitamine C dans les jus de fruits , Flinn Scientific, Inc (2009) [http://www.flinnsci.com/Documents/newsPDFs/CF030300.pdf/](http://www.flinnsci.com/Documents/newsPDFs/CF030300.pdf) [Consulté le 30 avril 2016).
- Chen H., Ju Y., Li J., & Yu M., 2012. Antioxidant activities of polysaccharides from *Lentinus edodes* and their significance for disease prevention. *Int J Biol Macromol*, 50 : p. 214-218.
- Cheng HH., Hou WC., & Lu ML., 2002. *J Agric Food Chem*, 50: p. 7438-43.
- Cheung LM., Cheung PCK., & Ooi VEC., 2003. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. *Food Chemistry*, 81(2) : p. 249—255.
- Cheung PCK., 1996. *Nutr Res*, 16 : p.1721-5.
- Chew BP., 1995. Antioxidant vitamins affect food animal immunity and health. *J. Nutr.*, 125 : p. 1804-1808.
- Chibata I., Okumura K., Takeyama S., & Kotera K., 1969. *Experientia*, 25: p. 1237-8.
- Chihara G., Hamuro J., Maeda YY., Shiio T., Suga T., Takasuka N., & Sasaki T., 1987. Antitumor and metastasis-inhibitory activities of lentinan as an immunomodulator: an overview. *Cancer detection and prevention. Supplement*, 1: p. 423-443.
- Choi EJ., Park ZY., & Kim EK., 2016. Chemical composition and inhibitory effect of *Lentinula edodes* ethanolic extract on experimentally induced atopic dermatitis in vitro and in

vivo. *Molecules*, 21(8): p. 993-13.

-Church DF., & Pryor WA., 1985. Chimie des radicaux libres de la fumée de cigarette et ses implications toxicologiques *Environ Health Perspect*, 64 : p. 111-126.

-Church DF., & Pryor WA., 1985. Free-radical chemistry of cigarette smoke and its toxicological implications. *Environmental Health Perspectives*, 64 : p. 111-126.

-Cillard J., 2011. Physiopathologie du Stress Oxydant : Faculté de Pharmacie Université de Rennes « Mouvement-Sport-Santé ».

-Cipriani TR., Mellinger CG., de Souza LM., Baggio CH., Freitas CS., Marques MC., Gorin PA., Sasaki GL., & Iacomini MA., 2006. Polysaccharide from a tea (infusion) of *Maytenus ilicifolia* leaves with anti-ulcer protective effects. *J. Nat. Prod*, 69 : p. 1018- 1021.

-Collard J., 2014. Stress oxydant.

-Collins L., 2006. *Phellinus linteus* sensitises apoptosis induced by doxorubicin in prostate cancer. *Br J Cancer*.

-Cortese MM., Suschek CV., Wetzel W., Kroncke KD., & Kolb-Bachofen V., 2008. Zinc protects endothelial cells from hydrogen peroxide via Nrf2- dependent stimulation of glutathione biosynthesis. *Free Radic Biol Med*, 44 : p. 2002-12.

-Courbebaisse M., & SOUBERBIELLE JC., 2011. Equilibre phosphocalcique : régulation et explorations. *Nephrol Ther*, 7(2) : p.118-38.

D

-Dai X., Stanilka JM., Rowe CA., Esteves EA., Nieves C Jr., Spaiser SJ., Christman MC., Langkamp-Henken B., & Percival SS., 2015. Consuming *Lentinula edodes* (Shiitake) Mushrooms Daily Improves Human Immunity : A Randomized Dietary Intervention in Healthy Young Adults. *J Am Coll Nutr*, 11 : p. 1-10.

-Davenport AM., Huber FM., & Hoelz A., 2014. Structural and functional analysis of human SIRT1. *J. Mol. Biol*, 426 : p. 526-541.

-David S., 2009. *Edible and Medicinal Mushrooms of New England and Eastern Canada : A Photographic Guidebook to Finding and Using Key Species Paperback – Illustrated*.

-De Grey ADNJ., 2002. HO₂ · : the forgotten radical. *DNA Cell Biol*. 21 : p. 251-7.

-De Pinho PG., & Ribeiro B., 2008. Correlation between the pattern volatiles and the overall aroma of wild edible mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(5) : p. 1074-1712.

- De Silva D., Rapior S., Sudarman E., Stadler M., Xu J., Aisyah Alias S., & Hyde KD., 2013. Bioactive metabolites from macrofungi : Ethnopharmacology, Biological activities, Chemistry Fungal Diversity, 62(1) : p. 1-40.
- Deepalakshmi K., & Mirunalini S., 2014. Pleurotus ostreatus: An Oyster Mushroom with Nutritional and Medicinal Properties. Journal of Biochemical Technology, 5 : p. 718-726.
- Denoyer D., Masaldan S., La Fontaine S., & Cater MA., 2015. Cibler le cuivre dans le traitement du cancer : «Copper That Cancer». Metallomics. 7 (11) : p. 1459-1476.
- Diallo I., Michel A., Poucheret P., Morel S., Vitou M., Traoré L., Rapior S., & Fons F., 2017. Lentinula edodes (Shiitake) : Intérêt nutritionnel, potentiel thérapeutique et risques. 27èmes Journées Scientifiques des Enseignants-Chercheurs en Sciences Végétales et Fongiques des UFR de Pharmacie francophones STOLON.
- Diallo I., Michel A., Poucheret P., Morel S., Vitou M., Traoré L., Rapior S., & Fons F., 2018. Lentinula edodes (Shiitake) et cancer : Propriétés pharmacologiques, essais cliniques et preuves d'efficacité. ICEPS Conférence 2018, 6ème édition. Cancer : l'efficacité des Interactions Non Médicamenteuses.
- Diamanti-Kandarakis., Papalou E., Kandaraki O., & Kassi EA., 2017. G MECHANISMS IN ENDOCRINOLOGY Nutrition as a mediator of oxidative stress in metabolic and reproductive disorders in women. Eur. J. Endocrinol, 176 : p. 79-99.
- Díez V., & Alvarez A., 2001. Compositional and nutritional studies on two wild edible mushrooms from northwest Spain. Food Chemistry, 75(4) : p. 417-422.
- Dröge W., 2002. Free Radicals in the Physiological Control of Cell Function', Physiol Rev, 82(1) : p. 47-95.
- Duve C., & Baudhuin P., 1966. Peroxisomes (microbodies and related particles). Physiol Rev, 46(2) : p. 323-57.

E

- El-Agamey A., Lowe GM., McGarvey DJ., Mortensen A., Phillip DM., Truscott TG & et al., 2004. Carotenoid radical chemistry and antioxidant/pro-oxidant properties. Arch Biochem Biophys. 430 : p. 37-48.
- Elsayed A., Elsayed., Hesham El Enshasy., Mohammad AM., Wadaan., & Ramlan Aziz., 2014. Mushrooms: A Potential Natural Source of Anti-Inflammatory Compounds for Medical Applications.

