



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ MOULOU D MAMMERRI –TIZI OUZZOU

FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES
Département de Biochimie et Microbiologie

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme Master II en Biotechnologie Végétale
Option : **Biotechnologie Végétale et Valorisation des Plantes**

Thème

**Contribution biotechnologique à l'évaluation de L'activité
antioxydante des feuilles de *Quercus suber* L. durant la
saison estivale et hivernale (cas de forêt de Beni Ghobri).**

Réalisé par :

KHELF Yasmine

MOULAI Méllissa

Devant le jury :

Président : Mme KADI-BENNANE.S	MCA	UMMTO
Promoteur: Mr HOUALI.K	Professeur	UMMTO
Co-promotrice: Mme HOCEINI-BENTAHA. M		UIK Tiaret
Examinatrice: Mme KADIR. N	MAB	USDB1
Examineur: Mr FACI. M	MAB	UMMTO

2023/2024



Remerciements



Nous remercions Dieu de nous avoir donné la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Au parcours de ce travail, nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*Nous remercions notre promoteur **Mr HOUALI Karim** Professeur à l'Université Mouloud Mammeri, d'avoir encadré ce travail et pour son aide.*

*Encore nous remercions notre Co-promotrice **Mme HOCEINI-BENTAHHA Melia**, doctorante à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret Pour sa patience, son orientation, son soutien et ses encouragements pendant la réalisation de ce mémoire tout au long de ce parcours, sa gentillesse et ses conseils*

*Nous tenons également à remercier **Mme KADI-BENNANE Saliha** enseignante à l'Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, pour avoir accepté la présidence de notre mémoire et les deux examinateurs **Mme KADIR Nassima** enseignante à l'Université de Blida1 et **Mr FACI Massinissa** enseignant à l'Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou d'avoir accepté à examiner notre mémoire.*

Sans oublier les ingénieures des laboratoires de département biochimie et microbiologie qui nous a donné d'aide par rapport au matérielle biologique et au produit chimique.

A la fin notre gratitude à l'ensemble de nos enseignants qui, durant ces cinq années ont tout fait pour nous assurer une formation complète et enrichissante.





Dédicaces



Je dédie ce mémoire

*A mes chers parents ma mère et mon père pour leurs
patience, leurs amour, leurs soutien et leurs encouragements*

A mes frères et A mes chères sœurs que j'aime beaucoup

A toutes ma famille sans exception

A ma binôme Méllissa et toutes sa famille

A mes amis et mes camarades

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit de primaire, du
moyen, du secondaire et de l'enseignement supérieur*

*A tous ceux qui me sont chers et qui me porte de leurs
cœurs.*



Yasmine



Dédicaces

Je dédie ce mémoire

*A mes chers parents ma mère et mon père pour leurs
patience, leurs amour, leurs soutien et leurs encouragements
durant ces années d'études.*

A mes frères Belaid et Adem que j'aime beaucoup

A toutes ma famille

A ma binôme Yasmine et toutes sa famille

A mes amis et mes camarades

*A tous ceux qui me sont chers et qui me porte de leurs
cœurs.*



Mellissa

Table des Matières

Introduction générale	1
I. Présentation de l'espèce	3
I.1 Introduction	3
I.2 Description de <i>Quercus suber</i>	3
I.2.1 Systématique	3
I.2.2 Aire de répartition de <i>Quercus suber</i>	4
I.2.2.1 Dans le monde	4
I.2.2.2 En Algérie	5
I.2.3 Caractéristiques botaniques	6
I.2.3.1 Feuilles	6
I.2.3.2 Fleurs	6
I.2.3.3 Fruit	7
I.2.3.4 Rameux	8
I.2.3.5 Tronc	8
I.2.3.6 Écorce (liège)	9
I.2.3.7 Racines	10
I.3 Exigences écologiques	10
I.3.1 Climat	10
I.3.2 Altitude	10
I.3.3 Facteurs édaphiques :	10
I.3.4 Température	11
I.3.5 Lumière	11
I.4 Cortège floristique	11
I.5 Pathogènes de chêne liège	11
I.5.1 Insectes	11
I.5.2 Champignons	13

I.6	Importance écologique du <i>Quercus Suber</i> L.	13
I.7	Importance économique du <i>Quercus Suber</i> L.	13
I.8	Importance médicale du <i>Quercus Suber</i> L.	14
II.	Stress et mécanismes de défense de la plante.....	17
II.1	Stress oxydatif.....	17
II.1.1	Définition des ERO.....	18
II.1.2	Radicaux libres	18
II.1.2.1	Types des radicaux libres	18
II.1.2.1.1	Radicaux oxygénés	18
II.1.2.2	Radicaux azotés.....	18
II.1.2.3	Site de production des radicaux libres dans la cellule végétale	19
II.1.2.4	Mitochondries	19
II.1.2.5	Réticulum endoplasmique.....	19
II.1.2.5.1	Cytosol.....	19
II.1.3	Cibles d'ERO	19
II.1.3.1	Lipides.....	19
II.1.3.2	L'ADN	19
II.1.3.3	Protéines.....	20
II.2	Antioxydants	20
II.3	Types d'antioxydants	20
II.3.1	Systèmes antioxydants enzymatiques	21
II.3.2	Systèmes antioxydants non-enzymatiques.....	22
II.3.2.1	Vitamines	22
II.3.2.2	Caroténoïdes.....	22
II.3.2.3	Cofacteurs	22
II.3.2.4	Minéraux	23
II.3.2.5	Métabolites secondaires	23
II.3.2.5.1	Biosynthèse des métabolites secondaires	23

II.3.2.5.2	Classification des métabolites secondaires	24
II.3.2.5.2.1	Composés phénoliques	24
II.3.2.5.2.2	Polyphénols	25
II.3.2.5.2.2.1	Acides phénoliques	26
II.3.2.5.2.2.2	Flavonoïdes	26
II.3.2.5.2.2.3	Tannins	26
II.3.2.5.3	Facteurs influence sur la synthèse des métabolites secondaires 27	
II.3.2.5.3.1	Facteurs abiotiques	27
II.3.2.5.3.1.1	Lumière	27
II.3.2.5.3.1.2	Sécheresse	27
II.3.2.5.3.1.3	Froid	27
II.3.2.5.3.1.4	Polluants	27
II.3.2.5.3.1.5	Salinité	28
II.3.2.5.3.1.6	Facteurs édaphiques	28
II.3.2.5.3.2	Facteurs biotiques	28
II.3.2.5.4	Effet des facteurs écologiques sur l'accumulation des métabolites secondaires	29
II.3.2.5.5	L'équilibre de la synthèse des métabolites secondaires	29
III.	Matériels et Méthodes	31
III.1	Présentation de la zone d'étude	31
III.1.1	La situation géographique	31
III.1.2	Description de la zone d'étude.	32
III.2	Échantillonnage des feuilles et des racines :	32
III.3	L'extraction :	32
III.4	L'activité antioxydant	32
III.4.1	Evaluation de l'activité antioxydant par le test de DPPH	33
III.4.2	Evaluation de la capacité antioxydant totale (TAC)	33
III.4.3	Analyse statistique	34

IV. Résultats et discussion	35
IV.1 Activité antioxydant totale (AAT)	35
IV.1.1 Test de DPPH	35
IV.1.2 Test de TAC	38
Conclusion	46
ANNEXE.....	48
Référence bibliographiques	50

Liste des figures

Figure.01 Pourcentage de répartition de <i>Quercus suber</i> L. dans la méditerranée (El Antry et Piazzetta, 2014)	4
Figure.02 Air de répartition de <i>Quercus suber</i> L. en monde (Gil et Varela, 2008) .	4
Figure.03 Air de répartition de <i>Quercus suber</i> L. en Algérie (DGF 2003).....	5
Figure.04 pourcentage de leur superficie en Algérie (2023)	5
Figure.05 les feuilles de <i>Quercus suber</i> L. (KHELF, 2024).....	6
Figure.06 Inflorescence de <i>Quercus suber</i> L. (Aronson et <i>al.</i> , 2009).....	7
Figure.07 le fruit de <i>Quercus suber</i> L. (Aronson et <i>al.</i> , 2009).....	7
Figure.08 les rameaux de <i>Quercus suber</i> L. (KHELF, 2024).....	8
Figure.09 Tronc de <i>Quercus suber</i> L. (Aronson et <i>al.</i> , 2009).....	8
Figure.10 Ecorce de <i>Quercus suber</i> L. (Aronson et <i>al.</i> , 2009)	9
Figure.11 Racines de <i>Quercus suber</i> L.	10
Figure.12 <i>Phyllognathus excavatus</i>	12
Figure.13 <i>Cydia fagiglandana</i>	12
Figure.14 <i>Cydia splendana</i>	12
Figure.15 Effets des <i>Biscogniauxia mediterranea</i> et <i>Diplodia mutila</i>	13
Figure.16 production de bouchon (Aronson et <i>al.</i> , 2009).....	14
Figure.17 Balance du stress oxydant (Burg, 2017).....	17
Figure.18 Classification des antioxydants (Carocho et <i>al.</i> , 2013)	21
Figure.19 Classification des polyphénols (Roszkowski, 2023).....	25
Figure.20 Situation géographique de la zone d'étude (Saccardy) (Google Earth, 2023).....	31
Figure.21 le virage de la couleur de violet vers jaune selon la concentration(DPPH).....	35
Figure.22 Test DPPH par les extraits et l'acide ascorbique.	36
Figure.23 Histogramme des IC50 d'inhibition de radicale libre DPPH pour l'extrait durant les deux saisons.....	37
Figure.24 le virage de la couleur de vert puis bleu selon la concentration (TAC).38	
Figure.25 Histogramme des IC50 de réduction de molybdène.....	39
Figure.26 Test TAC par les extraits et l'acide ascorbique.....	39

Liste des tableaux

Tableau 1: le cortège floristique dans la subéraie (Touafchia et al., 2023).....	11
Tableau 2: Les différentes catégories de métabolites secondaires (Anulika et al., 2016).....	24
Tableau.3 la situation géographique de la station d'étude.	31

Liste des abréviations

AOPP : produit protéique d'oxydation avancée

BHT : hydroxy toluène butyle

DPPH : 2, 2-Diphenyl 1 –picrylhydrazyl

ERO=ROS : Espèces réactives d'oxygènes

FeCl₃:Chlorure ferrique

FRAP: Ferric reducing assay power

H.P.A.E: Hiver Printemps Automne Été

H₂O₂ : peroxyde d'hydrogène

IC50 : Concentration inhibitrice

K₃Fe : Ferricyanure de potassium

RN1 : Les racines niveau 1 de profondeur (0-15cm)

RN2: Les racines niveau 2 de profondeur (15-25cm)

RNS : reactive nitrogen species (espèces réactives de l'azote)

TAC : la capacité antioxydant totale de molybdène

TCA : Trichlorure acide

SOD : Superoxyde Dismutase.

GPx : Glutathion Peroxydase.

Résumé

Le *Quercus suber* L., est une espèce endémique du bassin méditerranéen et des zones côtières de l'Atlantique. Il est reconnu pour sa valeur écologique et socio-économique exceptionnelle. En Algérie, le chêne liège est l'une des espèces forestières les plus précieuses. Les écosystèmes méditerranéens, caractérisés par des étés chauds et des hivers froids, imposent des conditions environnementales rigoureuses aux espèces végétales. Conséquemment, les subérais algériennes connaissent une régression continue année après année. Les plantes comme le *Quercus suber* L., doivent constamment s'adapter à une multitude de stress biotiques et abiotiques. Ces stress induisent souvent un stress oxydatif, marqué par la surproduction d'espèces réactives de l'oxygène. En réponse à ces conditions adverses, les plantes développent divers mécanismes de défense. Dont la production d'antioxydants qui neutralisent les radicaux libres.

Dans l'étude réalisée, nous avons évalué le potentiel antioxydant du *Quercus suber* L. en utilisant deux méthodes spectrophotométriques : DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) et TAC (Total Antioxidant Capacity). Les échantillons des feuilles, ont été prélevés dans la forêt de Beni Ghobri, wilaya de Tizi-Ouzou, au Nord de l'Algérie, pendant les saisons estivale et hivernale. Les résultats obtenus révèlent une variation non significative de l'activité antioxydante entre les saisons. Ces variations indiquent la capacité d'adaptation du *Quercus suber* L. aux diverses conditions de stress environnemental.

Les mots clés : *Quercus suber* L., Activité antioxydant, DPPH, TAC, saisons.

Summary

Quercus suber L. is an endemic species of the Mediterranean basin and Atlantic coastal areas. Its ecological and socio-economic importance is well recognized, especially in Algeria, where it stands as one of the most valuable forest species. Mediterranean ecosystems, characterized by hot summers and cold winters, imposes significant stress on plant species. This harsh environment has contributed to the continuous decline of Algeria's cork oak forests over the years. Plants such as *Quercus suber* L. must constantly adapt to a multitude of biotic and abiotic stresses. These stresses often induce oxidative stress, marked by the overproduction of reactive oxygen species. In response to these adverse conditions, plants develop various defence mechanisms. These include the production of antioxidants that neutralize free radicals.

In this study, we assessed the antioxidant potential of *Quercus suber* L. using two spectrophotometric methods: DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and TAC (Total Antioxidant Capacity). Leaves samples were taken in the Ben Ghobri forest, wilaya of Tizi-Ouzou, northern Algeria, during the summer and winter seasons. The results obtained reveal a no significant variation in antioxidant activity between the different seasons. These observations underscore the cork oak's remarkable ability to adapt to varying environmental stresses by modulating its antioxidant defences according to seasonal and spatial conditions.

Key words: *Quercus suber* L., antioxidant activity, DPPH, TAC, seasons.

ملخص

يعتبر *Quercus suber* L. من الأنواع المتوطنة في حوض البحر الأبيض المتوسط والمناطق الساحلية الأطلسية. وهو معروف بقيمته البيئية والاجتماعية والاقتصادية الاستثنائية. يعتبر بلوط الفلين في الجزائر من أكثر أنواع الغابات قيمة. تفرض النظم البيئية المتوسطة، التي تتميز بصيف حار وشتاء بارد، ظروفًا بيئية قاسية على الأنواع النباتية. ونتيجة لذلك، تتناقص غابات الجزائر الفرعية باطراد عاماً بعد عام. يجب على نباتات مثل *Quercus suber* L. أن تتكيف باستمرار مع العديد من الضغوطات الحيوية وللإحيائية. وغالباً ما تؤدي هذه الضغوطات إلى الإجهاد التأكسدي الذي يتسم بالإفراط في إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية. واستجابة لهذه الظروف المعاكسة، تطور النباتات آليات دفاعية مختلفة. وتشمل هذه الآليات إنتاج مضادات الأكسدة التي تعمل على تحييد الجذور الحرة.

في هذه الدراسة، قمنا بتقييم إمكانات مضادات الأكسدة في نبات *Quercus suber* L. باستخدام طريقتين لقياس الطيف الضوئي DPPH و TAC. أخذت عينات من الأوراق من غابة بن غبري في ولاية تيزي وزو شمال الجزائر خلال فصلي الصيف والشتاء. وتكشف النتائج التي تم الحصول عليها عن عدم وجود تباين كبير في النشاط المضاد للأكسدة بين الموسمين. تشير هذه الاختلافات إلى قدرة نبات *Quercus suber* L. على التكيف مع ظروف الإجهاد البيئي المختلفة.

الكلمات المفتاحية: *Quercus suber* L.؛ النشاط المضاد للأكسدة، DPPH، FRAP، TAC، الفصول.

Agzul

Quercus suber L, d yiwen n sşenf i d-yekkan seg umdun agrakal d temnađin i d-yezgan deg ugaraw ađlasi. Yettwassen s wazal-is asnajyan, anmetti-adyani. Deg zzayer, tabelluđt d yiwet seg telmas ęlayan akk. Afsax agrakal, i d-squccđen s unebdu yeđman d cctawi semmđen, Ttuđettment-d tewtilin n twennađ yessedşayen i telmas n yimyan. Mi ieedda useggas, timqeddmin tizzayriyin ssent tuyalin yer deffir. Imyan am quercus suber l, ilaq-asen ad d-myezgen d wađas n yineđbas ibudiyen d yiėibanen. Inexđaben-agi zgan ttawin-d yid-sen ankumru, i d-yewwi usitteė n telmas tufniđin n uksijin. Deg tririt yef tewtilin-a tinabgasin, imyan sneflayent-d ađas n tamiwin n temđaddit. Gar-asant lęella n yimeelmen i d-yettawin yid-sen iradikaliyen ilellyen.

