

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERRI DE TIZI OUZOU
FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE-MICROBIOLOGIE



Mémoire de Master

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie et Valorisation des Plantes

Thème

Contribution biotechnologique à l'évaluation de l'activité antioxydant de (*Quercus suber* L.) durant la saison estivale et hivernale cas de la forêt d'Azzouza

Réalisé par

- FORTAS Linda
- KACI CHAOUUCHE Yanis

Le jury

Président: Mr FACI.M	MAB	UMMTO
Promoteur : Mr HOUALI.K	Professeur	UMMTO
Co-promotrice : Mme HOCIENI-BENTAHA.M	Doctorante	IBN
Examinatrice : Mme KADIR.N	MAB	BLIDA 1
Examinatrice : Mme KADI-BENANE.L	MCA	UMMTO

Promotion 2023-2024

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à remercier DIEU le Tout-Puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté de surmonter toutes les difficultés et de réaliser ce modeste travail.

En premier lieu, nous voudrions remercier notre promoteur **Professeur HOUALLK** de nous avoir proposé la thématique.

Un grand merci à notre Co-promotrice **Mme HOCEINI-BENTAHAM** pour sa disponibilité, ses encouragements, sa confiance et ses précieux conseils.

Nous remercions **Mr FACI.M** pour nous avoir fait l'honneur de participer à la présidence du jury de notre mémoire.

Nous remercions également **Mme KADI-BENANE.L** et **Mme KADIR.N** d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

À ceux qui ont toujours cru en moi, qui m'ont soutenu dans tout ce que je fais, à ma source de force et de motivation, mes chers parents, merci pour votre sacrifice et votre précieux conseils.

À mes petites sœurs, merci pour votre encouragement au cours de mes études et à toute ma famille pour leur support immuable.

À mes amis et collègues, à qui j'exprime ma sympathie.

Linda

Dédicace

Je tiens à exprimer ma gratitude profonde à ma famille pour leur soutien inébranlable et leur amour constant. À ma mère et à mon père, merci pour votre amour inconditionnel, votre patience et vos précieux conseils. Vous avez toujours cru en moi et m'avez soutenu dans mes choix, et pour cela, je vous en serai éternellement reconnaissant. Je n'oublie pas également de remercier mon oncle, ma tante et mes grands-parents pour leur soutien.

Je souhaite aussi exprimer ma reconnaissance particulière à ma grande sœur, Louiza, qui a toujours cru en moi. Tes conseils avisés et ta confiance m'ont énormément aidé à surmonter les défis rencontrés au cours de mes études.

Je remercie également mes amis et collègues de promotion pour les moments de partage, de soutien et de collaboration. Votre amitié a rendu cette période d'études plus agréable et stimulante.

À tous, merci infiniment.

Yanis

Table de matières

Introduction	1et 2
I. Présentation de <i>Quercus suber</i> L.....	3
I.1 Systématique	3
I.2 Caractéristiques botaniques	3
I.2.1 Les feuille.....	4
I.2.2 Les fleurs	4
I.2.3 Le fruit.....	5
I.2.4 L'écorce	6
I.2.5 Les racines	6
I.3 Les exigences écologiques de <i>Quercus suber</i> L.....	7
I.3.1 L'altitude	7
I.3.2 Le bioclimat.....	7
I.3.3 L'humidité.....	7
I.3.4 La lumière	7
I.3.5 Les facteurs édaphiques	7
I.4 Cortège floristique.....	8
I.5 Aire de répartition de <i>Quercus suber</i> L.	8
I.5.1 Dans le monde	8
I.5.2 En Algérie.....	9
I.6 L'importance écologique du <i>Quercus suber</i> L.....	11
I.7 L'importance économique du <i>Quercus suber</i> L.....	11
I.8 L'importance médicale du <i>Quercus suber</i> L.....	12
I.9 La composition photochimique de <i>Quercus suber</i> L.	12
II. Le système oxydant	14
II.1 Les radicaux libres	14
II.2 Les espèces réactives de l'oxygène (ERO).....	14
II.3 Sites de production d'ERO.....	16
II.4 L'intérêt biologique des radicaux libres dans la physiologie cellulaire.....	17
III. Le système antioxydant	17
III.1 Classification des antioxydants	17
III.1.1 Selon leurs origines	17