-Emilia B., Grażyna J., & Zofia L., 2006. EDIBLE MUSHROOMS AS A SOURCE OF VALUABLE NUTRITIVE CONSTITUENTS. Agricultural University of Cracow.

-Emilia Bernaś., Grażyna Jaworska., & Zofia Lisiewska., 2006. EDIBLE MUSHROOMS AS A SOURCE OF VALUABLE NUTRITIVE CONSTITUENTS. Agricultural University of Cracow.

-Euzéby., 2008. Grand dictionnaire illustré de parasitologie médicale et vétérinaire, Tec & Doc, paris : p. 818.

F

-Falandysz J., & Borovicka B., 2013. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms : Health benefits and risks. Appl. Microbiol. Biotechnol. 97 : p. 477-501.

-Falandysz J., Kunito T., Kubota R., Gucia M., Mazur A., Falandysz JJ., & Tanabe S., 2008. Some mineral constituents of Parasol Mushroom (*Macrolepiota procera*). Journal of Environmental Science and Health, 43(2) : p. 187-192.

-Fang N., Li Q., Yu S., Zhang J., He L., Ronis MJ., & Badger TM., 2006. Inhibition of growth and induction of apoptosis in human cancer cell lines by an ethyl acetate fraction from shiitake mushrooms. Journal of Alternative & Complementary Medicine, 12(2) : p.125-132.

-FAO., 2006. Champignons comestibles sauvages. Vue d'ensemble sur leurs utilisations et leur importance pour les populations. Produits forestiers non ligneux. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. p .157.

-Favier A., 2003. Le stress oxydant - Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique/L'actualité chimique. P.109.

-Favier A., 2003. Le stress oxydant, Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. 108-115

-Favier Cl., Lejeune L., Staub H., & Goetz P., 2006 .Zingiber officinale Roscoe, Phytothérapie. 2 : p. 99-102.

-Ferrari GP., Soares AA., Bazanella GCD., Bracht A., De Souza CGM., Boer CG., & Peralta RM., 2012. Antioxidant properties of the most common edible mushrooms consumed in Brazil. In book : Mushrooms: Types, Properties and Nutrition. Nova Science Publishers Inc. New York, USA. P. 285-297.

- Ferreira ICFR., Barros L., & Abreu RMV., 2009. Antioxidants in wild mushrooms. *Curr. Med.Chem.* 16: p. 1543-1560.
- Filipa S., Reis A., Lillian BA., Anabela MB., Isabel CFR., & Ferreira AB., 2012. Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms: An inter-species comparative study. *Food and Chemical Toxicology*, 50: p. 191-197.
- Finkel T., & Holbrook N., 2000. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing, 408 : p. 239-247.
- Finley JW., Kong AN., Hintze KJ., Jeffery EH., Ji LL., & Lei XG., 2011. Antioxidants in foods : State of the science important to the food industry. *J. Agric. Food Chem*, 59 : p. 6837-6846.
- Finley., JW., Kong AN., Hintze KJ., Jeffery EH., Ji LL., & Lei XG., 2011. Antioxidants in foods : State of the science important to the food industry. *J. Agric. Food Chem*, 59 : p. 6837-6846.
- Flora SJS., Mittal M., & Mishra D., 2009. Co-exposure to arsenic and fluoride on oxidative stress, glutathione linked enzymes, biogenic amines and DNA damage in mouse brain. *Journal of the Neurological Sciences*, 285(1-2) : p. 198-205. Mates et al., 1999
- Fridovich I., 1995. Superoxide Radical and Superoxide Dismutases. *Annual Review of Biochemistry*, 64(1) : p. 97-112.
- Fukushima M., Nakano M., Morii Y., Ohashi T., Fujiwara Y., & Sonoyama K., 2000. *J Nutr*, 130: p. 2151-6.
- Fukushima M., Ohashi T., Fujiwara Y., Sonoyama K., & Nakano M., 2001. *Exp Biol Med*, 226 : p. 758-65.

G

- Geneva., & Switzerland., 2002. WHO Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. In *Proceedings of the WHO/FAO Expert Consultation on Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases*.
- Giuseppe., & lanzi., 2020. Valeur alimentaire des champignons.
- Givelet PH., 2011. Compléments alimentaires à base de champignons. Diplôme d'études spécialisées de Docteur en Pharmacie : Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lille : Université de Lille, p.2- 92.
- Goltzman D., 2018. Functions of vitamin D in bone. *Histochem Cell Biol*, 149(4) : p. 305-

312.

-Grandjean., & Dominique., 2005. Prevention nutritionnelle du stress oxydatif cellulaire. Antioxydants : mode ou réalité biologique Nouveau Praticien Veterinaire. P. 61-66.

-Grangeia C., Heleno SA., Barros L., Martins A., Ferreira ICFR., 2011. Effects of trophism on nutritional and nutraceutical potential of wild edible mushrooms. Food Res. Int. 44 : p. 1029-1035.

-Grochowski., 1990. Edible mushrooms as a source of valuable nutritive constituents. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment, 51(1) : p. 5-20.

-gtsites.fr. Valeur nutritive des champignons <https://www.champignons-de-paris.com/3/articles/174/valeur-nutritive-des-champignons> (accessed Jul 4, 2020).

-Guillamon E., Garc'ia-Lafuente A., & Lozano M et al., 2010. Edible mushrooms : role in the prevention of cardiovascular diseases, Fitoterapia, 81 : p.715-723.

-Gunawardena D., Shanmugam K., Govindaraghavan S., Low M., Bennett L., Head R., Ooi L., & Munch G., 2014. Determination of anti-inflammatory activities of standardised preparations of plant- and mushroom-based foods. European Journal of Nutrition, 53(1): p. 335-343.

H

-Hagemeyer J., 1999. Heavy Metal Stress in Plants : From Molecules to Ecosystems Prasad M.N.V., Ed., Springer: New York, NY, USA, p. 401.

-Haleng J., Pincemail J., Defraigne JO., Charlier C., & Chapelle JP., 2007. Le stress oxydant / Rev Med Liege. 62(10): p. 628.

-Hall IR., Wang Y., Zambonelli A., & Danell E., 2001. Edible ectomycorrhizal mushrooms and their cultivation. Proceedings of the second international conference on edible ectomycorrhizal mushrooms. CD-ROM. Christchurch, New Zealand Institute for Crop and Food Research Limited.

-Halliwell B., & Gutteridge JMC., 1989. Lipid peroxidation : a radical chain reaction. In : Free Radicals in Biology and Medicine. Clarendon Press, pp. 139-187.

-Halliwell B., Clement MV., & Long LH., 2000. Hydrogen peroxide in the human body. FEBS Lett. 486(1) : p. 10-3.

-Hampton MB., bouilloire AJ., & Winterbourn CC., 1998. À l'intérieur du phagosome neutrophile: oxydants, myéloperoxydase et destruction bactérienne. Blood .92: p. 3007-3017.