Di tezrawt yeđran, neskazal-d tazmert mgal tamđeqranit n *Quercus suber* L. S useqdec n senat n tarrayin tsnilsanin: DPPH akked TAC. Tukkisn n yizuran d yiferrawen, ttwajebdent-d deg teđgi n ben yubri, lwilaya n tizi uzdu. Di tsemhay n unebdu d tegrest. Igmađ i d-yettwabedren, d ayen i d-yesbanen belli leqdic mgal rrebrab. Gar igmanen yemgaraden akked tsemhay. Ladya deg tsemhuyt n unebdu, Armud ameglan yettwantaq ugar deg yizuran s telqey n 0 ar 15 cm. En revanche, durant la saison hivernale, Ttar-is deg tsemhuyt n tegrest, Armud ameglan yettwacred ugar deg yizuran s telqey n 15 ar 20 cm. Timitar-agi mmalent-d tazmert n usemsawi n quercus suber l. I tewtilin yemgaraden n unkumru n twennađt.

Awalen n tsura : *Quercus Suber* L., armud mgal tamđeqranit, DPPH, TAC, FRAP, tasemhay.

Introduction générale

Introduction générale

Quercus suber L. connu sous le nom (chêne-liège) est une espèce xérophyte, angiosperme appartenant à la famille des Fagacées. Il figure parmi les arbres forestiers les plus significatifs du bassin méditerranéen, couvrant environ 2 millions d'hectares principalement dans sa partie occidentale, en raison de ses intérêts écologiques et socio-économiques (Ali et Lamarti, 2014). L'Algérie est le troisième producteur mondial de liège (El Antry et Piazzetta, 2014), le chêne-liège y est également reconnu pour ses utilisations en médecine traditionnelle classé à la cinquième position.

Le climat méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers froids et humides, constitue le biotope idéal pour le *Quercus suber* L. Cette espèce est particulièrement présente dans la méditerranée occidentale, notamment en Afrique du Nord (Algérie, Tunisie, Maroc), et s'étend également au sud de l'Europe (France, Italie, Espagne, Portugal) où il s'étend du littoral jusqu'à 500 mètres d'altitude (Mercurio, 2015).

Le *Quercus suber* L. est fortement influencé par son environnement immédiat et doivent développer des mécanismes pour tolérer les stress biotiques et abiotiques auxquels elles sont exposées (Stavridou et *al.*, 2018). L'exposition à ces stress génère souvent une surproduction d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), des molécules instables qui peuvent endommager les lipides, les protéines et l'ADN, causant ainsi des lésions cellulaires telles que des dommages membranaires et l'inhibition de l'activité enzymatique (Moreau et Thiéry, 2013 ; Ahsan et *al.*, 2003). Pour surmonter ces défis, il a évolué pour développer des mécanismes de défense notamment la synthèse de composés biochimiques appelés métabolites secondaires. Ces métabolites, incluant les polyphénols, les flavonoïdes, et d'autres antioxydants, jouent un rôle crucial en neutralisant les ROS et en protégeant les cellules végétales contre les dommages oxydatifs. Ces adaptations biochimiques permettent au chêne-liège de survivre et de prospérer dans les environnements méditerranéens hostiles.

Notre mémoire porte sur l'évaluation de l'activité antioxydant du *Quercus suber* L. il est structuré en quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente une description détaillée de l'espèce, incluant sa systématique, ses caractéristiques botaniques, ses exigences climatiques, et son aire de répartition. Il examine également son importance écologique et

socio-économique, ainsi que les interactions avec le cortège floristique et les pathogènes qui l'affectent.

- Le deuxième chapitre explore les différents types de stress (biotiques et abiotiques) auxquels le chêne-liège est confronté et détaille les mécanismes de défense qu'il développe en réponse à ces stress.
- Le troisième chapitre se concentre sur la méthodologie expérimentale employée pour évaluer l'activité antioxydante des extraits des feuilles du chêne-liège. Les tests utilisés sont le DPPH et le TAC, appliqués pour analyser l'échantillon collecté.
- Le dernier chapitre est consacré à l'analyse des résultats obtenus à partir de ces tests. Il présente une discussion sur la signification des résultats en termes de potentiel antioxydant et d'adaptabilité du *Quercus suber* L. aux conditions environnementales étudiées.

Chapitre I

Présentation de l'espèce

I. Présentation de l'espèce**I.1 Introduction**

Le genre *Quercus* est très diversifié et répandu dans l'hémisphère Nord où il représente l'une des sources photogéniques les plus importantes des composés organiques volatils hautement réactifs (Welter et al., 2012).

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est un arbre à feuilles persistantes, de longue durée de vie (200 à 250 ans), atteignant généralement une hauteur de 15 à 20 m (Gil et Varela, 2008).

Le chêne liège vari par son adaptation, sa forme et sa fonctionnalité phénologique, telle que la réceptivité des fleurs, sécrétion de pollen, Production et maturation des fruites, Elle présente ainsi une grande valeur patrimoniale, qui n'a d'égale que sa valeur économique comme source de liège, et aussi comme lieu de pâture (Gil et Varela, 2008).

I.2 Description de *Quercus suber***I.2.1 Systématique**

Quercus Suber L. également connu sous d'autres noms de différentes langues :

Le chêne-liège, El fernane, Koekbaum ou Korbeiche, Cork oak, Alcornoque, Quercia la surghero et Subrei. En France, en Afrique du Nord, en Allemagne, en Angleterre, en Espagne, en Italie et en Portugal respectivement.

Le *Quercus suber* L. est classe par LINNÉ en 1753. D'après Natividade (1956)

Embranchement : Spermaphytes

Sous/Embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Ordre : Fagales

Famille : Fagacées

Genre : *Quercus*

Espèce : *Quercus suber* L.

I.2.2 Aire de répartition de *Quercus suber*

I.2.2.1 Dans le monde

Le chêne liège occupe une zone naturelle relativement petite, elle est limitée à la méditerranée occidentale et déborde sur la coté du sud d'atlantique (Cantat, 2005). Il se trouve dans sept pays en Portugal avec une grande quantité, suivait par l'Espagne, l'Algérie, le Maroc, l'Italie, la Tunisie et la France. La **figure.01** représente le pourcentage de distribution de *Quercus suber* L. dans les différents pays méditerranées. (El Antry et Piazzetta, 2014).

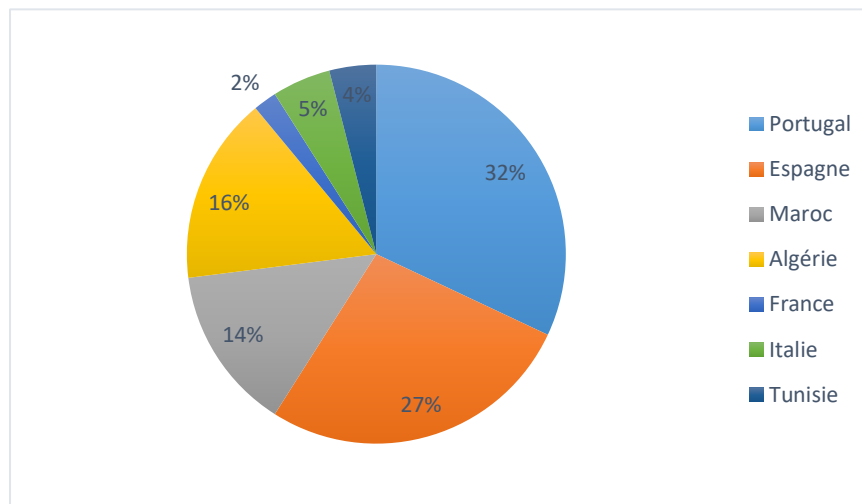


Figure.01 La répartition de *Quercus suber* L. en pourcentage dans la méditerranée (El antry et Piazzetta, 2014)

La F.A.O (2013) a souligné que le chêne-liège ne se trouve que dans les zones les plus chaudes de la région biogéographique humide et subhumide de l'Ouest de bassin méditerranée (**Fig.02**).



Figure.02 Air de répartition de *Quercus suber* L. en monde (Gil et Varela, 2008)

I.2.2.2 En Algérie

Selon la DGF et la FAO en 2021, les forêts en Algérie couvrent une superficie de près de 4,2 millions d'hectares. Les forêts de chêne liège occupent 16% avec une superficie totale de 440.000 hectares.

Les forêts du chêne-liège s'étendent tout au long de la côte de l'Algérie, dans le nord du pays, dans les montagnes de Kabylie et de l'Atlas tellien (El antry et Piazzetta, 2014). On le trouve également dans les régions côtières, notamment dans les forêts de la Mitidja et de la Kabylie maritime (DGF, 2022) (Fig.3). L'Algérie occupe la troisième place en matière de production du liège après le Portugal et l'Espagne (El antry et Piazzetta, 2014).



Figure.3 Air de répartition de *Quercus suber* L. en Algérie (DGF 2003).

Selon les données du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural de l'Algérie, le pourcentage d'occupation en Algérie souligné dans la figure.04.

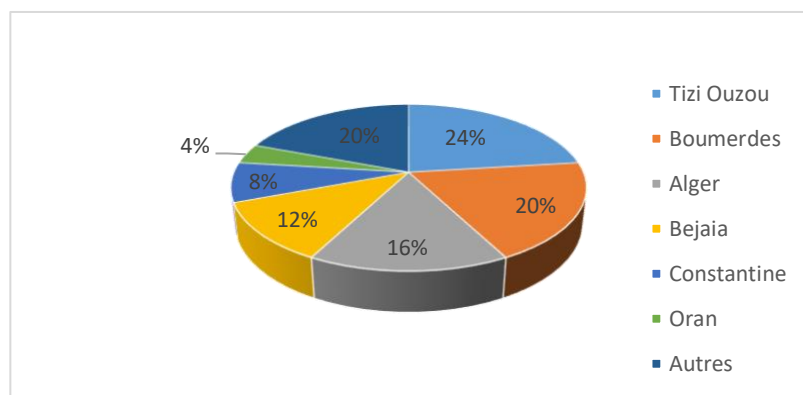


Figure.04 superficie en pourcentage de *Quercus suber* L. en Algérie (2023)

I.2.3 Caractéristiques botaniques

I.2.3.1 Feuilles

Le *Quercus suber* L. présente des feuilles persistantes, de taille variable mais plutôt petite, elles sont fermées, coriaces, gelables et un peu luisant à la face supérieure tomenteuse et blanchâtre à la face inférieure, portée par un pétiole assez court (Saccardy, 1938).

Elles ont une forme ovale, sont dures, pointues, avec une base ronde et des bords ondulés, denticulés, parfois entiers, de couleur vert foncée (Yessad, 2000). Elles varient entre 3 à 6 cm en longueur et 2 à 4 cm en largeur, avec 5 à 7 paires de nervures (Belhoucine, 2013). Ils tombent au cours de la deuxième année (13–23 mois après le débourrement des feuilles) (Gil et Varela, 2008) (**Fig.05**).



Figure.05 les feuilles de *Quercus suber* L. (KHELF, 2024).

I.2.3.2 Fleurs

Les fleurs de *Quercus suber* L. subsessiles sont en grappes ou solitaires avec des bractées sous-tendues persistantes ou caduques généralement plus longues que le périanthe. Elles sont pastillées une par cupule avec 1–2 bractées, des étamines et des anthères courtes ou longues, des carpelles et des styles 3–6, parfois avec des staminodes avec une large surface stigmatique. Les sépales sont connus, lobés, soit direct sur l'extrémité de l'ovaire de position qu'ils soient apicaux, basaux ou latéraux, en fonction de l'allongement du placenta ou du funicule (Gil-Pelegrín et al., 2017). Les fleurs du chêne-liège est monoïques et allogames (Fraval, 1991) sont principalement mâles et femelles séparées sur la même plante, pollinies par le vent. La floraison commence dès l'âge de 12 à 15 ans et se déroule entre la fin avril à la fin mai (Piazzetta, 2005) (**Fig.06**).



Figure.06 Inflorescence de *Quercus suber* L. (Aronson et *al.*, 2009)

I.2.3.3 Fruit

Une maturation du fruit est annuelle ou bisannuelle (Gil-Pelegrín et *al.*, 2017). Avec une cupule équipée d'un gros pédoncule très court (**Fig.07**). Les écailles légèrement saillantes croissent longuement à partir de la base. Les supérieures se terminent en lanières molles suffisamment allongées, dépassant le bord de la cupule (Saccardy, 1938).

Les glands sont généralement amers et ne sont pas consommables par l'homme, à l'exception de quelques cas particuliers (Saccardy, 1938). Ils varient largement en taille et en forme, et leur période de croissance varie d'octobre à janvier. Ils sont considérés comme des aliments très digestibles, riches en énergie (lipides) et pauvres en protéines (Baubet et *al.*, 2008).



Figure.07 le fruit de *Quercus suber* L. (Aronson et *al.*, 2009)

I.2.3.4 Rameux

Les premières années, les houppiers sont sinueux pubescents, puis bruns clairs et enfin entièrement subéreux. En raison de son feuillage grêle et de sa ramification peu serrée, l'arbre développe un port large et étale, en situation isolée avec une forme arrondie, étroite et haute. À partir de 3 ou 4 ans, les jeunes rameaux grossissent et font crevasser leur écorce, plus les branches sont grosses plus les crevasses sont profondes (Veillon, 1998) (**Fig.08**).



Figure.08 les rameaux de *Quercus suber* L. (KHELF, 2024)

I.2.3.5 Tronc

Le tronc est long, ramifié et peut atteindre 15m, il est entouré d'un liège épais fortement crevassé longitudinalement (Metro, 1958). Selon les conditions de végétation, sa circonférence atteint généralement 70 cm entre 30 et 40 ans. (Yessad, 2001) (**Fig.09**).



Figure.09 Tronc de *Quercus suber* L. (Aronson et al., 2009)

I.2.3.6 Écorce (liège)

Le liège est la matière recherchée par l'industrie en raison de ses propriétés technologiques uniques. (Bouyahiaoui, 2014). Il est constitué d'un tissu non vivant dont les parois sont imprégnées de subérine et remplies de gaz, afin de protéger l'arbre. (Duret, 2013).

L'écorce épaisse et subéreuse qui recouvre le tronc (Costa et Pereira, 2007) est composée de deux types de tissus, de l'intérieur vers l'extérieur : le phloème produit par le cambium, et l'épiderme qui résulte de l'activité d'un autre méristème. (Pereira, 2007). Il atteint 20 cm d'épaisseur, poreuse et sillonnée. Il protège les arbres des incendies de forêt (Gil et Varela, 2008) (**Fig.10**).

Il existe deux types de liège ; liège mâle est le liège originel, naturel et primitif de l'arbre qui persisterait toute sa vie si on ne le levait pas. Avec l'âge, il devient gris, crevassé, dur, lourd et hétérogène. Le liège femelle ou "de reproduction" est reconstruit par le liber, il se diffère par propriétés physiques améliorées, telles que l'homogénéité, la légèreté, la souplesse et la vitesse de formation. (Orgeas et *al.*, 1996).



Figure.10 Ecorce de *Quercus suber* L. (Aronson et *al.*, 2009)

I.2.3.7 Racines

L'enracinement est pivoté selon la nature du sol et maintenu par de fortes et longues racines qui le fixent solidement même dans les sols difficiles (Saccardy, 1938). Ils ont une grande expansion horizontale avec de nombreuses racines superficielles (Pereira, 2007) (Fig.11).



Figure.11 Racines de *Quercus suber* L.

I.3 Exigences écologiques**I.3.1 Climat**

Il s'agit d'un arbre adapté aux régions à climat tempéré chaud et humide, tels que la Méditerranée ou l'Atlantique (Mokhtari et *al.*, 2014).

I.3.2 Altitude

En Algérie, son altitude est généralement limitée à la côte de 1200m, rarement 1300m à 1400m, exceptionnellement à Teniet el Haad le chêne liège se retrouve à 1600m (Saccardy, 1938).