- Handayani PW., & Lisdianingrum W. 2011. Impact analysis on free online marketing using social network Facebook : Case study SMEs in Indonesia.
- Hawksworth DL., 2001. The magnitude of fungal diversity : the 1.5 million species estimate revisited, 105(12) : p. 1422-1432.
- Hayaishi O., & Nozaki M., 1969. Nature and mechanisms of oxygenases. *Science*. 164 : p. 389-96.
- Heim KE., Tagliaferro AR., & Bobilya DJ., 2002. Flavonoid antioxidants : chemistry, metabolism and structure–activity relationships. *J Nutr Biochem*, 13 : p. 572-8.
- Hernanz R., Briones AM., Salaices M., & Alonso M J., 2014. New roles for old pathways A circuitous relationship between reactive oxygen species and cyclo-oxygenase in hypertension, 126 : p. 111-121.
- Hiraku Y., 2010. The role of iNOS-mediated DNA damage in infection- and asbestos-induced carcinogenesis, 40 : p. 15-22.
- Hojo Y., Okado A., Kawazoe S., & Mizutani T., 2000. In vivo singlet oxygen generation in blood of chromium(VI)-treated mice an electron spin resonance spin-trapping study. *Biol Trace Elem Res*. 76(1) : p. 85-93.
- Holick MF., 2009. Vitamin D status: measurement, interpretation, and clinical application. *Ann Epidemiol* 19(2): p. 73-8.
- Hotamisligil GS., 2006. Inflammation and metabolic disorders, 444 : p. 860-867.
- Hou YC., Wu CC., Liao MT., & et al., 2018. Role of nutritional vitamin D in osteoporosis treatment. *Clin Chim Acta*. 484 : p. 179-191.
- Houstis N., Rosen ED., & Lander ES., 2006. Reactive oxygen species have a causal role in multiple forms of insulin resistance, 440 : p. 944-948.
- Hrycaj., Eugene G., Bandiera., & Stelvio M., 2015. Monooxygenase, Peroxidase and Peroxygenase Properties and Reaction Mechanisms of Cytochrome P450 Enzymes. *Book Series*, 851: p. 1-61.
- Huang B., DaCosta M., & Bingru H., 2007. Changes in Antioxidant Enzyme Activities and Lipid Peroxidation for Bentgrass Species in Response to Drought Stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132(3) : p. 319-326.
- Huang BH., Yung KH., & Chang ST., 1985. The sterol composition of *Volvariella volvacea* and other edible mushrooms. *Mycologia*, 77 : p. 959-63.

I

-Ikekawa T., Uehara N., Maeda Y., Nakanishi M., & Fukuoka F., 1969. Antitumor activity of aqueous extracts of edible mushrooms. *Cancer research*, 29(3) : p. 734-735.

-*Immunol*, 27: p. 97–140.

-Ingold K.U., Bowry V.W., Stocker R., & Walling, C., 1993. Autoxidation of lipids and antioxidation by alpha-tocopherol and ubiquinol in homogeneous solution and in aqueous dispersions of lipids - unrecognized consequences of lipid particle-size as exemplified by oxidation of human low-density-lipoprotein. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 90 : p. 45-49.

-Islam T., Ganesan K., & Xu B., 2019. New Insight into Mycochemical Profiles and Antioxidant Potential of Edible and Medicinal Mushrooms : A Review. *Int J Med Mushrooms*. 21(3) : p. 237-251.

-Iwalokun BA., 2010. Comparative phytochemical evaluation, antimicrobial and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus*, 6(15).

-Iwashina T., 2000. The structure and distribution of the flavonoids in plants. *J. Plant Res*. 113 : p. 287-299.

J

-Jacob R., 1995. The integrated antioxidant system. *Nutrition Research*, 15 (5) : p. 755-66.

Jayachandran M., Xiao J., & Xu B., 2017. A Critical Review on Health Promoting Benefits of Edible Mushrooms through Gut Microbiota. 8,18(9) : p.1934.

-JD Dziezak., 1986. Antioxydants-La réponse ultime à l'oxydation *Alimentation Technol*. 40 (9) : p. 94 – 102.

-Jiang Q., Christen S., Shigenaga MK., & Ames BN., 2001. gamma-Tocopherol, the major form of vitamin E in the US diet, deserves more attention. *Am. J. Clin. Nutr*, 74 : p. 714-722.

-JJ Macheix., & Fleuriet AJ., 1990. *BillotPhénoliques des fruits* CRC Press.

-Jones DP., & Radi R., 2014. Redox pioneer : professor Helmut Sies. *Antioxid Redox Signal*, 21(18) : p. 2459-68.

-Jose N., & Janardhanan KK., 2004. *Phytother Res*, 18 : p. 43-6.

-Julien V., Stockis J., Tison A., Taper HS., & Calderon PB., 2006. Oxidative stress by ascorbate/menadione association kills K562 human chronic myelogenous leukaemia cells and inhibits its tumour growth in nude mice. *Biochemical Pharmacology*, 72(6) : p. 671–680.

K

- Kalač P., 2012. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms, in *Mushrooms : Types, Properties and Nutrition*.
- Kamal-Eldin A., & Appelqvist LA., 1996. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. *Lipids*, 31 : p. 671701.
- Kanofsky JR., 1983. Singlet oxygen production by lactoperoxidase. *J Biol Chem*, 258(10): p. 5991-3.
- Kanovsky JR., 1989. Singlet oxygen production by biological systems. *Chem Biol Interact*, 70(1-2) : p. 1-28.
- Keles A., Koca I., & Gençlelep H., 2011. Propriétés antioxydantes des champignons sauvages comestibles *J Process Technol alimentaire*, 2 : p. 3-6.
- Keven K., Ergu I., Uruc I., Yakup E., Basol C., Erden I., & Karatan O., 2006. The safety of gadolinium in patients with stage 3 and 4 renal failure. *Nephrol Dial Transplant*, 21 : p. 697-700.
- Khatun K., Mahtab H., Khanam PA., Sayeed MA., & Khan KA., 2007. *Mymensingh Med*, 16: p. 94-9.
- Kim MY., Seguin P., Ahn JK., Kim JJ., Chun SC., Kim EH., & et al., 2008. Concentration en composés phénoliques et activités antioxydantes des champignons comestibles et médicinaux de Corée *J Agric Food Chem*, 56 : p. 7265-7270.
- Kim SH., Song YS., Kim SK., Kim BC., Lim CJ., & Park EH., *Ethnopharmacology*, 93 : p. 141-6.
- Kitzberger CSG., Junior AS., Pedrosa RC., & Ferreira SRS., 2007. Antioxidant and antimicrobial activities of shiitake (*Lentinula edodes*) extracts obtained by organic solvents and supercritical fluids. *Journal of Food Engineering*, 80(2) : p. 631-638.
- Klaus A., Kozarski M., Niksic M., Jakovljevic D., Todorovic N., & van Griensven.,
- Kozarski M., Klaus A., Jakovljevic D., Todorovic N., Vunduk J., Petrović P., & et al., 2015. Antioxydants des champignons comestibles *Molecules*, 20 : p. 19489 – 19525.
- Kozarski M., Klaus A., Jakovljevic D., Todorovic N., Niksic M., van Griensven LJLD., & Vrvic MM., 2014. Dietary polysaccharide extracts of *Agaricus brasiliensis* fruiting bodies : Chemical characterization and bioactivities at different levels of purification. *Food Res. Int*, 64 : p. 53-64.
- Kozarski M., Klaus A., Niksic M., Vrvic MM., Todorovic´ N., Dragica Jakovljevic´., & Van

Griensven LJLD., 2012. Antioxidative activities and chemical characterization of polysaccharide extracts from the widely used mushrooms *Ganoderma applanatum*, *Ganoderma lucidum*, *Lentinus edodes* and *Trametes versicolor*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 26 : p. 144-153.