I.3.3 Facteurs édaphiques :

Le *Quercus suber* L. est un arbre calcifuge, mais il s'adapte à tous les sols siliceux (Clement et *al.*, 1967). Généralement il pousse dans des sols acides sur des substrats granitiques, schisteux ou sableux (Aronson et *al.*, 2009), et rarement sur des sols décarbonatés (Gil et Varela, 2008). Les terrains grès éocènes Numidien et Medjanien (terrains forestier) sont les préférées de *Quercus suber* L. en Algérie. Il préfère les zones où les pluies ne dépassent pas 500 mm et même 400 mm (Saccardy, 1938).

I.3.4 Température

Le chêne-liège nécessite une température moyenne annuelle de 13–18°C mais il peut supporter de fortes chaleurs (35 à 40°C) et ne tolère pas des températures inférieures à – 10°C (Gil et Varela, 2008).

I.3.5 Lumière

Le chêne liège est une espèce héliophile, c'est à dire de plein lumière et exigeant une forte insolation (Gil et Varela, 2008).

I.4 Cortège floristique

Tableau 1: le cortège floristique dans la subéraie (Meddour, 2010)

<i>Quercus suber</i> L.	<i>Quercus canariensis</i> L.
<i>Erica arborea</i> L.	<i>Genistatri cuspidata</i> L.
<i>Arbutus unedo</i> L.	<i>Quercus afares</i> L.
<i>Myrtus communis</i> L.	<i>Cistus monspliensis</i> L.
<i>Carataegus monogyna</i> L.	<i>Lavondula stoechas</i> L.
<i>Calicotume spinosa</i> L.	<i>Cistus salvifolius</i> L.
<i>Cytisus villosus</i> L.	<i>Phillyrea media</i> L.

I.5 Pathogènes de chêne liège

I.5.1 Insectes

Certains insectes, principalement les charançons et les papillons de nuit, sont également des prédateurs très importants du gland (Aronson et *al.*, 2009).

Les facteurs climatiques ont une influence sur l'existence et le développement des espèces de Coléoptères, mais certaines espèces présentent une grande capacité d'adaptation à différents climats (Ganaoui et Chakali, 2023).

Phyllognathus excavatus, qui est présent dans les îles Canaries et tout le Nord de l'Afrique. Le cycle biologique de cette insecte se passe sous forme larvaire dans le sol les larves effectuent des déplacements horizontaux et verticaux dans le sol en fonction de l'humidité ou pour rechercher leur nourriture, se cantonnant souvent au-dessous de l'interface sable sec – sable humide les larves détruisent les jeunes plants de chêne-liège en sectionnant leurs racines (Ghaioule et *al.*, 2007) (**Fig.12**).



Figure.12 *Phyllognathus excavatus*

Les papillons de *Cydia fagiglandana*, d'environ 15 mm d'envergure, sont bruns. La chenille est de couleur rose. Elle pénètre dans le gland lorsqu'il est sur l'arbre et achève son développement en décembre ou janvier, puis elle quitte le gland tombé à terre pour se nymphoser dans la litière (Hamza, 2013 in Adjami, 2006) (**Fig.13**).



Figure.13 *Cydia fagiglandana*

Cydia splendana est une espèce d'insecte lépidoptère de la famille des Tortricidae. L'individu adulte mesure 13 à 18 mm d'envergure. La chenille hiverne dans un cocon blanc, ovoïde, long de 8 à 10 mm, agglomérant de la terre et divers débris, à une profondeur de 5 à 8 cm sous terre ou sous les écorces de la plante hôte (Hamza, 2013 in Adjami, 2006) (**Fig.14**).



Figure.14 *Cydia splendana*

I.5.2 Champignons

Selon les études amenés par Franceschini et *al* (2002) certains des endophytes comme *Biscogniauxia mediterranea* ou *Diplodia mutila*, possèdent des caractères de pathogénicité puissent jouer un rôle important en tant que facteurs contribuant à la pathogénie du dépérissement. En particulier, la présence de *Biscogniauxia mediterranea* en densité élevée dans tous les organes de la canopée de chêne-liège pourrait être à l'origine d'une diffusion épidémique de la maladie, contenue des capacités remarquables de survivre dans les tissus végétaux (**Fig.15**).

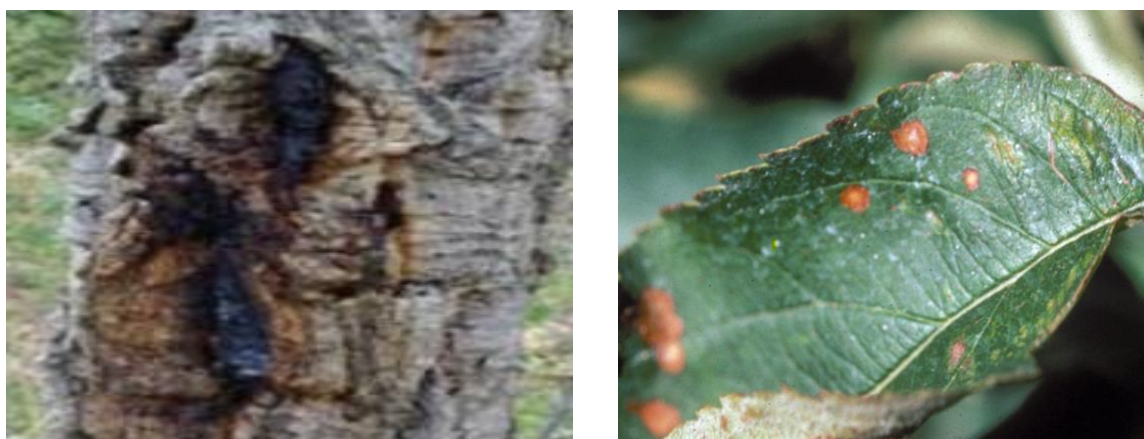


Figure.15 Effets des *Biscogniauxia mediterranea* et *Diplodia mutila*

I.6 Importance écologique du *Quercus Suber* L.

L'importance écologique du chêne liège réside dans son rôle dans la conservation des sols et dans la reconstitution des réserves d'eau et le contrôle du ruissellement (Belhocine, 2008). Il agit également considéré comme un anti-polluant environnemental en séquestrant le dioxyde de carbone et en luttant contre l'effet de serre, atténuant ainsi les effets du changement climatique. En fait, les subéraies du monde entier absorbent environ 14 millions de tonnes de CO₂ par an, il faut savoir également qu'un arbre avec une écorce absorbe 3 à 5 fois plus de CO₂ qu'un arbre sans écorce (Aimene et *al.*, 2019).

I.7 Importance économique du *Quercus Suber* L.

Le *Quercus Suber* L. joue un rôle économique à la raison de son écorce qui est un produit irremplaçable, léger, élastique, imperméable et résistant au feu et à la corrosion (Aimene et *al.*, 2019).

Il est utilisé dans une large gamme d'applications notamment les bouchons pour les bouteilles car il est étanche et empêche l'oxygène de pénétrer dans la bouteille, aussi c'est

un excellent moyen pour isoler les bâtiments contre la chaleur et le bruit, également pour le revêtement de sol et des meubles (Aronson et *al.*, 2009) (**Fig.16**).



Figure.16 production de bouchon (Aronson et *al.*, 2009)

1.8 Utilisation thérapeutique du *Quercus Suber L.*

Les différentes parties de *Quercus Suber L.* sont utilisées depuis des siècles dans la médecine traditionnelle pour sa richesse en polyphénols ayant des propriétés antioxydants, anti-inflammatoires et antimicrobiennes (Hadjaz, 2021).

Les études menées par Gomes et *al* (2018) ; Ribeiro et *al* (2018) ont montré que l'extrait d'écorce de chêne -liège réduisait la fréquence et la durée des épisodes de diarrhée et de nombre de bactéries présentes dans l'urine et améliorait les symptômes des infections urinaires.

Les feuilles de chêne-liège sont également riches en polyphénols, utilisées pour traiter les troubles digestifs, les infections et les maladies inflammatoires et également pour traiter les infections cutanées, telles que l'eczéma et le psoriasis (Taib et *al.*, 2020). D'après Ferreira et *al* (2020) les feuille de *Quercus Suber L.* est extrêmement riche en variété de composés qui sont de puissants inhibiteurs de l'acétylcholcholinestérase (AChE), ce sont les flavonoïdes et les composés phénoliques qui sont utilisés pour traiter les patients atteints de la maladie d'Alzheimer car ils améliorent la neurotransmission cholinergique, ses inhibiteurs recherché doivent être d'une source naturelle, hautement bio disponible et peu ou pas toxiques.

Chapitre II

Le stress et les mécanismes de défense de la plante

II. Stress et mécanismes de défense de la plante

Au cours de leur cycle de vie, les plantes sont constamment exposées à divers stress biotiques (tels que les attaques de pathogènes) et abiotiques (comme la sécheresse, la salinité, le froid, etc.). Ces stress influencent profondément leur physiologie et leur biochimie, perturbant ainsi leur croissance et leur productivité (Madhava Rao *et al.*, 2006). Un stress oxydatif est la conséquence majeure de ces perturbations.

II.1 Stress oxydatif

Selon Haleng *et al* (2007), lorsqu'un déséquilibre se produit entre la production d'ERO et la capacité des défenses antioxydants à les neutraliser, un stress oxydatif présente, pouvant entraîner des dommages cellulaires irréversibles et une perturbation complète de l'homéostasie de l'organisme (**Fig.17**). Les ERO sont des molécules hautement réactives qui peuvent causer des dommages significatifs aux lipides, aux protéines et à l'ADN au niveau cellulaire, menant à des altérations morphologiques, physiologiques et biochimiques (Guillouty, 2016).

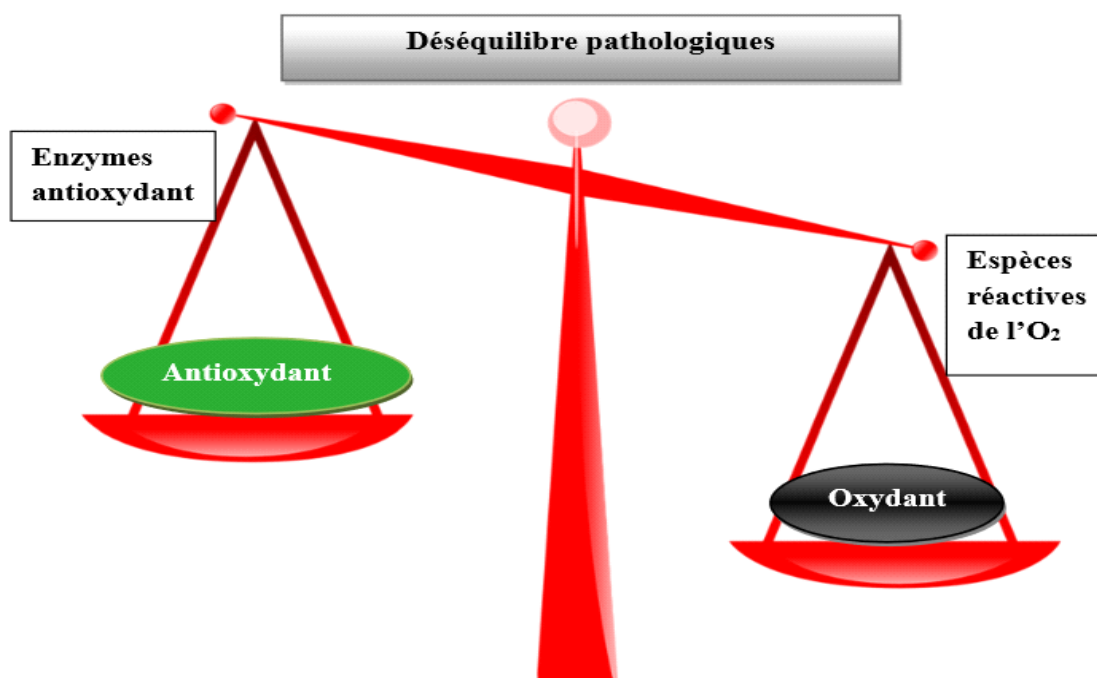


Figure.17 Balance du stress oxydant (Burg, 2017).

II.1.1 Définition des ERO

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont des molécules hautement réactives et diffusibles, telles que (O_2), H_2O_2 , O_2^- , HO, qui sont produites dans la cellule comme sous-produit de la respiration aérobie et du métabolisme (Al-Gubory et *al.*, 2010; Arora et *al.*, 2002). Elles ont la capacité de causer des dommages oxydatifs aux protéines, à l'ADN et aux lipides (Baxter et *al.*, 2014).

II.1.2 Radicaux libres

Les radicaux libres sont des atomes ou des groupes d'atomes qui possèdent un ou plusieurs électrons libres (non appariés) sur leurs orbitales externes. Ce qui entraîne des perturbations dans leurs champs magnétiques, et rend ces espèces extrêmement instables. Cependant, un excès de radicaux libre peut entraîner un stress oxydatif causent des dommages aux lipides, protéines et ADN (Valko et *al.*, 2007).

II.1.2.1 Types des radicaux libres

II.1.2.1.1 Radicaux oxygénés

- a. **Anion superoxyde (O_2^-)** : Un radical libre d'oxygène généré principalement dans la mitochondrie lors de la respiration cellulaire.
- b. **Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)** : Bien que techniquement non un radical libre, il est souvent inclus dans les ROS car il peut générer des radicaux libres via des réactions de Fenton et de Haber-Weiss.
- c. **Radical hydroxyle (OH)** : Un des radicaux les plus réactifs, produit à partir de H_2O_2 en présence de fer (réaction de Fenton) (Radi et *al.*, 2018).

II.1.2.2 Radicaux azotés

- a. **Oxyde nitrique (NO)** : Le monoxyde d'azote radicalaire est un composé important, produit par les cellules endothéliales et les macrophages, jouant un rôle crucial dans la signalisation cellulaire. Toutefois, le $NO\bullet$ peut former avec l'anion superoxyde le peroxynitrite ($HOONO$), un oxydant capable d'endommager de nombreuses molécules organiques (Haleng et *al.*, 2007).
- b. **Dioxyde d'azote (NO_2)** : un radical libre réactif dérivé de $NO\bullet$ et des nitrates (Pacher et *al.*, 2007).

II.1.2.3 Site de production des radicaux libres dans la cellule végétale

Ils sont produits dans différentes parties de la cellule, notamment par le biais de processus métaboliques normaux et de réactions enzymatiques (Murphy et *al.*, 2009).

II.1.2.4 Mitochondries

Selon Turrens et *al* (2003), les mitochondries sont parmi les sources majeures de radicaux libres, notamment de ERO. En effet, les électrons peuvent s'échapper de l'ETC durant la transpiration cellulaire et réagir avec l'oxygène pour former des superoxydes.

II.1.2.5 Réticulum endoplasmique

Le Réticulum endoplasmique est impliqué dans le repliement des protéines et la formation des ponts disulfure, ce processus génère le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) comme sous-produit. (Malhotra et *al.*, 2007).

II.1.2.5.1 Cytosol

Le cytosol contient diverses enzymes, telles que les xanthines oxydases et les cyclooxygénases, qui peuvent produire des ROS et des RNS (Kastan et *al.*, 2003).

II.1.3 Cibles d'ERO**II.1.3.1 Lipides**

Dans des situations de stress, les ERO générées attaquent les lipides membranaires en utilisant le processus de peroxydation lipidique, dont le produit est un mélange complexe d'hydroperoxy des lipidiques. (Montillet et *al.*, 2004). Il en résulte une altération de la fluidité membranaire qui cause souvent la mort des cellules (Haleng et *al.*, 2007).

II.1.3.2 L'ADN

L'ADN est une cible privilégiée pour les ERO. Selon Tujeta et *al* (2001), l'ADN de la plante est susceptible de subir des dommages causés par les ERO, par voie directe ou via la peroxydation des lipides. Provoquant l'oxydation des bases nucléaires, y compris la guanine, qui peut réagir avec $\bullet OH$ pour former la 8-hydroxy-2'-déoxyguanosine (8-OH-dG), qui au lieu de s'apparier avec la cytosine, s'associe avec l'adénine, entraînant des mutations (Harris et *al.*, 2020 ; Haleng et *al.*, 2007). Les ROS ciblent les fragments de base et de sucre, ce qui entraîne des ruptures simples et double brin dans le squelette, menant à l'apparition de groupes de base et de sucre, ainsi qu'à des liaisons entre molécules, ce qui entrave la réplication (Català et *al.*, 2000).

II.1.3.3 Protéines

Au sein de la cellule, l'exposition des protéines aux espèces réactives de l'oxygène modifie les chaînes latérales des acides aminés, ce qui affecte la structure des protéines et les modifications fonctionnelles qui interrompent le métabolisme cellulaire (Català et *al.*, 2000). Tous les produits résultant de l'action des ROS sur les protéines sont considérés comme des AOPP, y compris le sulfoxyde de méthionine, la di tyrosine et la 3-nitrotyrosine (Jaisson et *al.*, 2017). Certaines protéines oxydées sont peu dégradées et forment des agrégats qui s'accumulent dans les cellules et dans le compartiment extracellulaire.

II.2 Antioxydants

Les antioxydants sont des éléments qui interfèrent les uns avec les autres pour réguler la production de ERO, assurant ainsi une protection appropriée contre le stress oxydatif (Al-Gubory et *al.*, 2010). ils peuvent protéger l'organisme végétal des dommages cellulaires (Ahama et *al.*, 2010).

II.3 Types d'antioxydants

Le système de défense antioxydant est constitué de différentes étapes visant à prévenir la création de radicaux libres, à les neutraliser lorsqu'ils sont déjà présents, à réparer leurs dommages et/ou à prévenir les conditions propices à leur synthèse, comme la capture/blocage des atomes de fer, qui jouent un rôle catalytique dans la formation des éléments oxydants. La fonction des antioxydants est donc de réguler le niveau des espèces réactives afin de minimiser les dommages oxydatifs (Dias., 2019).

a. Selon leurs origines

Les antioxydants naturels ils se trouvent dans une grande variété d'aliments tels que les vitamines et le caroténoïde.

Les antioxydants synthétiques sont fabriqués aux laboratoires comme le DPPH.

b. Selon leur mode d'action

L'organisme se protège en permanence contre la formation et l'agression d'espèces réactives en eau grâce à divers mécanismes de défense en tant qu'enzymatiques que non enzymatiques (**Fig.18**).

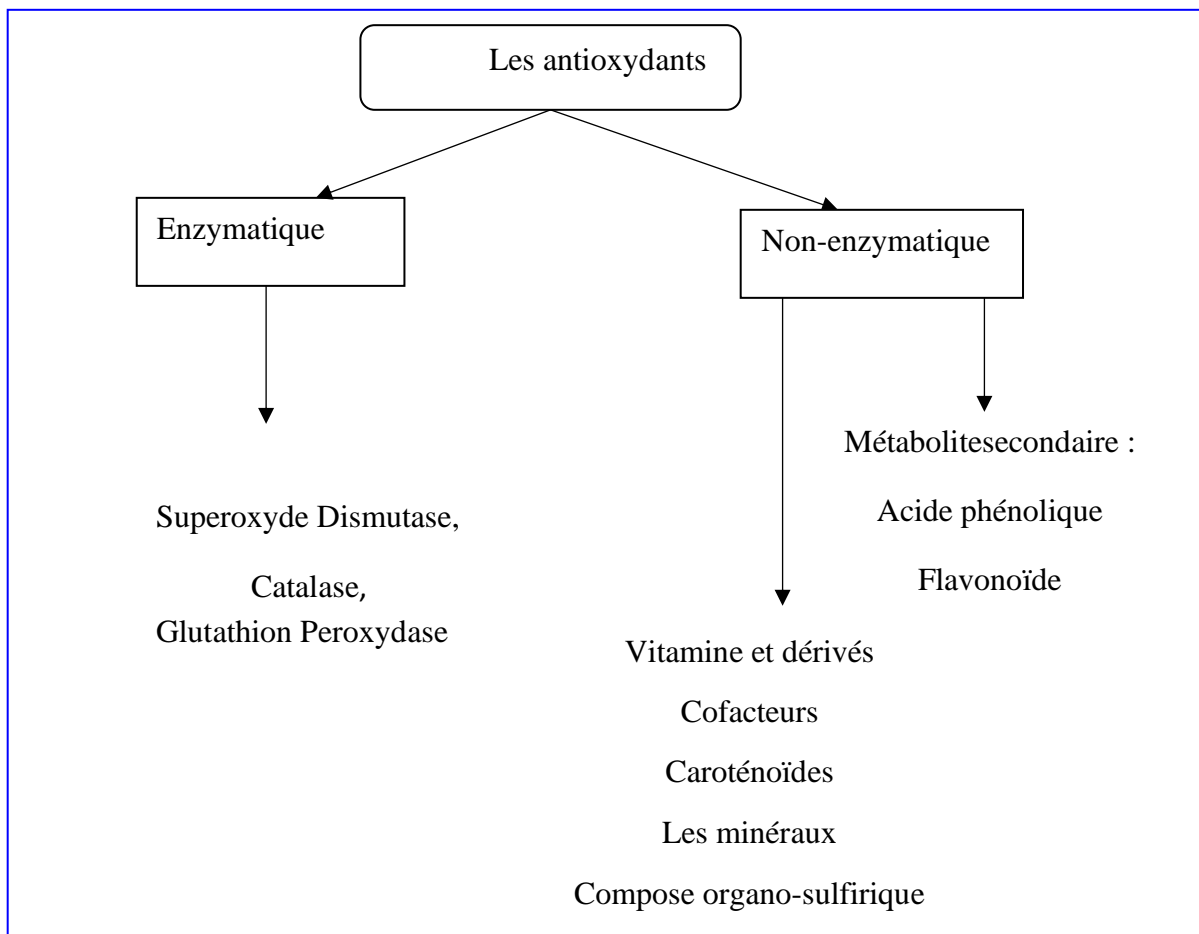


Figure.18 Classification des antioxydants (Carocho et *al.*, 2013)

II.3.1 Systèmes antioxydants enzymatiques

Les antioxydants enzymatiques sont la première ligne à se protéger contre les différentes espèces oxydantes, leur rôle principal étant de réduire la quantité d'ERO dans la cellule. Parfois, ces enzymes ont besoin de cofacteurs tels que les oligo-éléments (Zn, Cu, Mn, Se, Fe) pour exercer leur activité enzymatique. (Mittler et *al.*, 2004). Selon Maiorino et *al* (2013), ces systèmes enzymatiques agissent ensemble pour maintenir l'équilibre cellulaire en neutralisant les ERO. Les systèmes antioxydants enzymatiques existant sont :

- a. **Superoxyde Dismutase (SOD)** : Ces métalloprotéines assurent l'élimination de l'anion superoxyde O_2^- . Qui Catalyse la dismutation du radical superoxyde en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et oxygène (O_2).qui représente une des premières lignes de défense contre le stress oxydant (Haleng et *al.*, 2007).
- b. **Catalase (CAT)** : Catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en eau (H_2O) et oxygène moléculaire (O_2).

- c. **Glutathion Peroxydase (GPx)** : La GPx est une sélénoprotéine (cinq isoformes) qui réduit les peroxydes en utilisant le glutathion réduit (GSH) comme substrat. Son principal objectif est d'éliminer les peroxydes lipidiques produits par le stress oxydant sur les acides gras polyinsaturés.

II.3.2 Systèmes antioxydants non-enzymatiques

En outre, elles produisent différents composés qui ne proviennent pas directement de la photosynthèse. Ces composés sont dérivés de réactions chimiques ultérieures et sont utilisés dans l'usage traditionnel et même dans la médecine moderne comme source de molécules biologiquement actives.

II.3.2.1 Vitamines

Le piègeur excellent des ERO ($\text{HO}\cdot$ ou $\text{O}_2\cdot^-$) est la vitamine C. De plus, elle régénère la vitamine E à partir de la forme radicalaire qu'elle prend lors de sa réaction avec les radicaux lipidiques, ce qui empêche la peroxydation lipidique. La vitamine E protège les radicaux peroxyles ($\text{ROO}\cdot$) en réagissant avec eux pour former un radical tocophéryl, empêchant ainsi la propagation de la peroxydation lipidique (Haleng et *al.*, 2007).

II.3.2.2 Caroténoïdes

Tous les caroténoïdes proviennent d'une structure linéaire ($\text{C}_{40}\text{H}_{56}$) avec de nombreuses doubles liaisons, notamment le lycopène, un pigment rouge qui se trouve principalement dans les tomates et les pamplemousses. Les caroténoïdes étaient inversement associés au stress oxydatif (Hozawa et *al.*, 2007).

II.3.2.3 Cofacteurs

Selon Haleng et *al.* (2007), le sélénium n'est pas un antioxydant car il ne peut pas piéger les radicaux libres, il joue un rôle crucial en tant que cofacteur de GPx. Le cuivre est le cofacteur d'enzymes comme la SOD, le cytochrome C oxydase et la dopamine β -hydroxylase. Le zinc participe à de nombreuses fonctions, telles que le métabolisme des nucléotides, la synthèse des prostaglandines et le fonctionnement de l'anhydrase carbonique, en tant que cofacteur pour de nombreuses enzymes. Il peut inhiber les réactions de formation d'ERO induites par des métaux de transition.

II.3.2.4 Minéraux

Le cuivre est un métal de transition, il est crucial pour déclencher les réactions de production d'ERO et peut devenir pro-oxydant lorsque sa concentration est élevée (Haleng et *al.*, 2007).

II.3.2.5 Métabolites secondaires

Le terme de métabolite secondaire a été introduit pour la première fois en 1891 par Albrecht Kossel. Il l'utilisait pour distinguer ces composés des métabolites primaires, qui sont directement impliqués dans des processus vitaux tels que la croissance, la reproduction ou l'acquisition de nutriments chez les plantes (Hadacek, 2002).

Les métabolites secondaires possèdent diverses propriétés bénéfiques pour les plantes. Wink, (2013), ils peuvent attirer les pollinisateurs par leurs couleurs, leurs odeurs ou leurs goûts, contribuant ainsi à la reproduction des plantes.

De plus, ils offrent une défense efficace contre les pathogènes et les herbivores, protégeant les plantes des infections et des attaques. Ces composés aident également les plantes à faire face aux conditions environnementales difficiles, telles que l'exposition aux rayons ultraviolets (UV) et les variations de température (Zergui, 2016). Ils agissent comme des piègeurs efficaces des espèces réactives de l'oxygène (ROS), des molécules qui peuvent endommager les lipides, les protéines et l'ADN des cellules végétales (Naghiloo et *al.*, 2012). Elles peuvent servir de marqueur de stress, parce que leur concentration augmentent en période de stress (Achakzai et *al.*, 2009). Cette augmentation aide les plantes à atténuer les effets néfastes du stress environnemental, contribuant ainsi à leur survie et à leur adaptation.

II.3.2.5.1 Biosynthèse des métabolites secondaires

La biosynthèse des composés phénoliques végétaux est très semblable, dérivant tous de l'acide shikimique. Dans cette voie du shikimate, on aboutit à la formation d'oses d'acides aminés aromatiques, puis, par désamination de ces derniers aux acides cinnamiques et à leurs nombreux dérivés : acides benzoïques, acétophénones, lignines et lignines, coumarines. (Bruneton, 1993).

De nombreux composés chimiques, sont produits par la voie de l'acide shikimique, la voie du non-mévalonate (MEP) et la voie du mévalonate (MVA), tels que les terpénoïdes,

les alcaloïdes mono terpéniques indoles, les alcaloïdes isoquinoléïns, les flavonoïdes et les anthocyanes (Borges *et al.*, 2017).

II.3.2.5.2 Classification des métabolites secondaires

Les espèces de *Quercus* contiennent une large gamme de métabolites secondaires phénoliques, y compris des phénols simples, phénoliques, des flavonoïdes, des tanins (condensés ou hydrolysables), des coumarines et des lignines (Fon-tana et Romussi 1997).

Il existe trois classes principales de métabolites secondaires chez les plantes : les composés phénoliques, les terpènes et les alcaloïdes (Raven *et al.*, 2007) (**Tab.2**).

Tableau 2: Les différentes catégories de métabolites secondaires (Anulika *et al.*, 2016)

Familles	Sous-famille
Alcaloïdes	Amines, Alcaloïdes
Composés phénoliques	Tannins, Flavonoïdes, coumarines, Anthraquinones
Terpenoides	Monoterpènes, Sesquiterpènes, Di terpènes, Tri terpènes, Poly terpènes

II.3.2.5.2.1 Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont omniprésents dans le règne végétal, constituant une famille diversifiée plus de 9 000 structures différentes identifiées (Bahorun, 1998). Ils jouent un rôle primordial dans de nombreux processus physiologiques et sont parmi les antioxydants les importantes dans la plante (Boizot et Charpentier, 2006). Ces composés sont présents dans toutes les parties des plantes supérieures, y compris les racines, l'écorce, les tiges, les feuilles, les fruits et les fleurs.

Ils se trouvent sous deux formes principales : une forme simple et soluble dans la vacuole, et une forme polymérisée, souvent moins soluble, comme les tanins. De plus, ils peuvent être associés à des structures insolubles telles que les lignines, les subérines, et les cutines, ou liés à des macromolécules glucidiques dans la paroi cellulaire (Kutchan *et al.*, 1996). Les principales catégories de composés phénoliques comprennent les acides phénoliques (tels que l'acide caféique, l'acide hydroxy cinnamique et l'acide chlorogénique), les flavonoïdes, qui représentent plus de la moitié de tous les polyphénols, les tanins et les

coumarines. Chaque catégorie joue un rôle spécifique dans la défense des plantes contre les stress biotiques et abiotiques, la signalisation cellulaire, et le développement de la plante.

La présence ubiquitaire et la diversité fonctionnelle des composés phénoliques soulignent leurs importances dans l'adaptation des plantes à leurs environnements et leurs capacités à surmonter divers défis écologiques.

II.3.2.5.2.2 Polyphénols

Les polyphénols sont classés en plusieurs catégories, le nombre d'atomes de carbone et la structure de base du squelette de carbone sont les premiers critères de différenciation entre ces classes (Boizot et Charpontier, 2006) (**Fig.19**).

Ils sont généralement issus de l'acide cinnamique, qui se forme par la voie du shikimate et de la voie acétate-malonate (Gorham, 1995). Ces composés jouent un rôle crucial dans la résistance des végétaux à différents types de stress, ce qui les rend indispensables pour maintenir l'équilibre et s'adapter à l'environnement (Lugasi et *al.*, 2003).

Les phénols simples se divisent en deux grands groupes distincts (Cseke et *al.*, 2006).

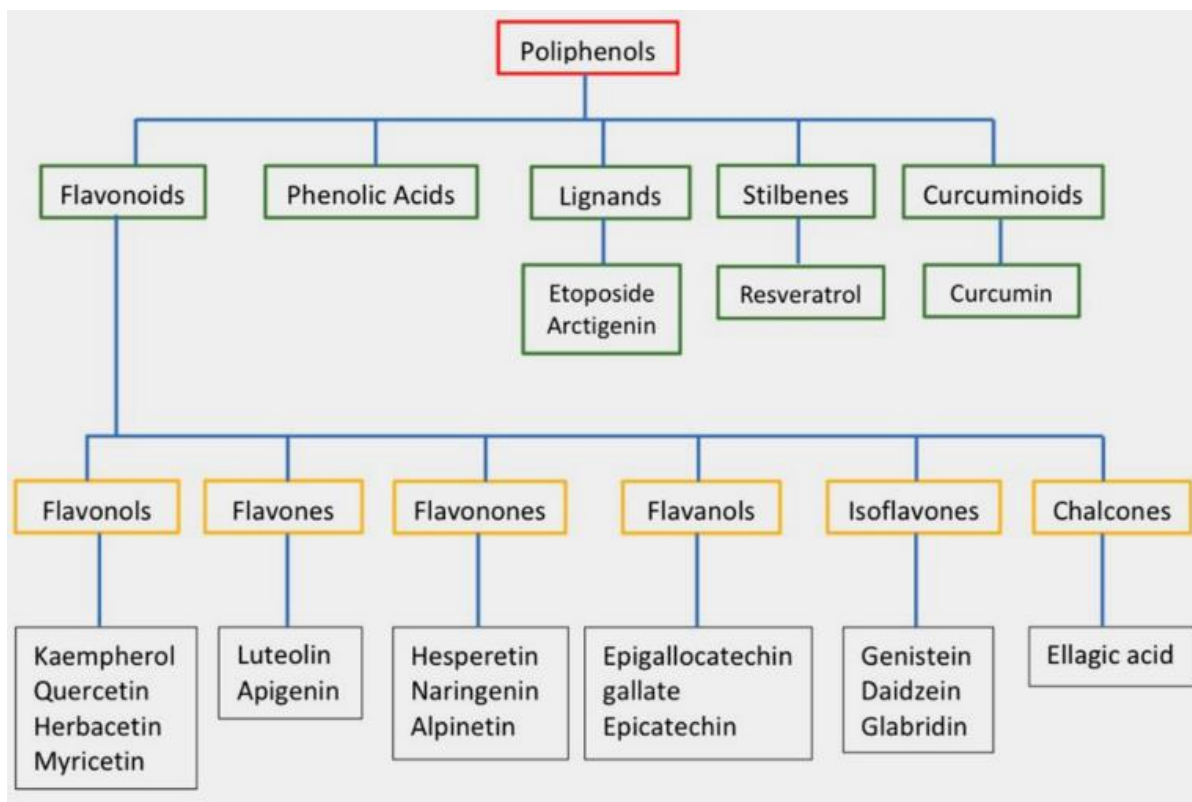


Figure.19 Classification des polyphénols (Roszkowski, 2023).