-Kozarski M., Klaus A., Vunduk J., Zizak Z., Niksic M., Jakovljevic D., Vrvic MM., & van Griensven LJLD., 2015. Nutraceutical properties of the methanolic extract of edible mushroom *Cantharellus cibarius* (Fries) : Primary mechanisms. *Food Funct*, 6 : p. 1875-1886.

-Krimmel B., Swoboda F., Solar S., & Reznicek G., 2010. OH-radical induced degradation of hydroxybenzoic- and hydroxycinnamic acids and formation of aromatic products : A gamma radiolysis study. *Radiat Phys Chem*, 79 : p. 1247-1254.

-Ksouri R., Oueslati S., Falleh H., Pichette A., Abdelly C., & Legault J., 2012. Phenolic content, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer activities of the edible halophyte *Suaeda fruticosa* Forssk. *Food Chemistry*, 132(2) : p. 943-947.

-Kulda V., 2012. Metabolizmus vitaminu D [Vitamin D metabolism]. *Vnitr Lek*, 58(5) : p. 400-404.

-Kumar RS., Narasingappa RB., Joshi CG., Girish TK., Prasada Rao UJ., & Danagoudar A., 2017. Evaluation of *Cassia tora* Linn. against Oxidative Stress-induced DNA and Cell Membrane Damage/*J Pharm Bioallied Sci*, 9(1) : p. 33-43.

-Kundaković T., & Kolundžić M., 2013. Therapeutic properties of mushrooms in managing adverse effects in the metabolic syndrome, 13(21) : p. 2734-44.

-Kuntz S., Wenzel U., & Daniel H., 1999. Comparative analysis of the effects of flavonoids on proliferation, cytotoxicity, and apoptosis in human colon cancer cell lines. *Eur. J. Nutr*, 38 : p.133-142.

-Kuppusamy P., & Zweier JL., 1989. Characterization of f Michelson ree radical generation by xanthine oxidase. Evidence for hydroxyl radical generation. *J Biol Chem*, 264(17): p. 9880-4.

L

- Lambret L., 2001. Champignons : les syndromes d'intoxication. *Le Quotidien du médecin*, 6991.

-Lampi AM., Kataja L., Kamal-Eldin A., & Vieno P., 1999. Antioxidant activities of alpha- and gamma-tocopherols in the oxidation of rapeseed oil triacylglycerols. *J. Am. Oil Chem. Soc*, 76 : p. 749755.

- Le Marchand L., 2002. Cancer preventive effects of flavonoids--a review. *Biomed.Pharmacother*, 56 : p. 296-301.
- Lee J., Koo N., & Min D.B., 2004. Reactive Oxygen Species, Aging, and Antioxidative Nutraceuticals/ comprehensive reviews in food science and food safety, 3 : p. 22-23.
- Leewenburgh C., Hansen PA., & Holloszy JO ., 1999. La génération de radicaux hydroxylespendant l'exercice augmente l'oxydation des protéines mitochondriales et les niveaux de dityrosine urinaire. *Free Radic Biol Med* ,27(1-2) : p. 186-192.
- Lemieszek KA., Maria F., Mikolaj M., & Leszek G., 2013. A Comparison of Attitudes Toward Euthanasia Among Medical Students at Two Polish Universities. *Journal of Cancer Education*, 28 : p. 384-391.
- Li Y., & Schellhorn HE., 2007. New developments and novel therapeutic perspectives for vitamin C. *J. Nutr*, 137: p. 2171-2184.
- Li Y., Wong B H C., Liang Y., & Sun H., 2013. *PloS One*, 8 : p. 56686.
- Linnane AW., Zhang C., Yarovaya N., & coll., 2002. Vieillesse humaine et fonction globale de la coenzyme Q10. *Ann NY Acad Sci*, 959: p.396-4117.
- Lipinski B., 2005. Rationale for the treatment of cancer with sodium selenite. *Med.Hypotheses*, 64(144) : p. 806-810.
- Liu RH. 2004. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action.*J. Nutr*, 134: p. 3479-3485.
- LJLD., 2011. Antioxidative activities and chemical characterization of polysaccharides extracted from the basidiomycete *Schizophyllum commune*. *LWT Food Sci. Technol*, 44 : p. 2005-2011.
- Lo TCT., Chang CA., Chiuc KH., Tsayd PK., & Jena JF. 2011. Correlation evaluation of antioxidant properties on the monosaccharide components and glycosyl linkages of polysaccharide with different measuring methods. *Carbohydr. Polym*, 86 : p. 320-327.
- Lobo V., Patil A., Phatak A. & Chandra N., 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health', *Pharmacognosy Reviews*, 4(8): p. 118.
- London: Academic Press, p. 320.
- Lopez E., Arce C., Oset-Gasque MJ., Canadas S., & Gonzalez M P., 2006. Cadmium induces reactive oxygen species generation and lipid peroxidation in cortical neurons in culture. *Free Radic. Biol. Med*, 40 : p. 940-951.

- Losel DM., 1989. Functions of lipids: specialized roles in fungi and algae. In: *Microbial Lipids*.
- Lu R., 2012. Conrad Perera and Yacine Hemar, Antitumor activity of mushroom polysaccharides.
- Lull C., Wichers HJ., & Savelkoul HFJ., 2005. Anti inflammatory and Immunomodulating Properties of Fungal Metabolites. *Mediators of Inflammation*, 2 : p. 63-80.
- Luo Y., Wu Y., & Wang Q., 2012. Antioxidant and antimicrobial properties of essential oils encapsulated in zein nanoparticles prepared by liquid–liquid dispersion method. *LWT - Food Science and Technology*, 48(2) : p. 283-290.

M

- M. D'Archivio C., & Filesi R., 2010. Vari Biodisponibilité des polyphénols : état et controverses *J Mol Sci* , 11 : p. 1321 – 1342.
- Manach C., Scalbert A., Morand C., Remesy C., Jimenez L., 2004. Polyphenols: Food sources and bioavailability. *Am. J. Clin. Nut*, 79: p. 727-747.
- Mandal PK., & Saharan S., 2014. The Emerging Role of Glutathione in Alzheimer's Disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, 40(3) : p. 519-529.
- Manzi P., Pizzoferrato L., 2000. Beta-glucans in edible mushrooms. *Food Chem.* 68 (3), 315-318.
- Marcoff L., & Thompson PD., 2007. The role of coenzyme Q10 in statin-associated myopathy: a systematic review. *J Am Coll Cardiol*, 49(23): p. 2231-7.
- María Elena V., Talía Hernández-Pérez., & Octavio Paredes-López., 2014. *Edible Mushrooms: Improving Human Health and Promoting Quality Life*.
- Matés JM., Pérez-Gómez C., & De Castro IN. 1999. Antioxidant enzymes and human diseases. *Clinical Biochemistry*, 32(8) : p. 595-603.
- Mattila P., Konko K., Eurola M., & Pihlava JM., 2001. Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compound in cultivated mushrooms. *Journal Of Agricultural and Food Chemistry*, 49 : p. 2343-2348.
- Mattila P., Suonpaa K., & Piironen V., 2000. Functional properties of edible mushrooms. *Nutrition*, 16 : p. 694-696.
- Mattila P., Suonpää K., & Piironen V., 2000. Propriétés fonctionnelles des champignons comestibles. *Nutrition*, 16 (7–8) : p. 694-6.

- Mattila PH., Piironen VI., Uusi-Rauva EJ., Koivisto PE., 1994. Vitamin D contents in edible mushrooms. *J. Agric. Food Chem*, 42: p. 2449-2453.
- Mattilda P., 2001. Evaluation of the Chemical and Antioxidant Properties of Wild and Cultivated Mushrooms of Ghana. *Molecules*, 19(12) : p. 19532-19548.
- Mauger JF., Lichtenstein AH., Ausman LM., Jalbert SM., Jauhiainen M., & Ehnholm C., 2003. *Am J Clin Nutr*, 78 : p. 370-5.
- Mauger JF., Lichtenstein AH., Ausman LM., Jalbert SM., Jauhiainen M., & Ehnholm C., 2003. *Am J Clin Nutr*, 78: p. 370-5.
- McNamara HS., Eshkinazi D., & Mary Ann., 1999. Dietary supplement legislation. p : 199-204.
- Mendel Friedman., 2016. Mushroom Polysaccharides Chemistry and Antiobesity, Antidiabetes, Anticancer, and Antibiotic Properties in Cells, Rodents, and Humans. *Foods*. 5(4) : p. 80.
- Mensink RP., Zock PL., Kester AD., & Katan MB., 2003. *Am J Clin Nutr*, 77 : p. 1146-55.
- Mercan D., 2010. Le Stress Oxydatif : 4-11. <https://www.ar-l.ch/Docs/mercan.pdf>. Michelson AM., McCord JM., Fridovich I., 1977. Superoxide and Superoxide Dismutases.
- Migdal C., & Serres M., 2011. Reactive oxygen species and oxidative stress. *Med Sci MS*, 27(4): p. 405-12.
- Milovanovic I., Stajic M., Stanojkovic T., Knezevic A., Vukojevic J., 2015. Effects of selenium presence in mycelia of *Ganoderma* species (higher basidiomycetes) on their medicinal properties. *Int. J. Med. Mushrooms*, 17: p. 11–20.
- Mironczuk-Chodakowska I., Socha K., Witkowska AM., Zujko ME., & Borawska MH., 2013. Cadmium and lead in wild edible mushrooms from the eastern region of Poland s “Green Lungs”. *Pol. J. Environ. Stud*, 22: p. 1759-1765.
- Mirunalini S., & Deepalakshmi K., 2014. *Pleurotus ostreatus* : an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. *Journal of biochemistry and technology*, 5(2) : p.18-726.
- Miyazawa N., Okazaki M., & Ohga S., 2008. *J Oleo Sci*, 57 : p. 675-81.
- Morel Y., & Barouki R., 1999. Repression of gene expression by oxidative stress. *Biochem J*. p. 481-96.
- Mori K., Kobayashi C., Tomita T., Inatomi S., & Ikeda M., 2008. *Nutr Res*, 28 : p. 335-42.
- Moro C., Palacios I., & Lozano M., 2012. Anti-inflammatory activity of methanolic extracts

from edible mushrooms in LPS activated RAW 264.7 macrophages. *Food Chemistry*, 130(2) : p. 350-355.

-Mueller L., & Boehm V., 2011. Activité antioxydante des composés β – carotène dans différents tests in vitro *Molecules*, 16 : p. 1055 -1069.

-Mujic I., Zekovic Z., Lepojevic Ž., Vidovic S., & Živkovic J., 2010. Antioxidant properties of selected edible mushroom species. *Journal of Central European Agriculture*, 11(4) : p. 387—392.

-Munnich A., Ogier H., Saudubray JM., & Amédée-Manesme O., 1987. *Les Vitamines : aspects métaboliques, génétiques, nutritionnels et thérapeutiques*. Masson, Paris. P. 428.

-Muszyńska B., Grzywacz-Kisielewska A., Kała K., & Gdula-Argasińska J., 2018. Anti-inflammatory properties of edible mushrooms: A review. *Food Chemistry*, 243: p. 373-381.

N

-Neuzil J., & Stocker R., 1993. Bilirubin attenuate radical-mediated damage to serum albumin. *FEBS Lett*, 331: p. 103-104.

-Neyrinck AM., Bindels LB., De Backer F., & Pachikian D., 2009. *Int Immunopharmacol*, 9: p. 767-73.

-Ngo R., 2011. *La mycothérapie inspirée des savoirs ancestraux asiatiques, dans la pratique officinale française*. Thèse d'exercice. Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie. Université Montpellier, 1 : p. 187.

-Nishina PM., & Freedland RA., 1990. *J Nutr*, 120: p. 668-73.

-Nishitani A., Berner G., Sing M., Fujiwara H., & Yasui A., 2013. Direct k-Space Mapping of the Electronic Structure in an Oxide-Oxide Interface. *Claessen*

-Nitschke J., Modick H., Busch E., Von Rekowski RW., Altenbach HJ., & Mölleken., 2000. *Nutr*, 130: p. 2151-6.

-NitschkeJ., Modick H., Busch E., Von Rekowski RW., Altenbach HJ., & Mölleken., 2011. A new colorimetric method to quantify β -1, 3-1, 6-glucans in comparison with total β -1, 3-glucans in edible mushrooms. *Food chemistry*, 127(2) : p. 791-796.

-Nualart FJ., Rivas CI., Montecinos VP., Godoy AS., Guaiquil VH., Golde DW., & Vera., 2003. Recycling of vitamin C by a bystander effect. *J. Biol. Chem*, 278 : p. 10128-10133.