II.3.2.5.2.2.1 Acides phénoliques

Les acides phénoliques sont l'un des plus importants groupes chez les plantes. Selon Bahorun (1998), sont des composés organiques naturels caractérisés par la présence d'un groupe hydroxyle (OH⁻) lié à un cycle aromatique et d'un groupe carboxyle (-COOH). Les acides phénoliques peuvent être classés en deux grandes catégories selon leur structure dérivée :

- a. **Acides dérivés de l'acide benzoïque** : Ils comprennent l'acide gallique, l'acide protocatéchique, l'acide vanillique, l'acide p-coumarique, etc.
- b. **Acides dérivés de l'acide cinnamique** : Ils comprennent l'acide caféique, l'acide férulique, l'acide chlorogénique, l'acide sinapique, etc (Fritig et *al.*, 1972).

II.3.2.5.2.2.2 Flavonoïdes

Les flavonoïdes peuvent être classés en plusieurs sous-types : Flavone (1), flavonol (2), flavanone (3), dihydroflavonol(4), flavan-3-ol (5), flavan-3,4-diol (6), chalcone (une structure avec un cycle ouvert) (Panda et *al.*, 2018). Le noyau flavan est la structure de base des flavonoïdes, comprenant 15 atomes de carbone répartis en trois cycles (C6-C3-C6), étiquetés A, B et C. Les flavonoïdes eux-mêmes sont répartis en six sous-groupes (Jin et *al.*, 2010).

Parmi leurs fonctions, ils sont impliqués dans la pigmentation, la facilitation de la fixation symbiotique de l'azote dans les nodules racinaires et la modulation de la résistance aux agents pathogènes. Ces composés peuvent se présenter sous une forme libre ou être associés à d'autres molécules. Les anthocyanes, une sous-classe spécifique de flavonoïdes, sont particulièrement importants en tant que pigments non photosynthétiques. Ils confèrent des couleurs vives aux fleurs, fruits et graines, jouant un rôle clé dans l'attraction des pollinisateurs et la dispersion des graines (Panda et *al.*, 2018).

II.3.2.5.2.2.3 Tannins

Le terme tanins était initialement employé pour désigner les éléments végétaux qui permettent de transformer les peaux d'animaux en cuir lors du processus de tannage en formant des complexes stables avec le collagène cutané Bennick (2002). Ils sont des composés phénoliques polymériques qui se trouvent dans pratiquement toutes les parties de la plante (Compean et *al.*, 2014).

II.3.2.5.3 Facteurs influence sur la synthèse des métabolites secondaires

La survie des plantes repose sur l'interaction avec l'environnement, qui est influencée par les éléments du milieu, tels que les stimulants biotiques et abiotiques qui régulent la production de métabolites secondaires (Zhi-lin et *al.*, 2007).

II.3.2.5.3.1 Facteurs abiotiques

Les facteurs abiotiques sont les composantes non vivantes de l'environnement qui influencent la croissance, la distribution et la survie des plantes. Ils peuvent être classés en deux grandes catégories.

II.3.2.5.3.1.1 Lumière

Elle est essentielle pour la photosynthèse, la quantité et la qualité de la lumière reçue par une plante peuvent affecter sa croissance, sa reproduction et sa biosynthèse en métabolites secondaires (Singh et *al.*, 2018).

II.3.2.5.3.1.2 Sécheresse

Le déficit hydrique et une carence en nutriments (N, Ca, K, P, Fe et Zn), entraînent un stress oxydatif chez les plantes (Khan et *al.*, 2019).

Dans la nature, il est possible que les variations de température se produisent plus rapidement que les autres types de stress. (Hirt et *al.*, 2003) Les températures excessives peuvent causer des dommages à la plante en restreignant les échanges gazeux liés à la fermeture des stomates : une chaleur excessive, un éclairage trop intense, ce qui entraîne une importante évapotranspiration (Simon et *al.*, 1989).

II.3.2.5.3.1.3 Froid

La température basse entraîne divers contraintes pour la plantes pendant la saison d'hiver (Akula, 2011). Stimulant la synthèses des métabolites tels que les phénols, et terpénoïdes, qui agissent comme antioxydants et protecteurs contre le stress oxydatif et aussi une accumulation des flavonoïdes (Grace et *al.*, 1998).

II.3.2.5.3.1.4 Polluants

Les polluants atmosphériques tels que l'ozone (O₃), le dioxyde d'azote (NO₂) et les métaux lourds, induisent le un stress oxydatif, en générant des espèces réactives de l'oxygène (ERO) dans les plantes. En réponse, les plantes augmentent la biosynthèse de métabolites

antioxydants tels que les flavonoïdes et les polyphénols pour se protéger contre les dommages oxydatifs (Sharma et *al.*, 2007).

Systèmes antioxydants non enzymatiques et enzymatiques, en réponse à une augmentation de la formation de ROS (Oliveira et *al.*, 2022).

II.3.2.5.3.1.5 Salinité

Le stress salin, induit la fermeture des stomates, causée par une synthèse accrue d'acide abscissique (ABA) au niveau des cellules de garde, ce qui entraîne une diminution de l'assimilation du carbone, des lésions de la membrane thylacoïdal, inhibition du transport d'électrons, la photophosphorylation et dégradation de la chlorophylle (Ashraf et Harris, 2013).

Il existe deux types de stress salin : osmotique et ionique. La réponse au stress osmotique est rapide, caractérisé par une diminution immédiate de la croissance des plantes et la conductance stomatique des feuilles matures. Tandis que la réponse ionique est lente, associée à la sénescence des feuilles et une diminution progressive du taux de croissance. (Khan et *al.*, 2019).

II.3.2.5.3.1.6 Facteurs édaphiques

La carence en éléments nutritifs dans le sol, peut augmenter la synthèse des composés phénoliques chez les plantes (Guittet et Paul, 1974). L'azote est essentiel pour la formation des acides aminés précurseurs (comme la phénylalanine) et donc des phénols (Treutter et *al.*, 2007). Le phosphore est impliqué dans le métabolisme énergétique et la biosynthèse des nucléotides et des coenzymes, qui intervient dans la production de métabolites secondaires (Vance et *al.*, 2003). Le potassium est nécessaire pour le transport des assimilés et la régulation osmotique, ce qui peut influencer à la biosynthèse des composés phénoliques en modulant le métabolisme des glucides (Marschner et *al.*, 2007).

II.3.2.5.3.2 Facteurs biotiques

Les divers agents pathogènes, incluant les virus, les bactéries, les champignons, et les insectes, envahissent les tissus végétaux, provoquant une gamme de maladies qui peuvent sérieusement compromettre la santé et la vitalité de la plante. Ce qui peut affaiblir ces derniers, interférant leur capacité photosynthétique, d'absorber les nutriments, le transporter

d'eau, ce qui peut mener à une diminution de leur croissance et de leur développement (Foyeret *et al.*, 2005).

II.3.2.5.4 Effet des facteurs écologiques sur l'accumulation des métabolites secondaires

La composition chimique et le profil métabolique des plantes sont influencés par une multitude de facteurs intrinsèques et extrinsèques. Les facteurs intrinsèques incluent la biosynthèse propre à la plante, son profil génétique unique et la spécificité de l'organe concerné. En revanche, les facteurs extrinsèques englobent les conditions environnementales externes telles que l'origine géographique de la plante et divers paramètres écologiques, notamment le climat, les types de sols influence sur la synthèse des métabolites secondaires (Al Naser, 2018) ; Ncube *et al.*, 2012).

Cet effet a été traduit par des variations en contenu phénolique chez l'espèce développée dans des environnements différents (Verma et Shukla, 2015).

II.3.2.5.5 L'équilibre de la synthèse des métabolites secondaires

Le rôle de cet équilibre contribue à maintenir l'homéostasie de l'organisme en lui permettant d'accroître leur tolérance au stress et d'améliorer sa capacité afin de s'adapter aux changements climatiques (Martin *et al.*, 2006).

Chapitre III

Matériels et Méthodes

III. Matériels et Méthodes

III.1 Présentation de la zone d'étude

III.1.1 La situation géographique

La zone d'étude (saccardy) est située dans la forêt Béni Ghobri. Elle occupe une superficie de 5720 ha, située à environ 55km à l'Est de la willaya de Tizi Ouzou. Elle limitée au Nord par le mont de Tamgout et au sud par le village de Cheurfa N'Bahloul et Chebel, à l'ouest la ville d'Azazga et à l'Est la forêt d'Akfadou (**Fig.20**).



Figure.20 Situation géographique de la zone d'étude (Saccardy) (Google Earth, 2024). Les coordonnées géographiques sont mentionnées dans le Tab.3.

Tableau.3 la situation géographique de la station d'étude.

Nom de la station	Altitude (m)	Longitude (°)	Latitude (°)	Pente (°)	Superficie (m)	Orientation
Saccardy	680,02	N 36°43'48,1"	E 004°26'38,9"	15	50X50	N-0

III.1.2 Description de la zone d'étude.

La forêt de Béni Ghobri est caractérisée par un climat méditerranéen, qui se caractérise par des étés sèches et long et des hivers frais et froid. Elle est classée dans l'étage bioclimatique humide à variante tempérée, avec un régime pluviométrique saisonnier de type H.P.A.E (Messaouden et Tessier, 1991).

Les sols de la forêt sont siliceux, à une texture limon-sableuse de type brune lessive, caractérisés par un humus du type mull riche en matière organique (Messaouden, 2008). Le substrat géologique constitué de grès numidien et les argiles sous numidiennes et les Flysch à micro brèche, des sols acides à texture limono-sableuse et des sols rouges, bruns, hydro morphes, podzoliques, peu évolués et des lithosols sur crêtes (Messaouden, 2008).

Pour la végétation de cette zone il reparte comme strate herbacée (*Quercetea pubescentis* et *Quercetea ilicis*), arbustive (*Cytisus triflorus*, *Erica arborea*, *Rubus ulmifolius*, *Rubus incanescens* et *Crataegus monogyna*) et arborescente (*Quercus suber* et *Quercus canariensis*) (Messaouden, 2008).

III.2 Échantillonnage des feuilles:

Les feuilles ont été récoltés par Mme Hoceini-Bentaha, sur dix (10) individus de *Quercus suber* L. d'une futaie homogène, au cours de deux saisons (été et hiver 2019), suivant le protocole Bonneau (1988) et Leroy (1968).

Après séchage les feuilles saines ont été choisies, et même quantité a été pesée pour chaque arbre. Un échantillon moyen a été ressorti puis broyé à l'aide d'un moulin électrique afin d'obtenir une poudre homogène fine et stockés à 4°C.

III.3 L'extraction :

L'extraction a été faite selon le protocole Bourgoum et al (2016), 3g de poudre végétale a été mélangé avec 30ml de méthanol à 70%, agité pendant 30 minutes, puis laisser macérer pendant 24 heures à 4°C. Une Centrifugation à 5000 tr/min pendant 15 minutes afin de séparer le surnageant, cette opération a été répétée 03 fois. Après évaporation, l'extrait a été récupéré et conservé à 4°C (Ouzid et al., 2018).

III.4 L'activité antioxydant

Il existe plusieurs antioxydants qui diffèrent selon les types, les structures, le mode d'action et la réactivité (Amessis-Ouchemoukh et al., 2017).

L'activité antioxydants des feuilles de *Quercus suber* L. a été évalué par deux tests (DPPH et TAC), qui été ont choisis selon la disponibilité des produits chimiques.

III.4.1 Evaluation de l'activité antioxydant par le test de DPPH

Le DPPH est utilisé comme un radicale libre afin de mesurer l'activité antioxydants. Sa structure montre que ce composé peut capter un électron ou un radical hydrogène pour devenir une molécule stable, mais il ne peut s'oxyder que difficilement et de manière irréversible, en raison de son électron impair il présente une forte bande d'absorption à 517nm du couleur violet, lorsque l'électron est apparié, la décoloration qui une résulte disparaît (Blois MS, 1958).

Selon Dieng et *al* (2017) 50 µl de chaque concentration d'extrait avec 1000µl de DPPH. Le contrôle contient seulement le DPPH, après 30min d'incubation à l'obscurité l'absorbance été mesurée à 517 nm.

Une gamme de concentration de 50µg/ml à 500µg/ml pour les extraits feuilles, et une gamme de concentration de 10µg/ml à 220µg/ml de la vitamine C a été préparée dans les mêmes conditions.

Pour l'évaluation d'activité antioxydant par ce test on doit calculer le pourcentage de piégeage par la formule suivante :

$$\% \text{ de piégeage} = [(Ac - Ae) / Ac] \times 100.$$

Ac : absorbance du contrôle.

Ae : absorbance de l'extrait.

III.4.2 Evaluation de la capacité antioxydant totale (TAC)

Selon Prieto et *al* (1999), le pouvoir antioxydant totale des extraits a été déterminé par la méthode de réduction du Phosphomolybdate, traduit par la formation d'un complexe vert qui indique le pouvoir antioxydant.

Une série de concentrations a été préparé pour nos extraits, allant de 50µg/ml à 700µg/ml. La vitamine C a été utilisée comme un témoin positif avec une gamme de concentration de 50µg/ml à 500 µg/ml. L'usage comme est de 1 ml de la solution réactionnelle (0,6 mM d'acide sulfurique, 28 mM de phosphate de sodium et 4 mM de molybdate d'ammonium) a été mélangé avec 0,1 ml de différentes concentrations de chaque extraits les tube sont incubés à 95°C pendant 90 minutes. Après refroidissement l'absorbance a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 695nm.

III.4.3 Analyse statistique

Une analyse de la variance (ANOVA) a été appliquée à l'aide de logiciel Excel, sur l'ensemble des résultats avec un seuil de 95% avec test student.

Chapitre IV

Résultats et discussion

IV. Résultats et discussion

IV.1 Activité antioxydant totale (AAT)

Le *Quercus suber* L. possède une activité antioxydante importante. Plusieurs auteurs (Lavado et al (2020) ; Setti et al (2020) ; Ferreira et al (2018) ; Aroso et al (2017) ; Santos et al (2010) ; Rached et al (2009) ont prouvé dans leurs études sur différents organes de *Quercus suber* L. ont élaboré beaucoup de test afin d'étudier cette activité.

Dans l'étude effectuée, l'activité antioxydant (AAT) des feuilles de *Quercus suber* L. a été évaluée par le piégeage des radicaux libres (DPPH) et la capacité antioxydant totale (TAC). Cela est exprimer par le changement de couleur lors de déroulement d'une réaction entre les antioxydants et les oxydants.

La capacité antioxydant de l'extrait pour les deux tests augment avec l'augmentation des concentrations.

Une déférence significative au seuil de 0,001 entre les groupes trouver.

IV.1.1 Test de DPPH

Selon **Sadegh (2014)**, la capacité de piégeage des radicaux libre est expliquée par le changement de couleur de l'extrait d'une couleur violette vers la couleur jaune suivant la flèche (**Fig.21**).



Figure.21 le virage de la couleur de violet vers jaune selon la concentration(DPPH).

Les résultats d'inhibition des radicaux libre de témoin exprimé à partir d'une courbe d'étalonnage (**Annexe N⁰¹**) avec un coefficient de détermination important $R^2 = 0,986$.

Les résultats obtenus montrent que d'acide ascorbique inhibe 99% de radicale libre de DPPH à une concentration de 220 μ g/m. À la même concentration, les extraits foliaires de *Quercus Suber* L. inhibe 74% en été et 47% en hiver illustre dans la figure.22 à

différente concentration. Ce qui signifie que les standard présent une pouvoir de piégeage de radicale libre DPPH plus important par rapport au nos extraits étudié.