O

-Oba K., Kobayashi M., Matsui T., Kodera Y., & Sakamoto J., 2009. Individual patient based

metaanalysis of lentinane for unresectable/recurrent gastric cancer. *Anticancer Research*, 29(7): p. 2739-2746.

-Obeagu., & E A., 2018. Review on Free Radicals and Antioxidants. 4 : p. 123-133.

-Outila TA., Mattila PH., Piironen VI., & Lamberg-Allardt CJE., 1999. Bioavailability of vitamin D from wild edible mushrooms (*Cantharellus tubaeformis*) as measured with a human. *Am. J. Clin. Nutr*, 69: p. 95–98.

-Oyetayo VO., & Ariyo OO., 2013. Antimicrobial and Antioxidant Properties of *Pleurotus ostreatus* (Jacq: Fries) Cultivated on Different Tropical Woody Substrates. *Journal of Waste Conversion, Bioproducts and Biotechnology*, 1(2): p.28-32.

P

-Pacheco-Sanchez M., 2006. Polysaccharides ayant une activité immunomodulatrice chez les champignons indigènes du québec. Thèse de Doctorat, Université Laval Québec, Canada. p.119.

-Padayatty SJ., Katz A., Wang Y., Eck P., Kwon O., Lee JH., Chen S., Corpe C., Dutta A., & Dutta SK., 2003. Vitamin C as an antioxidant : Evaluation of its role in disease prevention. *J. Am. Coll. Nutr*, 22 : p. 18-35.

-Paiva CN., & Bozza MT., 2014. Are Reactive Oxygen Species Always Detrimental to Pathogens? *Antioxid. Redox. Signal*, 20: p. 1000-1037.

-Paiva SA., & Russell RM., 1999. Beta-carotene and other carotenoids as antioxidants. *J. Am. Coll. Nutr*, 18: p. 426-433.

-Pandey KB., & Rizvi SI., 2009. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxid. Med. Cell. Longev*, 2: p. 270-278.

-Pelt JM., & Fayard., 1983. *Drogues et plantes magiques*.

-Peter O., 2005. *La culture des champignons à petite échelle*. Editions Janna de Feijter.

-Phan Chia-Wei., David Pamela., & Sabaratnam Vikineswary., 2017. Edible and Medicinal Mushrooms Emerging Brain Food for the Mitigation of Neurodegenerative Diseases, *Journal of Medicinal Food*. 20(1) : 1-10.

-Phillips KM., Horst RL., Koszewski NJ., & Simon RR., 2012. Vitamin D4 in mushrooms.

-*Phys. Rev. Lett*, 110 : p. 247601.

-Pietta PG. Flavonoids as antioxidants. *J Nat Prod* 2000; 63: p. 1035–42.

-Pilz D., Norvell L., Danell E., & Molina R., 2003. General Technical Report PNW-GTR-

576; United States Department of Agriculture (USDA): Portland, OR, USA.

PLoS ONE, 7: p. 40702:1–40702:20.

-Poucheret P., Fons F., & Rapior S. 2006. Biological and pharmacological activity of higher fungi : 20-year retrospective analysis (A review). *Cryptogamie, Mycologie* 27(4) : p. 311-333.

Q

-Qian GM., Pan GF., & Guo JY., 2012. Anti-inflammatory and antinociceptive effects of cordymin, a peptide purified from the medicinal mushroom *Cordyceps sinensis*, *Natural Product Research*, 26(24) : p. 2358-2362.

R

-Radulescu C., Stihl C., Busuioc G., Gheboianu AI., & Popescu IV., 2010. Studies concerning heavy metals bioaccumulation of wild edible mushrooms from industrial area by using spectrometric techniques. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 84: p. 641–646.

-Rao AV., & Rao LG., 2007. Carotenoids and human health. *Pharmacol Res* 55: p. 207-216.

-Rapior S., 2013. Les produits de Santé. In : Ninot G. Démontrer l'efficacité des interventions non médicamenteuses : Questions de points de vue (Psychologie, Santé et Société). P. 35-49. I

-Ratledge C. & S.G. Wilkinson (Eds.). Vol. II, Acad. Press Ltd, 367-438

-Raven PH., Johnson GB., Mason KA., Losos JB., & Singer SR., 2014. *Biologie*, 3ème édition. De Boeck Supérieur, Bruxelles, Belgique. P. 1279.

-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) : p. 191-197.

-Ripert C., 2013. *Mycologie médicale*. Lavoisier. P. 750.

-Rojas C., & Mansur E., 1995. Ecuador : informaciones generales sobre productos non madereros en Ecuador. In *Memoria, consulta de expertos sobre productos forestales no madereros para America Latina y el Caribe*. Serie Forestal #1. Santiago, Chile, FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean, pp. 208-223.

-Ross JA.; & Kasum CM., 2020. Dietary flavonoids: Bioavailability, metabolic effects, and safety. *Annu. Rev. Nutr*, 22: p. 19-34.

-Ruthes AC., Rattmann YD., & Malquevicz-Paiva SM ., 2013. Agaricus bisporus fucogalactan : structural characterization and pharmacological approaches. *Carbohydrate Polymers*, 92 : p. 184-191.

-Rutz JK., Borges CD., Zambiasi RC., da Rosa CG., & da Silva MM., 2016. Elaboration of microparticles of carotenoids from natural and synthetic sources for applications in food. *Food Chem*, 202: p. 324-333.

S

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

-Santo A., Zhu H., & Li YR. 2016. *Reactive Oxygen Species/Cell Med Press*, 2(4): p. 245-263.

-Santoyo GI., & Córdoba-Aguilar A., 2011. Phenoloxidase : a key component of the insect immune system. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 142(1) : p. 1-16.

-Sapers GM., Miller RL., Choi SW., & Cooke PH., 1999. Structure and composition of mushrooms as affected by hydrogen peroxide wash. *J. Food Sci*, 64 (5) : p. 889-892.

-Scalbert, A.; Johnson, I.T.; Saltmarsh, M. Polyphenols: antioxidants and beyond. *Am. J. & Clin. Nutr.* 2005, 81, 215S–217S.

-Schrader M., & Fahimi HD., 2006. Peroxisomes and oxidative stress. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1763 : p. 1755-1766.

-Schubert M., Kluge S., Schmölz L., Wallert M., Galli F., & et al. 2018. Longchain metabolites of vitamin E. Metabolic activation as a general concept for lipid-soluble vitamins *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 7 : p. 1-20.

-Segal A.W., 2005. How neutrophils kill microbes. *Annu. Rev. Immunol*, 23 : p. 197-223.

-Servais S., 2004. Altérations mitochondriales et stress oxydant pulmonaire en réponse à l'ozone : Effets de l'âge et d'une supplémentation en oméga-3.

-Shama V., Joseph., Indika Edirisinghe., Britt M., Burton-Freeman., 2015. Fruit polyphenols: A review of anti-inflammatory effects in humans, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.

-Shao S., Hernandez M., Kramer JKG., Rinker DL., Tsao R., 2010. Ergosterol profiles, fatty acid composition, and antioxidant activities of button mushrooms as affected by tissue and developmental stage. *J Agric. Food Chem*, 58: p. 11616-11625.

-Sharma B., Singh S., & Siddiqi NJ., 2014. Biomedical implications of heavy metals induced imbalances in redox systems. *Biomed. Res. Int*, 640754 : p. 26.

-Sies H., & Menck CF., 1992. Singlet oxygen induced DNA damage. *Mutat Res*, 275: p. 367-

75. Stahl W., Sies H., 2005. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochim*
- Singh S., Wang H., Chan Y., Pan W., Dan X., & Yin C., 2014. Lectins from Edible Mushrooms. *Molecules*, 20(1) : p. 446-469.
- Singh S., Wang H., Chan Y., Pan W., Dan X., Yin C., Akkouch O., & Ng T., 2014. *Molecules*. 20 : p. 446.
- Skurk T., Alberti-Huber., C Herder C., & Hauner H., 2007. Relationship between adipocyte size and adipokine expression and secretion. *J. Clin. Endocrinol. Metab*, 92 : p. 1023-1033.
- Smina TP., Nitha B., Devasagayam TP., & Janardhanan KK., 2017. Ganoderma lucidum total triterpenes induce apoptosis in MCF-7 cells and attenuate DMBA induced mammary and skin carcinomas in experimental animals. *Mutat. Res*, 813 : p. 45-51.
- Smith BL., Marcotte M., & Harrison G., 1996. A comparative analysis of the regulatory framework affecting functional food development and commercialization in Canada, Japan, the European Union and the United States of America. P. 102.
- Smith JE., Rowan NJ., & Tan KK., 2000. Functional food science and the medicinal mushrooms. *Int J Med Mushr*, 2 : p. 2778-5.
- Srinivason V., Maik MS., & Ralf D., 2012. Glutathione (GSH) Synthesis and Metabolism. *Neural Metabolism In Vivo*, 28(4) : p. 1029-1050.
- Stamford NPJ., 2012. Stability, transdermal penetration, and cutaneous effects of ascorbic acid and its derivatives. *Journal of cosmetic dermatology*, 11: p. 310.
- Starkov AA., 2006. Protein-mediated energydissipating pathways in mitochondria. *Chem. Biol. Interact*, 163 : p. 133-144.
- Stihi C., Radulescu C., Busuioc G., Popescu IV., Gheboianu A., & Ene A., 2011. Studies on accumulation of heavy metals from substrate to edible wild mushrooms. *Rom. J. Phys*, 56: p. 257-264.
- Stohs SJ., & Bagchi D., 1995. Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions. *Free RadicalBiology and Medicine*, 18 : p. 321-336.
- Sun Q., Ma J., Campos H., Hankinson SE., Manson JE., & Stampfer MJ., 2007. *Circulation*, 115 : p. 1858-65.
- Suzuki M., & Kajuu T., 1983. *J Nutr Sci Vitaminol*, 29: p. 553-62.

T

- Tabassum A., Bristow RG., Venkateswaran V., 2010. Ingestion of selenium and other

antioxidants during prostate cancer radiotherapy: A good thing? *Cancer Treat Rev.* 36: p. 230-234.

-Tada R., Tanioka A., Iwasawa H., Hatashima Y., Shoji K., Ishibashi ., & et al., 2008. Caractérisation structurale et activités biologiques d'un β -D-glucane de type unique obtenu à partir d'*Aureobasidium pullulans* *Glycoconj J*, 25 (9) : p. 851 – 861.

-Talpur NA., Echard BW., Fan YA., Jaffari O., Bagchi D., & Preuss HG., *Mol Cell Biochem*, 237 : p. 129-36.

-Tangvarasittichai S., 2015. Oxidative stress, insulin resistance, dyslipidemia and type 2 diabetes mellitus. *World J. Diabetes*, 6 : p. 456-480.

-Terpinc P., Polak T., Šegatin N., Hanzlowsky A., Ulrih NP., Abramovič H., 2011. Antioxidant properties of 4-vinyl derivatives of hydroxyl cinnamic acids. *Food Chem*, 128: p. 62-68.

-Thacher TD., & Clarke BL., 2011. Insuffisance en vitamine D *Mayo Clin Proc*, 86 : p. 50-60.

-Tobe T., Ueda K., Ando M., Okamoto Y., & Kojima N., 2015. Thiol-mediated multiple mechanisms centered on selenodiglutathione determine selenium cytotoxicity against MCF-7 cancer cells. *J. Biol. Inorg. Chem*, 20 : p. 687-694.

-Tong L., Chuang CC., Wu S., & Zuo L., 2015. Reactive oxygen species in redox cancer therapy. *Cancer Lett*, 367 : p. 18-25.

-Tonson la Tour A., Wilhelm-Bals A., Gonzalez E., Tang N., & Girardin E., 2012. Le point sur la vitamine D, *Paediatrica*, 23(4) : p. 17.

-Top 10 Foods Highest in Vitamin E You Can't Miss. Available online : <http://healthaliciousness.com/articles/vitamin-E.php> (accessed on 1 July 2015).

-Tsiapali E., Whaley S., Kalbfleisch J., Ensley HE., Browder IW., Williams DL., 2001. Glucans exhibit weak antioxidant activity, but stimulate macrophage free radical activity. *Free Radic. Biol. Med*, 30: p. 393-402.

-Turlo J., Gutkowska B., Klimaszewska M., Kapusta C., Schneider K., Sikora M., Cieslak M., Kazmierczak-Baranska J., Gorski A., Purchla S., & et al., 2011. Selenium-Enriched Polysaccharide Fraction Isolated from Mycelial Culture of *Lentinula edodes* (Berk.)—Preliminary Analysis of the Structure and Biological Activity. In *Mycosourced Molecules and Nutritional Quality, Proceedings of the 7 th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP7)*, Convention Centre, Arcachon. p. 242–246.

-Turunen M., Olsson J., & Dallner G., Metabolism and function of coenzyme. Q *Biochim*

Biophys Acta 2004; 1660:171–199.

U

-Ulziijargal E., & Mau JL., 2011. Nutrient Compositions of Culinary-Medicinal Mushroom Fruiting Bodies and Mycelia. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 13(4) : p. 343-349.

V

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

-Valverde ME., Hernández-Pérez T., & Paredes-López O., 2015. Edible Mushrooms : Improving Human Health and Promoting Quality Life. *International Journal of Microbiology*, p. 1-14.

-Vamanu E., & Nita S., 2013. Antioxidant Capacity and the Correlation with Major Phenolic Compounds, Anthocyanin, and Tocopherol Content in Various Extracts from the Wild Edible *Boletus edulis* Mushroom. *BioMed Research International*, p. 1-11.