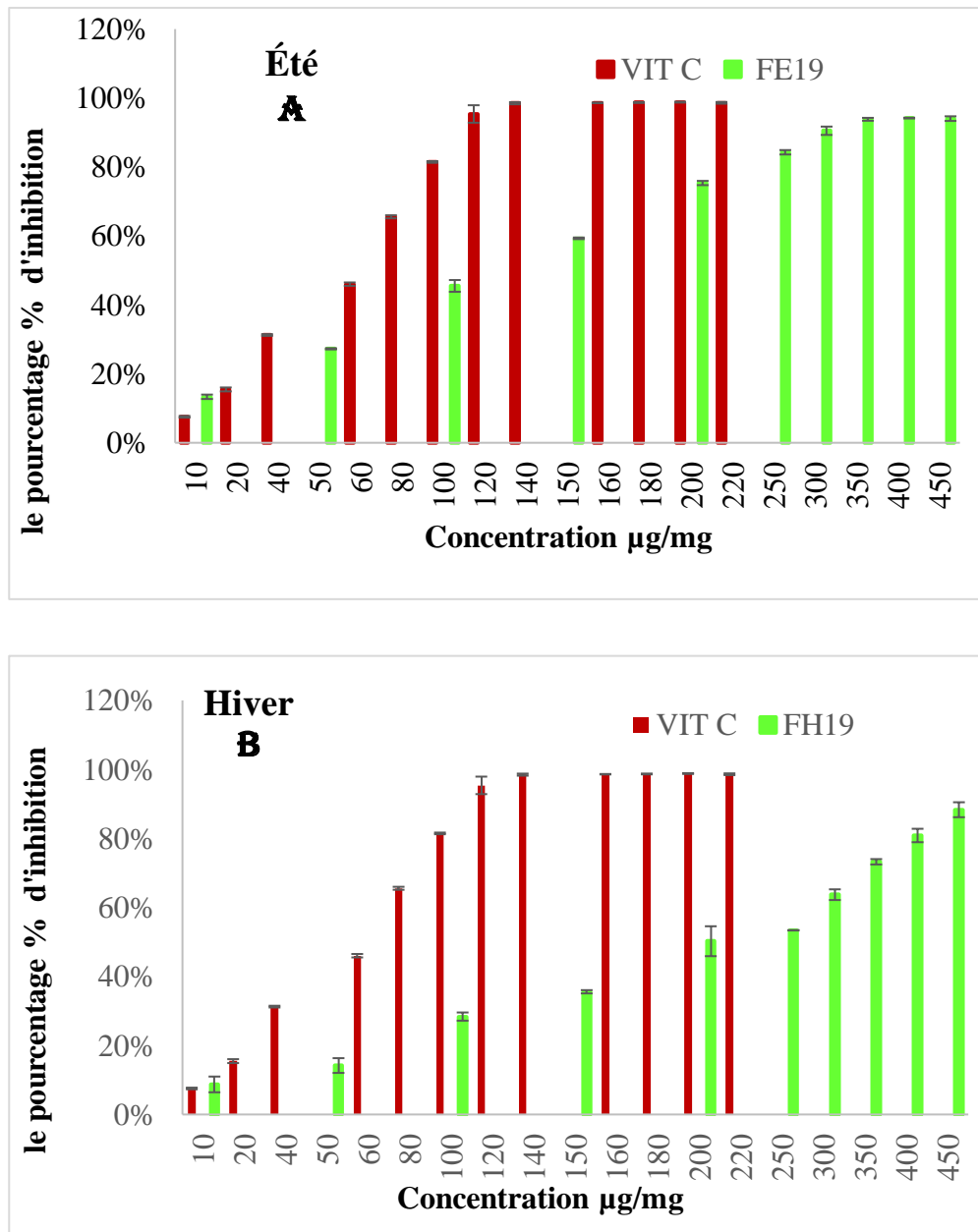


Figure.22 Le pourcentage de piégeage de radicale libre Test DPPH par les extraits et l'acide ascorbique.

La figure 23 n'illustre que les valeurs d'IC50 pour inhibition de radicale libre DPPH pour l'extrait utilisé des deux saisons. La valeur d'IC50 la plus élevée a été retrouvée durant la saison hivernale 256,76µg/ml.

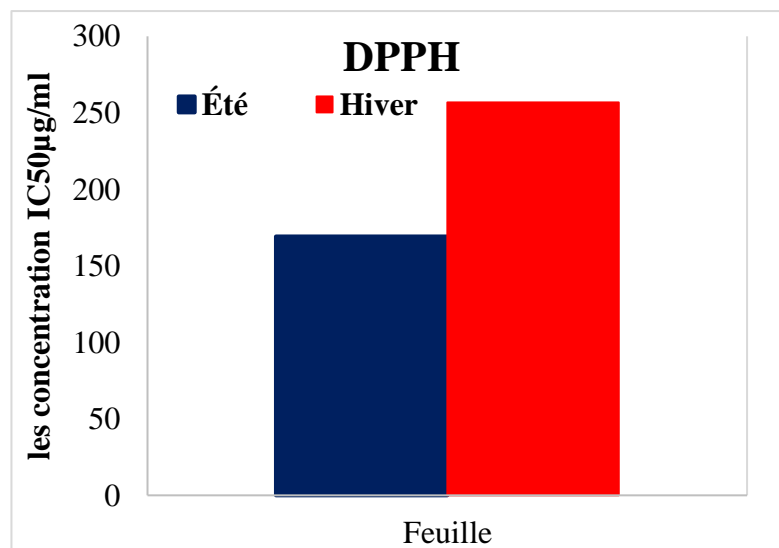


Figure.23 Histogramme d'IC50 d'inhibition de radicaux libres DPPH pour l'extrait durant les deux saisons.

Pendant la saison estivale, la présente étude montre que l'IC50 des extraits des feuilles de 169,38µg/ml est inférieure à celle trouvée par Sarwar et *al* (2015) sur les feuilles de *Quercus Incana* L. dans le solvant n-Hexane (C₆H₁₄) est égal à 677,8µg/ml collecté au Pakistan en mois de mai 2011. Les feuilles de *Quercus Suber* L. présentent un pouvoir antioxydant le plus important par rapport à celles *Quercus Incana* L. Cette différence peut être due à la nature des feuilles. Ali et *al* (2004), ont rapporté dans leurs travaux que les feuilles persistantes possèdent une capacité de maintenir des niveaux plus élevés en composés antioxydants tout au long de l'année. Ces substances contribuent à neutraliser les radicaux libres provoqués par le stress (chaleur, lumière intense), tels que les flavonoïdes qui protègent les cellules en piégeant les ROS et en dissipant l'énergie excédentaire (Grace et *al.*, 2000). D'autre part les variations climatiques entre deux régions jouent un rôle important dans la variation du pouvoir antioxydant. Le climat Algérien est caractérisé par des étés chauds pouvant durer jusqu'à 5 mois (Quezel et *al.*, 2003).

L'inhibition de 50% de radicaux libres DPPH par les feuilles pendant la saison hivernale a été retrouvée à une concentration de 256,76µg/ml. Cette valeur est inférieure à celle trouvée par Custodio et *al* (2015) en mois d'octobre au Portugal avec une concentration d'inhibition de 50% est de 46,0mg/ml (équivalent 46000µg/ml). Ce qui explique que les feuilles de notre étude présentent une capacité antioxydante la plus importante. Cette variation est attribuée au climat de la province du Portugal en 2015 par rapport à celui de

l'Algérie en 2019. Selon Chaves et al (2011) les basses températures augmentent induisent l'expression de gènes codant pour la biosynthèse des flavonoïdes telle que la chalcone synthase. Elles stimulent l'activité de l'enzyme phénylalanine ammonia-lyase (PAL), responsable de la production des composés phényl-propanoïdes (Patra et al., 2013). Cependant il est important de noter que le climat Algérien est plus sec et chaud ce qui présente que nos extraits ont une activité antioxydant plus importante que celle provenant des régions plus humide et tempérées (Portugal) (Amalich et al., 2015).

IV.1.2 Test de TAC

Selon Hameed et al (2021) le but de test TAC est de réduire le molybdène (VI) en molybdène (V) par les extraits des plantes. Le potentiel antioxydant des extraits est exprimé par le changement de la couleur des extraits vers le vert clair (Fig. 24).



Figure.24 le virage de la couleur de vert puis bleu selon la concentration (TAC).

Les recherches sur ce test pour le *Quercus suber* L. étant peu nombreuses.

La capacité antioxydante totale des extraits étudiés est donnée en termes d'adéquation à l'aide d'une courbe d'étalonnage (**Annexe N°2**) de référence pour l'acide ascorbique ($R^2 = 0,9979$).

Les résultats obtenus pour le test TAC résument la valeur d'IC₅₀ d'extrait des feuilles de *Quercus suber* L. étudiés (**Fig.25**). Ils révèlent que les extraits foliaires de la saison hivernale ont la valeur la plus élevée à 447,96µg/ml.

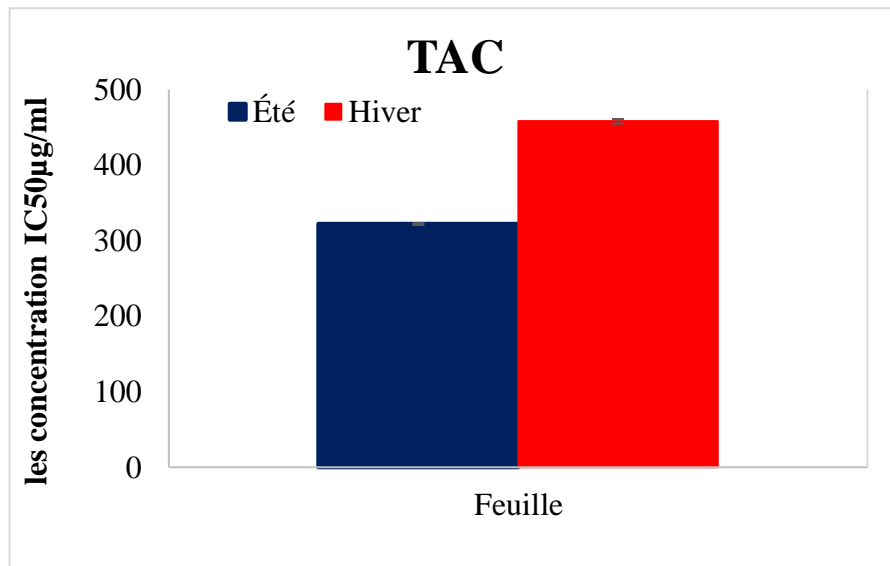


Figure.25 Histogramme des IC50 de réduction de molybdène.

L'absorbance de la capacité antioxydante des extraits étudiés est inférieure à celui du standard pour toutes les concentrations utilisées. L'acide ascorbique atteint sa stabilité à une concentration 400µg/ml avec une absorbance à 695nm ayant 1,367 (Fig.26).

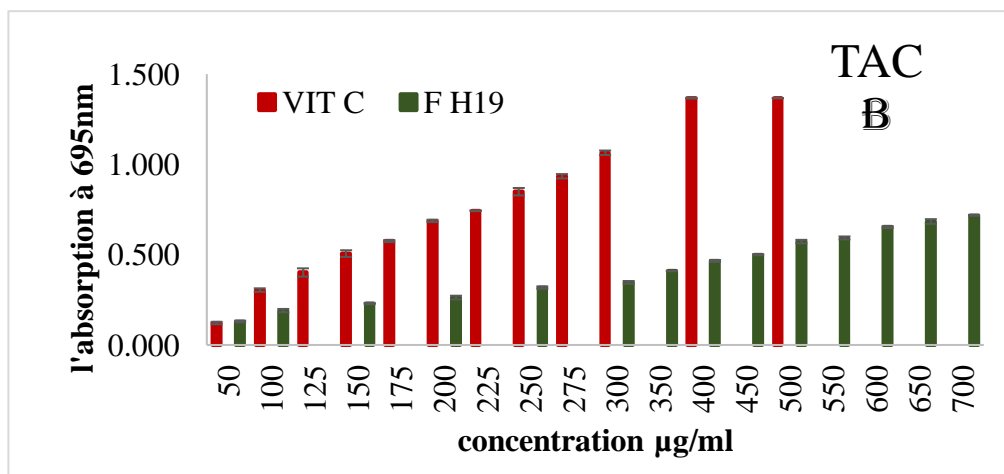
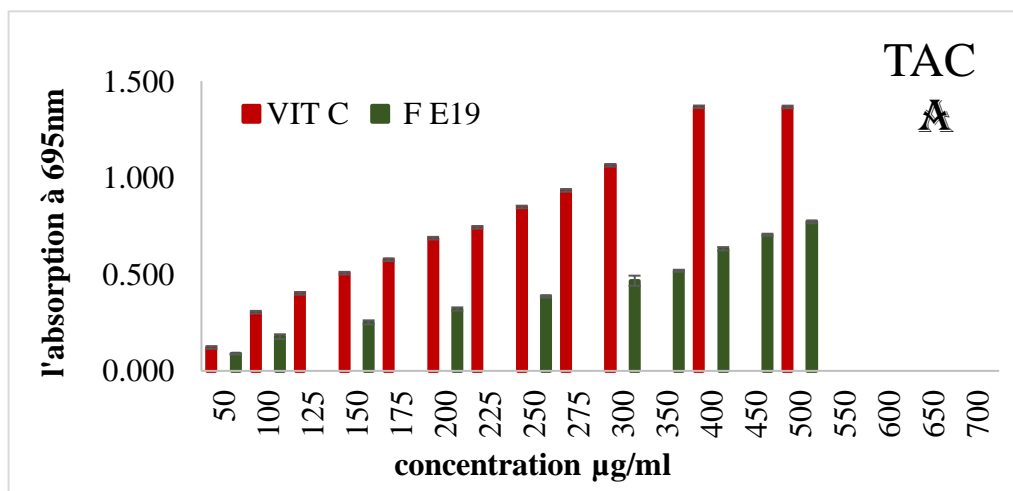


Figure.26 Test TAC par les extraits et l'acide ascorbique.

Le 50% d'inhibition pour réduire le molybdate, atteint à une concentration, d'IC50 à 311,98µg/ml et 447,96µg/ml durant la saison estivale et hivernale respectivement. Ces résultats sont supérieurs à celle trouvé par Frouja et *al* (2022) avec une valeur de 13.82µg/ml en Tunisie. Cette différence est due à l'exposition de nos feuilles à un rayonnement UV plus important qui produit davantage de composés phénoliques pour se protéger de ce stress. En effet ces composés ont la capacité d'absorber les rayons UV (Farjadmand et *al.*, 2021). La composition du sol peut également influencer sur la production des composés phénoliques dans les feuilles de *Q.S* (Panigrahi et *al.*, 2022). L'expression de l'activité antioxydant est liée à la composition phénolique (Tuyen et *al.*, 2016).

Conclusion

Conclusion

Le climat méditerranéen impose des défis uniques à la végétation locale en raison de divers stress biotiques et abiotiques. Parmi ceux-ci, on trouve la sécheresse estivale prolongée, les sols souvent pauvres en nutriments. Les plantes de cette région, telles que le *Quercus suber* L. (chêne-liège), ont développé des stratégies afin de s'adapter à ces conditions sévères.