-Ververidis F., Trantras E., Douglas C., Vollmer G., Kretzschmar G., & Paunopoulos N., 2007. Biotechnology of flavonoids and other phenylpropanoid-derived natural products. Part 1 : Chemical diversity, impacts on plant biology and human health. *Biotechnol* : p. 1214-1234.

-Vetter J., 2010. Inorganic iodine content of common, edible mushrooms. Victor AV., Rocha M., & De la Fuente M., 2004. Immune cells: free radicals and antioxidants in sepsis. *International Immunopharmacology*, 4(3): p. 327-347.

-Vetvicka V., Vetvickova J., 2007. Effets physiologiques de différents types de β -glucane *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Répu*, 151 (2): p. 225 – 231.

-Vives-Bauza C., Starkov A., & Garcia-Arumi E. 2007. Measurements of the Antioxidant Enzyme Activities of Superoxide Dismutase, Catalase, and Glutathione Peroxidase. *Methods in Cell Biology*, p. 379–393.

-Vos AP., M'Rabet L., Stahl B., Boehm G., & Garsen J., 2007. Immune-modulatory effects and potential working mechanisms of orally applied nondigestible carbohydrates. *Crit. Rev.*

-Votruba I., & Holý A., 1982. *Collect Czech Chem Commun*, 47 : p. 167-72.

-Vunduk J., Klaus A., Kozarski M., Dordevic R., Jovanovic L., & Niksic M., 2014. Zeolites

as possible biofortifiers in Maitake cultivation. *Arch. Biol. Sci*, 66: p. 123-129.

W

-Wang J., Li W., Huang X., Liu Y., Li Q., Zheng Z., & Wang K., 2017. A polysaccharide from *Lentinus edodes* inhibits human colon cancer cell proliferation and suppresses tumor growth in athymic nude mice. *Oncotarget*, 8(1) : p. 610-623.

-Wang S., Zhang L., Yao J., Shi Y., Li P., Ding K., 2015. An arabinogalactan from flowers of *Panax notoginseng* inhibits angiogenesis by BMP2/Smad/Id1 signaling Peipei. *Carbohydrate Polymers* ,121 : p. 328-335.

-Wang Y., Buchanan P., & Hall I., 2002. A list of edible ectomycorrhizal mushrooms. *Dans*

-Wang Y., Fang J., Leonard SS., & Rao KMK., 2004. Cadmium inhibits the electron transfer chain and induces reactive oxygen species. *Free Radic. Biol. Med*, 36 : p. 14341-443.

-Wang Y., Russo TA., Kwon O., Chanock., Rumsey SC., & Levine M., 1997. Ascorbate recycling in human neutrophils : Induction by bacteria. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 94 : p. 13816-13819.

-Wang YC., 1987. Mycology in ancient China. *Mycologist*, 1: p. 59-61.

-Ward NC., Hodgson JM., Puddey IB., Mori TA., Beilin LJ., & Croft KD., 2004. Oxidative stress in human hypertension : Association with anti hypertensive treatment, gender, nutrition, and life style *Free Radic. Biol. Med*, 36 : p. 226-232.

-Wasser DE., 2010. Avian longevities and their interpretation under evolutionary theories of senescence. *Journal of Zoology*, 280(2) : p. 103-155.

-Wasser SP., & Akavia E., 2008. Regulatory issues if mushrooms as functional foods, dietary supplements : safety and efficacy. In : *Mushrooms as functional foods*. Cheung PCK, ed. New York : John Wiley & Sons, Inc, p. 199-228.

-Wasser SP., 2010. Medicinal mushroom science : history, current status, future trends, and unsolved problems. *Int J Med Mushr*, 12 (1) : 1-16.

-Wasser., 2010. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 60(3) : p. 258-274.

-Weete JD., 1980. *Lipid Biochemistry of Fungi and other Organisms*. Plenum Press, New York.

-Wiseman H., 1993. Vitamin D is a membrane antioxidant Ability to inhibit iron-dependent lipid peroxidation in liposomes compared to cholesterol, ergosterol and tamoxifen and

relevance to anticancer action. FEBS Lett, 326: p. 285-288.

-Wright JS., Johnson ER., & DiLabio GA., 2001. Predicting the activity of phenolic antioxidants: theoretical method, analysis of substituent effects, and application to major families of antioxidants. J. Am. Chem. Soc, 123: p. 1173-1183.

X

-Xu X., Yan H., Chen J., & Zhang X., 2011. Bioactive proteins from mushrooms. Biotechnol Adv, 29(6): p. 667-674.

-Xu X., Yasuda M., Nakamura-Tsuruta S., Mizuno M., & Ashida H., 2012. β -Glucan from *Lentinus edodes* inhibits nitric oxide and tumor necrosis factor- α production and phosphorylation of mitogen-activated protein kinases in lipopolysaccharide stimulated murine RAW 264.7 macrophages. Journal of Biological Chemistry, 287(2): p. 871-878.

Y

-Yamaguchi Y., Kagota S., Nakamura K., Shinozuka K., & Kunitomo M., 2000. Phytother Res, 14 : p. 650-2.

-Yang JH., Lin HC., & Mau JL., 2002. Antioxidant properties of several commercial mushrooms. Food Chemistry, 77 : p. 229-235.

Z

-Zawirska-Wojtasiak R., Siwulski M., Mildner-Szkudlarz S., Wąsowicz E. STUDIES ON THE AROMA OF DIFFERENT SPECIES AND STRAINS OF *PLEUROTUS* MEASURED BY GC/MS, SENSORY ANALYSIS AND ELECTRONIC NOSE. Acta Sci. Pol., Technol Aliment, 8(1) : p. 47-61.

-Zekovic DB., Kwiatkowski S., Vrvic MM., Jakovljevic D., & Moran CA., 2005. Crit Rev Biotechnol, 25: p. 205-30.

-Zeng Q., Zhou F., Lei L., Chen J., Lu J., Zhou J., Cao K., Gao L., Xia F., Ding S., & et al., 2016. *Ganoderma lucidum* polysaccharides protect fibroblasts against UVB-induced photoaging. Mol. Med. Rep, 15 : p. 111-116.

-Zhang H., & Tsao R., 2016. Polyphénols alimentaires, stress oxydatif et effets antioxydants et anti-inflammatoires. Current Opinion in Food Science, 8 : p. 33-42.

-Zhang JJ., Li Y., Zhou T., & et al., 2016. Bioactivities and Health Benefits of Mushrooms Mainly from China. Molecules. 21(7): p. 938.

-Zhang L., Ravipati AS., Koyyalamudi SR., Jeong SC., Reddy N., Smith PT., Bartlett J.,

Shanmugam K., Münch G., & Wu MJ., 2011. Antioxidant and anti-inflammatory activities of selected medicinal plants containing phenolic and flavonoid compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(23): p. 12361-12367.

-Zhang N., Chen H., Zhang Y., Ma L., & Xu X., 2013. Comparative studies on chemical parameters and antioxidant properties of stipes and caps of shiitake mushroom as affected by different drying methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(12) : p. 3107-3113.