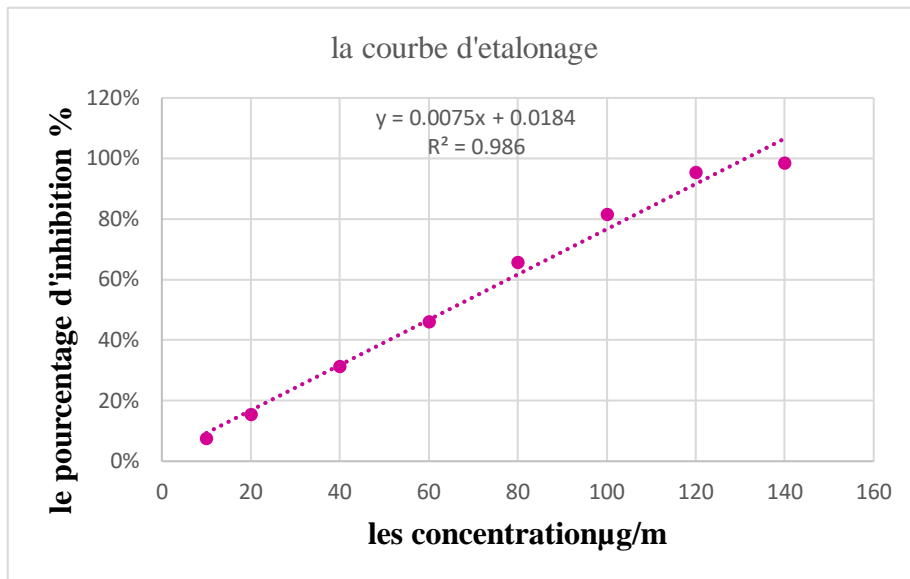
Le chêne-liège, en particulier, joue un rôle crucial tant sur le plan écologique que socio-économique en Algérie. Il constitue une part importante de la couverture forestière. Sous l'influence de facteurs environnementaux, cette espèce active des réponses biochimiques qui entraînent des modifications significatives dans la production de métabolites secondaires, des composés essentiels pour sa survie et son adaptation.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes concentrés sur l'évaluation du potentiel antioxydant des feuilles de *Quercus suber* L., récoltées en été (juillet) et en hiver (janvier) dans l'Est de la wilaya de Tizi-Ouzou.

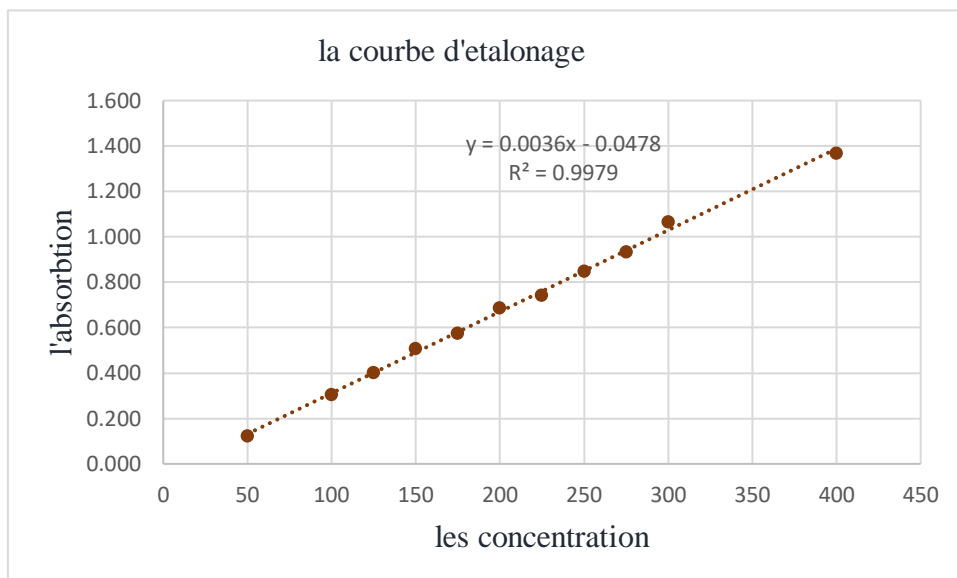
Notre étude souligne l'importance des mécanismes de défense développés par *Quercus suber* L. pour faire face aux défis imposés par la sécheresse et le froid. Elle offre également des perspectives sur l'utilisation des extraits de cette plante en tant que sources potentielles d'antioxydants, ce qui peut avoir des implications pour la conservation des écosystèmes forestiers et leur exploitation durable.

ANNEXE

ANNEXE



Annexe N°1 : la courbe d'étalonnage de DPPH.



Annexe N°2 : la courbe d'étalonnage de TAC

Référence bibliographiques

Référence bibliographiques

- Achakzai, A. K. K., Achakzai, P., Masood, A., Kayani, S. A., & Tareen, R. B. (2009). Response of plant parts and age on the distribution of secondary metabolites on plants found in Quetta. *Pak. J. Bot*, 41(5), 2129-2135.
- Agarwal, V., Miles, Z. D., Winter, J. M., Eustáquio, A. S., El Gamal, A. A., & Moore, B. S. (2017). Enzymatic halogenation and dehalogenation reactions: pervasive and mechanistically diverse. *Chemical reviews*, 117(8), 5619-5674.
- Ahama, K. Y., Quashie, M. L. A., Agbonon, I., & Koumaglo, K. (2010). Activités antioxydantes in vitro des feuilles de *Crataeva adansonii*. *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, 16, 153-164.
- Ahsan, H., Ali, A., & Ali, R. (2003). Oxygen free radicals and systemic autoimmunity. *Clinical & Experimental Immunology*, 131(3), 398-404.
- Aimene, I., Chetouane, A., & Younsi, S. E. (2019). Contribution à l'étude des facteurs biotiques affectant l'état de santé du Chêne-liège dans la région de Jijel; cas des insectes ravageurs (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- AISSAOUI. L et GUELLAL. M; 2021, Contribution à l'étude de la Variation saisonnière de des teneurs en polyphénols totaux d'une solution aqueuse des racines du chêne liège « *Quercus suber L.* » dans la forêt domaniale d'Azzouza. Mémoire De fin d'études. Univ ummto
- Akula, R., & Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant signaling & behavior*, 6(11), 1720-1731.
- Al-Gubory, K. H., Fowler, P. A., & Garrel, C. (2010). The roles of cellular reactive oxygen species, oxidative stress and antioxidants in pregnancy outcomes. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 42(10), 1634-1650.
- Ali, N. B., & Lamarti, A. (2014). Macronutrients effect on secondary somatic embryogenesis of Moroccan cork oak (*Quercus suber L.*). *American Journal of Plant Sciences*, 2014.
- Almeida, A. J. P. O., d'Oliveira, J. C. P. L., da Silva Pontes, L. V., de Souza Júnior, J. F., Gonçalves, T. A. F., Dantas, S. H., ... & de Medeiros, I. A. (2022). ROS: basic concepts, sources, cellular signaling, and its implications in aging pathways. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2022(1), 1225578.
- Al-Naser, M., Ohashi, H., Ahmed, S., Nakamura, K., Akiyama, T., Sato, T., ... & Dengel, A. (2018, January). Hierarchical Model for Zero-shot Activity Recognition using Wearable Sensors. In *ICAART (2)* (pp. 478-485).

- Anulika, N. P., Ignatius, E. O., Raymond, E. S., Osasere, O. I., & Abiola, A. H. (2016). The chemistry of natural product: Plant secondary metabolites. *Int. J. Technol. Enhanc. Emerg. Eng. Res.*, 4(8), 1-9.
- Aronson J., João S. Pereira, Juli G, and Pausas, 2009. Cork Oak Woodlands on The Edge Ecology, Adaptive Management, and Restoration. 7-89 pg 1-307
- Arora, R. (2002). Implementing KM—a balanced score card approach. *Journal of knowledge management*, 6(3), 240-249.
- Ashraf M, Harris PJC (2013) Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica* 51:163–190.
- Azul, A.M., Sousa, J.P., Agerer, R., Martin, M.P. and Freitas, H., 2010. Land use Practices and ectomycorrhizal fungal communities from oak woodlands dominated by *Quercus suber* L. Considering droug
- Bahorun, T. (1998, March). Substances naturelles actives: la flore mauricienne, une source d’approvisionnement potentielle. In *Second Annual Meeting of Agricultural Scientists (Vol. 83, pp. 83-94)*.
- Bakkenist, C. J., & Kastan, M. B. (2003). DNA damage activates ATM through intermolecular autophosphorylation and dimer dissociation. *Nature*, 421(6922), 499-506.
- Baubet, T. (2008). Effroi et métamorphose. *Psychothérapie transculturelle des névroses traumatiques en situation d’impasse thérapeutique (Doctoral dissertation, Université Paris 13)*.
- Baxter, W. H. (2014). *Baxter-Sagart Old Chinese reconstruction, version 1.1 (20 September 2014)*. List of Old Chinese reconstructions.
- BELHOUCINE L., 2013 —Étude bioécologique de *Platytypus cylindrus* (col., Platypodidae) Dans la subéraie de M’sila (Oran) : Etude particulière des champignons qui lui sont associés. Thèse. Mag.Dep.Forest.Fac.sci., univ.Tlemcen. 119 p.
- Bennick, A. (2002). Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 13(2), 184-196.
- Binder, V., Bergum, B., Jaisson, S., Gillery, P., Scavenius, C., Spriet, E., ... & Mydel, P. (2017). Impact of fibrinogen carbamylation on fibrin clot formation and stability. *Thrombosis and haemostasis*, 117(05), 899-910.
- Blois MS, (1958) Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 181:1199-1200
- Boizot, N., & Charpentier, J. P. (2006). Méthode rapide d’évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d’un arbre forestier. *Le Cahier des Techniques de l’INRA*, In: Numéro spécial, 79-82.
- Bonneau M. (1988). Le diagnostic foliaire. *Revue Française Forestière*. XL- n°sp : 19-28

- Bouhraoua R.T., 2023 , situation sanitaire de quelques forêts de chênes-lièges de l'ouest algérien. Étude particulière des problèmes posés les insectes. Doct. Dept. Forest. Fac. Sci., Univ Tlemcen
- Bourgoum S, Beii, R. S., Medini F et Ksouri R (2016). Effet du solvant et de solvant et de la méthode d'extraction sur la teneur en composées phénoliques et les potentialités antioxydants d'Euphorbia helioscopia. *Journal of New Sciences*, 28.
- Boutheyna, Touafchia., Malika, R. K., Lilia, Redjaimia., Alia, Zerrouki., Labed, Ababsa, & Rabah, Arhab (2023). diversité floristique et structure démographique des peuplements de quercus suber l. du foret d'Ouled Bechih (Souk Ahras). revue des bios ressources, 13 (1), 28-40.
- Bouyahiaoui, B. (2014). Structure profonde et réactivation de la marge est-algérienne et du bassin adjacent (secteur d'Annaba), contraintes par sismique réflexion multitrace et grand-angle terre-mer (Doctoral dissertation, Université Nice Sophia Antipolis; Université Abou Bekr Belkaid (Tlemcen, Algérie)).
- Brielmann, H. L., Setzer, W. N., Kaufman, P. B., Kirakosyan, A., & Cseke, L. J. (2006). Phytochemicals: The chemical components of plants. *Natural products from plants*, 2, 1-49.
- Burg, A., Chattopadhyay, A., & Lam, K. Y. (2017). Wireless communication and security issues for cyber-physical systems and the Internet-of-Things. *Proceedings of the IEEE*, 106(1), 38-60.
- Cantat O., 2005 : La canicule de l'été 2003: un épisode météorologique « hors normes » ? Expertise d'un risque climatique en Basse-Normandie. Cahiers de la MRSN, no42, Université de Caen Basse-Normandie, pp. 83-101.
- Cantat, T., Jaroschik, F., Nief, F., Ricard, L., Mézailles, N., & Le Floch, P. (2005). New mono- and bis-carbene samarium complexes: synthesis, X-ray crystal structures and reactivity. *Chemical communications*, (41), 5178-5180.
- Chaves, Ó. M., Stoner, K. E., & Arroyo-Rodríguez, V. (2011). Seasonal differences in activity patterns of Geoffroyi's spider monkeys (*Ateles geoffroyi*) living in continuous and fragmented forests in southern Mexico. *International Journal of Primatology*, 32, 960-973.
- Compean, B. G. (2015). Parental perception on the impact of continued use of baby sign on stress and parent-child interaction: Followup survey one year post hoc of a baby sign workshop. The University of Texas at El Paso.
- Dahane, B., Bouhraoua, R. T., & Berrichi, M. (2010). Impact de l'état sanitaire du chêne-liège sur certains aspects macroscopiques et microscopiques du liège de reproduction de deux forêts de l'Ouest Algérien. *IOBC/wprs Bulletin*, 57, 25-32.
- Direction Générale des forêts DGF d'Algérie., 2022. Inventaire forestier national .Alger, Algérie

- Djerrad, Z., Kadik, L., & Djouahri, A. (2015). Chemical variability and antioxidant activities among *Pinus halepensis* Mill. essential oils provenances, depending on geographic variation and environmental conditions. *Industrial Crops and Products*, 74, 440-449.
- Duret, X. (2013). Liquéfaction d'écorces en vue de leur valorisation pour le développement de nouveaux produits de traitement du bois (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat-Sciences du Bois et des Fibres]. Nancy: UL-Université de Lorraine, 24 mai 2013).
- Eibes, G., dos Santos, F., Andrade, P. Z., Boura, J. S., Abecasis, M. M., da Silva, C. L., & Cabral, J. M. (2010). Maximizing the ex vivo expansion of human mesenchymal stem cells using a microcarrier-based stirred culture system. *Journal of biotechnology*, 146(4), 194-197.
- El Antry, S., & Piazzetta, R. (2014). Les techniques de régénération du chêne-liège au Maroc. *Forêt méditerranéenne*, 35(2), 161-170.
- Fadili, K., Amalich, S., N'edianhoua, S. K., Bouachrine, M., Mahjoubi, M., El Hilali, F., & Zair, T. (2015). Teneurs en polyphénols et évaluation de l'activité antioxydante des extraits de deux espèces du Haut Atlas du Maroc: *Rosmarinus Officinalis* et *Thymus Satureioides*. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 17(1), 24-33.
- FAO, 2013 états des forêts Méditerranéennes 2013. État des ressources forestiers dans la région méditerranée- les forêts de chênes-lièges.
- FAO, 2021. Statistiques forestière 2022. Rome:FAO
- Farjadmand, F., Karimpour-Razkenari, E., Nabavi, S. M., Ardekani, M. R., & Saeedi, M. (2021). Plant polyphenols: natural and potent UV-protective agents for the prevention and treatment of skin disorders. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 21(5), 576-585.
- Ferreira.J ,Santos.S ,Pereira.H,2020, in vitro screening for acetylcholinesterase inhibition and antioxidant activity of *Quercus suber* cork and corkbak extract , *Evidence -Based-complementary and Alternative Medicine* ,2020
- Fortuna-Perez, A. P., de Moraes Castro, M., & Goulart de Azevedo Tozzi, A. M. (2012). Leaflet secretory structures of five taxa of the genus *Zornia* JF Gmel.(Leguminosae, Papilionoideae, Dalbergieae) and their systematic significance. *Plant systematics and evolution*, 298, 1415-1424.
- Fournet, A., Hocquemiller, R., Roblot, F., Cavé, A., Richomme, P., & Bruneton, J. (1993). Les chimanines, nouvelles quinoléines substituées en 2, isolées d'une plante bolivienne antiparasitaire: *Galipea Longiflora*. *Journal of natural products*, 56(9), 1547-1552.
- Franceschini, A., Maddau, L., & Marras, F. (2002). Incidence d'endophytes fongiques impliqués dans le dépérissement du chêne-liège. *IOBC/wprs Bull*, 25(5), 29-36.
- Fraval A., 1991, contribution à la connaissance des rythme de floraison du chêne-liège en forêt de la Mamora ,*Ann Rech. For.Maroc*,T(25),102-118

- Fritig, B., Legrand, M., & Hirth, L. (1972). Changes in the metabolism of phenolic compounds during the hypersensitive reaction of tobacco to TMV.
- Frouja, O., Hammami, M., Dakhlaoui, S., Wannas, W. A., Hessini, K., Msaada, K., & Ahmed, H. B. (2022). Intra and interspecific variability of *Quercus suber* and *Quercus canariensis*, an intrinsic water-use efficiency approach for differentiation. *Environmental Research Communications*, 4(10), 105002.
- Ganaoui, N., & Chakali, G. (2023). Diversité et importance des Coléoptères dans les forêts de chênes (nord-est de l'Algérie). *IOBC-WPRS Bulletin*, 168, 16-23.
- Ghaïoule, D., Lumaret, J. P., Rochat, D., Maatouf, N., & Nlogret, J. (2007, January). Evaluation des dégâts par les vers blancs (Coleoptera: Scarabaeoidea) dans les parcelles de régénération du chêne-liège (*Quercus suber* L.) en forêt de la Mamora (Maroc) et recherche de médiateurs chimiques pour une lutte biologique. In *Annales de la Société entomologique de France* (Vol. 43, No. 1, pp. 1-8). Taylor & Francis Group.
- Gil-Pelegrín, E., Peguero-Pina, J. J., & Sancho-Knapik, D. (Eds.). (2017). Oaks Physiological Ecology: Exploring the Functional Diversity of Genus *Quercus* L.
- Gomes, S, Pereira, L, Ferreira, M.J et Cardoso, M, 2018. Effect of cork oak bark extract on urinary tract infections: A randomized double blind, placebo-controlled clinical trial. *Phototherapy research* .32(1), 110-116.
- Gorham, J. (1995). Mechanisms of salt tolerance of halophytes. *Halophytes and biosaline agriculture*, 31.
- Grace, A. A. (2000). The tonic/phasic model of dopamine system regulation and its implications for understanding alcohol and psychostimulant craving. *Addiction*, 95(8s2), 119-128.
- Guit B., Nedjimpi B. 2019. Diversité floristique du mont Guerouaou (Sehary Guebli, région de Djelfa, Algérie) en fonction des paramètres stationnels *Ecologia Mediterranea*, 45(2), 45-61
- Guittet, J., & Paul, P. (1974). La végétation des pelouses xérophiles de Fontainebleau et ses relations avec quelques facteurs édaphiques. *Vegetatio*, 29, 75-88.
- Hadacek, F. (2002). Secondary metabolites as plant traits: current assessment and future perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21(4), 273-322.
- Hadjaz, Y. (2021). Activité bio-insecticide d'un extrait aqueux des racines du chêne liège *Quercus suber* L. sur les larves de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (WIEDMANN, 1824) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C., & Chapelle, J. P. (2007). Le stress oxydant. *Revue médicale de Liège*, 62(10).
- Hameed, A., Zafar, M., Ahmad, M., Sultana, S., Bahadur, S., Anjum, F., ... & Altaf, M. A. (2021). Chemo-taxonomic and biological potential of highly therapeutic plant *Pedicularis*

- groenlandica Retz. using multiple microscopic techniques. *Microscopy Research and Technique*, 84(12), 2890-2905.
- Hamza, S. (2013). Les facteurs du dépérissement des subéraies de l'Edough (Séraïdi). Etude des ravageurs des feuilles et des glands du chêne-liège (*Quercus suber* L.) (Doctoral dissertation, University of Souk Ahras).
 - Harris, J. E. (2020). The subways seeded the massive coronavirus epidemic in New York City (No. w27021). National Bureau of Economic Research.
 - Harris-Kojetin, L. D., Sengupta, M., Park-Lee, E., & Valverde, R. (2013). Long-term care services in the United States: 2013 overview.
 - Hozawa, A., Jacobs Jr, D. R., Steffes, M. W., Gross, M. D., Steffen, L. M., & Lee, D. H. (2007). Relationships of circulating carotenoid concentrations with several markers of inflammation, oxidative stress, and endothelial dysfunction: the Coronary Artery Risk Development in Young Adults (CARDIA)/Young Adult Longitudinal Trends in Antioxidants (YALTA) study. *Clinical chemistry*, 53(3), 447-455.
 - Janeway, C. A., Murphy, K., Travers, P., & Walport, M. (2009). Immunobiologie. De Boeck Supérieur.
 - Jin, D. Y. (2010). Korea's online gaming empire. The MIT Press.
 - Jourdheuil, P., Grison, P., & Fraval, A. (1991). La lutte biologique: un aperçu historique. *Courrier de la Cellule environnement INRA*, 15(15), 37-60.
 - Karamatsoukis, S. L., Trigka, E. A., Stasinopoulou, M., Stavridou, A., Zacharioudaki, A., Tsarea, K., ... & Papalois, A. E. (2018). Beneficial Effect of U-74389 G and sildenafil in an experimental model of flap ischemia/reperfusion injury in swine. Histological and biochemical evaluation of the model. *Journal of Investigative Surgery*.
 - Khan, A., Khan, A. L., Muneer, S., Kim, Y. H., Al-Rawahi, A., & Al-Harrasi, A. (2019). Silicon and salinity: crosstalk in crop-mediated stress tolerance mechanisms. *Frontiers in plant science*, 10, 1429.
 - Khan, M. K., Teng, J. Z., Khan, M. I., & Khan, M. O. (2019). Impact of globalization, economic factors and energy consumption on CO2 emissions in Pakistan. *Science of the total environment*, 688, 424-436.
 - Kriventseva, E. V., Kuznetsov, D., Tegenfeldt, F., Manni, M., Dias, R., Simão, F. A., & Zdobnov, E. M. (2019). OrthoDB v10: sampling the diversity of animal, plant, fungal, protist, bacterial and viral genomes for evolutionary and functional annotations of orthologs. *Nucleic acids research*, 47(D1), D807-D811.
 - Lavado, G., Ladera, L., Cava, R., 2020. Cork oak leaf extract potential use as natural antioxidants in cooked meat, Traditional research group, INBIOG+C, Univ of Extremadura, Cáceres, 10003, Spain.

- Leroy, 1968 Variations saisonnières des teneurs en eau et éléments minéraux des feuilles de chênes (*Quercus pedunculata*). Ann. Sci. Forest., 25(2) : 83-117.
- Li, H., Flachowsky, H., Fischer, T. C., Hanke, M. V., Forkmann, G., Treutter, D., ... & Szankowski, I. (2007). Maize Lc transcription factor enhances biosynthesis of anthocyanins, distinct proanthocyanidins and phenylpropanoids in apple (*Malus domestica* Borkh.). *Planta*, 226, 1243-1254.
- Limayem, M., & Hirt, S. G. (2003). Force of habit and information systems usage: Theory and initial validation. *Journal of the Association for information Systems*, 4(1), 3.
- Lugasi, A. (2003). The role of antioxidant phytonutrients in the prevention of diseases. *Acta biologica szegediensis*, 47(1-4), 119-125.
- Luis Gil et Maria Carolina Varela Directives techniques EUFORGEN pour la conservation génétique et l'utilisation du chêne-liège (*Quercus suber*) 2008.
- Malhotra, J. D., & Kaufman, R. J. (2007). Endoplasmic reticulum stress and oxidative stress: a vicious cycle or a double-edged sword?. *Antioxidants & redox signaling*, 9(12), 2277-2294
- MEDDOUR R., 2010 « Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie exemple des groupements forestier et pré forestiers de la kabylie djurdjuriène ». Thèse de doctorat d'état et science en foresterie. Université MMTO.
- Mercurio, R. (2015). Distribution et écologie des peuplements internes de chêne-liège en Toscane (Italie)-. *Forêt Méditerranéenne*, 36(1), 17-22.
- Mercurio, Z. A. (2015). Affective commitment as a core essence of organizational commitment: An integrative literature review. *Human resource development review*, 14(4), 389-414.
- Ministère de l'agriculture et du Développement Rural, 2023 : stratégie nationale de développement de la forêt.
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Van Breusegem, F. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in plant science*, 9(10), 490-498.
- Mocek-Płóćiniak, A., Mencil, J., Zakrzewski, W., & Roszkowski, S. (2023). Phytoremediation as an effective remedy for removing trace elements from ecosystems. *Plants*, 12(8), 1653.
- Mohammad, S., Kiritchenko, S., Sobhani, P., Zhu, X., & Cherry, C. (2016, June). Semeval-2016 task 6: Detecting stance in tweets. In *Proceedings of the 10th international workshop on semantic evaluation (SemEval-2016)* (pp. 31-41).
- Mokhtari, N., MRABET, R., LEBAILLY, P., & Laurent, B. O. C. K. (2014). Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. *Revue marocaine des Sciences agronomiques et vétérinaires*, 2(1), 50-66.

- Montillet, J. L., Cacas, J. L., Garnier, L., Montané, M. H., Douki, T., Bessoule, J. J., ... & Triantaphylidès, C. (2004). The upstream oxylipin profile of *Arabidopsis thaliana*: a tool to scan for oxidative stresses. *The Plant Journal*, 40(3), 439-451.
- Moreau, J., & Thiéry, D. (2013). Qualité de la plante hôte et succès reproducteur.
- Naghiloo, S., Movafeghi, A., Delazar, A., Nazemiyeh, H., Asnaashari, S., & Dadpour, M. R. (2012). Ontogenetic variation of total phenolics and antioxidant activity in roots, leaves and flowers of *Astragalus compactus* Lam.(Fabaceae). *BioImpacts: BI*, 2(2), 105.
- NATIVIDADE J.V., 1956- Subericulture. Ecole National des eaux et forêts, Nancy, 302p.
- Ncube, B., Finnie, J. F., & Van Staden, J. (2012). Quality from the field: The impact of environmental factors as quality determinants in medicinal plants. *South African Journal of Botany*, 82, 11-20.
- Oliveira, J. M. P. F., Santos, C., Araújo, M., Oliveira, M. M., & Dias, M. C. (2022). High-salinity activates photoprotective mechanisms in *Quercus suber* via accumulation of carbohydrates and involvement of non-enzymatic and enzymatic antioxidant pathways. *New Forests*, 53(2), 285-300.
- Oyaizu M (1986) Studies on products of browning reaction prepared from glucose amine. *Jpn J Nutr* 44: 307–15
- P. Prieto, M. Pineda and M. Aguilar; Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybden. un complex: specific application to the determination of vitamin E1; *Analytical Biochemistry*; 1999, Vol. 269, P. 337-341.
- Panda, A. C. (2018). Circular RNAs act as miRNA sponges. *Circular RNAs: biogenesis and functions*, 67-79.
- Panigrahi, S., Tiwari, B. R., Brar, S. K., & Dubey, B. K. (2022). Thermo-chemo-sonic pretreatment of lignocellulosic waste: Evaluating anaerobic biodegradability and environmental impacts. *Bioresource Technology*, 361, 127675.
- Patra, A. K. (2013). The effect of dietary fats on methane emissions, and its other effects on digestibility, rumen fermentation and lactation performance in cattle: A meta-analysis. *Livestock science*, 155(2-3), 244-254.
- Pereira, H. (Ed.). (2011). *Cork: biology, production and uses*. Elsevier.
- Pereira, H., 2007. *Biology, Production and Uses*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.103-125
- Phillips, O. L., Malhi, Y., Higuchi, N., Laurance, W. F., Núñez, P. V., Vásquez, R. M., ... & Grace, J. (1998). Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science*, 282(5388), 439-442.
- Piazza, P. V., Deminière, J. M., Le Moal, M., & Simon, H. (1989). Factors that predict individual vulnerability to amphetamine self-administration. *Science*, 245(4925), 1511-1513.

- PIAZZETTA R., (2005)- La levée du liège, guide technique et de vulgarisation, institut méditerranéen du liège.23p.
- Pouredal, H. R., & Sadegh, N. (2014). Effective removal of amoxicillin, cephalexin, tetracycline and penicillin G from aqueous solutions using activated carbon nanoparticles prepared from vine wood. *Journal of Water Process Engineering*, 1, 64-73.
- Quezel P., 2002. Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranée. Paris: éditions Ibis Press.
- Quézel, P., & Médail, F. (2003). *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen* (Vol. 572). Paris: Elsevier.
- RACHED, W., BENAMAR, H., BENNACEUR, M., & MAROUF, A. (2009). Évaluation du potentiel antioxydant de plantes médicinales et analyse phytochimique..
- Rao, K. M., Raghavendra, A. S., & Reddy, K. J. (Eds.). (2006). *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants*. Springer Science & Business Media.
- Ribeiro.R.A, Sousa.A.M et Carvalho.FA.2018.Efficacy of cork oak bark extract in the treatment of chronic diarrhea : A double- blind, placebo-cintrolled , randomized clinical trial ,phototherapy research, 32(1),103-109.
- Roberts, K., Granum, E., Leegood, R. C., & Raven, J. A. (2007). C3 and C4 pathways of photosynthetic carbon assimilation in marine diatoms are under genetic, not environmental, control. *Plant physiology*, 145(1), 230-235.
- Roszkowski, S. (2023). Application of Polyphenols and Flavonoids in Oncological Therapy. *Molecules*, 28(10), 4080.
- Saccardy L., 1938 -Le Chêne-Liège et le Liège en Algérie.In : Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale, 18^e année, bulletin n°203, juillet 1938. pp. 488-497.
- Serigne Ibra Mbacke DIENG1*, Alioune Dior FALL1, Kady DIATTA-BADJI1, Abdou SARR1, Madieye SENE2, Moussa SENE1, Amadou MBAYE1, William DIATTA1 et Emmanuel BASSENE1 Evaluation de l'activité antioxydante des extraits hydro-ethanoliques des feuilles et écorces de *Piliostigma thonningii* Schumach.2017
- Serra, M. B., Barroso, W. A., Silva, N. N. D., Silva, S. D. N., Borges, A. C. R., Abreu, I. C., & Borges, M. O. D. R. (2017). From inflammation to current and alternative therapies involved in wound healing. *International journal of inflammation*, 2017(1), 3406215
- Setti, L., Passarini, F., De Gennaro, G., Barbieri, P., Perrone, M. G., Borelli, M., ... & Miani, A. (2020). SARS-Cov-2RNA found on particulate matter of Bergamo in Northern Italy: first evidence. *Environmental research*, 188, 109754.
- Sharma, S. V., & Settleman, J. (2007). Oncogene addiction: setting the stage for molecularly targeted cancer therapy. *Genes & development*, 21(24), 3214-3231.

- Shimazu, T., Kuriyama, S., Hozawa, A., Ohmori, K., Sato, Y., Nakaya, N., ... & Tsuji, I. (2007). Dietary patterns and cardiovascular disease mortality in Japan: a prospective cohort study. *International journal of epidemiology*, 36(3), 600-609.
- Singh, R. P., & Banerjee, N. (2018). Exploring the influence of celebrity credibility on brand attitude, advertisement attitude and purchase intention. *Global Business Review*, 19(6), 1622-1639.
- Squires Jr, R. H., Shneider, B. L., Bucuvalas, J., Alonso, E., Sokol, R. J., Narkewicz, M. R. & Hynan, L. S. (2006). Acute liver failure in children: the first 348 patients in the pediatric acute liver failure study group. *The Journal of pediatrics*, 148(5), 652-658.
- Stavridou, E., Voulgari, G., Bosmali, I., Chronopoulou, E. G., Cicero, L. L., Piero, A. R. L., & Madesis, P. (2018). Plant adaptation to stress conditions: The case of glutathione S-Transferases (GSTs). *Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants*, 173-202.
- Taib.M, Rezzak.Y, Bouyazza.L et Lyoussi.B, 2020 medicinal uses , phytochemistry and pharmacological activities of *Quercus suber*, Evidence -Based complementary and alternative Medecine.
- Tattini, M., Galardi, C., Pinelli, P., Massai, R., Remorini, D., & Agati, G. (2004). Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of *Ligustrum vulgare* under excess light and drought stress. *New Phytologist*, 163(3), 547-561.
- Thi Tuyen, P., Tan Khang, D., Thu Ha, P. T., Ngoc Hai, T., Elzaawely, A. A., & Dang Xuan, T. (2016). Antioxidant capacity and phenolic contents of three *Quercus* species. *International Letters of Natural Sciences*, (54).
- Turrens, J. F. (2003). Mitochondrial formation of reactive oxygen species. *The Journal of physiology*, 552(2), 335-344.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 39(1), 44-84
- Veillon, S. (1998). Guide technique de subériculture dans les Pyrénées-Orientales. *Typologie de peuplement et étude préliminaire. Stage de fin d'étude, FIF-ENGREF, France*, 68.
- Verma, N., & Shukla, S. (2015). Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4), 105-113.
- Vinha, A. F., Costa, A. S. G., Barreira, J. C., Pacheco, R., & Oliveira, M. B. P. (2016). Chemical and antioxidant profiles of acorn tissues from *Quercus* spp.: Potential as new industrial raw materials. *Industrial Crops and Products*, 94, 143-151.
- Von Lützwow, M., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Flessa, H., Guggenberger, G., Matzner, E., & Marschner, B. (2007). SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil biology and biochemistry*, 39(9), 2183-2207.

- Welter, F. (2012). All you need is trust? A critical review of the trust and entrepreneurship literature. *International Small Business Journal*, 30(3), 193-212.
- Wink, M. (2013). Evolution of secondary metabolites in legumes (Fabaceae). *South African Journal of Botany*, 89, 164-175.
- Yessad S.A., 2000 - Le chêne-liège et le chêne dans les pays du méditerrané occidental. Edition ASBL foret Wallonne. P 190.
- ZERGUI, F. Z. (2016). Contribution à l'étude phytochimique et possibilités de valorisation d'une espèce dunaire du littoral oranais *Matthiola sinuata* (L). RBr. 1812 (Doctoral dissertation).