III.1.2	 Selon leur mode d'action	18
IV.	 Le stress oxydant.....	20
IV.1	 Définition du stress oxydant.....	20
IV.2	 Le stress oxydant et son origine chez les plantes	20
IV.3	 Cibles d'ERO	21
IV.3.1	 L'ADN.....	21
IV.3.2	 Les lipides	21
IV.3.3	 Les protéines.....	21
V.	 Les métabolites secondaires.....	22
V.1	 Classification des métabolites secondaires.....	22
V.1.1	 Les polyphénols	23
V.2	 La biosynthèse des métabolites secondaires.....	24
V.2.1	 La voie de shikimate	24
V.2.2	 La voie de l'acétate malonate.....	24
V.3	 L'effet biologique des métabolites secondaires.....	24
V.4	 Les facteurs écologiques qui influencent les métabolites secondaires	25
V.4.1	 Déficit hydrique.....	25
V.4.2	 La salinité.....	26
V.4.3	 Le stress thermique.....	26
V.4.4	 La lumière.....	26
V.5	 L'activité anti-oxydante des polyphénols.....	27
V.5.1	 Les mécanismes d'action antioxydants des polyphénols	28
V.6	 Méthodes d'évaluation in vitro des capacités antioxydants	29
V.6.1	 Test de phosphomolybdate ou de la capacité antioxydante totale (TAC)...	29
V.6.2	 Test de réduction de fer (FRAP).....	29
VI.	 Présentation de la zone d'étude	30
VI.1	 La situation géographique	30
VI.1.1	 Le climat	31
VI.2	 Echantillonnage	31
VI.3	 Préparation des extraits.....	31
VI.4	 L'évaluation de l'activité antioxydant des extraits	32
VI.4.1	 Evaluation du pouvoir réducteur (FRAP).....	32
VI.4.2	 Test de phosphomolybdate ou de la Capacité antioxydant totale (TAC) ...	32
VI.4.3	 Analyse statistique	32
VII.	 Activité antioxydants	34

VII.1	Test de Réduction du fer (FRAP)	35
VII.2	Test de la Capacité antioxydante totale (TAC)	37
Conclusion	40

Liste des figure

Figure. 1 Feuille verte de chêne liège (IML)	4
Figure. 2 Inflorescence femelle (x 7.5 et male x 4) (Sellam et Mezrgane, 2021).....	5
Figure. 3 Fruit de chêne-liège (le gland) (IML).....	5
Figure. 4 Ecorce du chêne-liège IML	6
Figure. 5 Distribution du chêne-liège dans le monde (IML, 2021).....	9
Figure.6 Répartition de chêne liège en Algérie. (DGF, 2003).	10
Figure.7 Classification des antioxydants (Carocho et Ferreira., 2013).....	19
Figure 8: Déséquilibre entre les oxydants et les antioxydants (Morena et al., 2002).....	20
Figure.9 Origine du stress oxydant (Rahantaniaina, 2018)	21
Figure. 10 Classifications des métabolites secondaires	22
Figure 11: Différentes caractéristiques structurales associées à l'activité antioxydant	27
Figure 12: Mécanisme d'action des antioxydants phénoliques.	28
Figure 14: Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe ferricyanide ferrique Fe (III) et un antioxydant (AH) (Amarowicz et <i>al.</i> , 2004).	29
Figure 15: Localisation de la zone d'étude (Google Earth , Mai 2024).	30
Figure 16: Présentation de changement de couleur de quelques échantillons. FRAP(A), TAC(B) (kaci chaouche et Fortas., 2024).	34
Figure 17. Pouvoir réducteur ferrique pour les extraits et pour le standard	35
Figure.18 Graphe représente les valeurs de IC50 des extraits foliaires pour les deux saisons	36
Figure 19. Représentations de la capacité totale des extraits testés durant la saison estivale et hivernale	37
Figure 20. Graphe représente les valeurs d'IC50des extraits foliaires pour les deux saisons	38
Figure 21. La variation saisonnière des extraits filière pour la TAC	39

Liste des Tableaux

Tableau.1 La superficie mondiale des forêts de chêne liège (Nouri, 2022).	9
Tableau.2 La surface occupée par le <i>Quercus suber</i> L. en Algérie	11
Tableau.3 Types des espèces réactives de l'oxygène et leurs voies de formation	15
Tableau 4: situation géographique de la zone d'étude	30
Tableau. 5 L'IC50 de test TAC pour différents organes du genre <i>Quercus</i>	38

Liste des abréviations

AchE : l'acétylcholcholinestérase.

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl.

ERO : Espèce réactive de l'oxygène.

FE19 : les feuilles de l'été 2019.

FH19 : les feuilles de l'hiver 2019.

FRAP : Pouvoir antioxydant réducteur de l'ion ferrique.

IC50 : Concentration inhibitrice médiane.

PPT : polyphénols totaux.

Q.S: *Quercus suber L.*

RN1 : les racines de niveau 1.

RN1 : les racines de niveau.

RN2 : les racines de niveau.

RN2 : les racines de niveau 1.

TAC : Capacité antioxydante totale.

TCA : Acide trichloracétique.

UV : ultra-violet

Résumé

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est une espèce méditerranéenne d'une grande importance socio-économique et écologique. En Algérie, il est la deuxième espèce forestière la plus importante et la plus prédominante dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Les forêts méditerranéennes, comme celles de cette région étude, sont soumises à des conditions de stress biotique et abiotique sévères, générant un stress oxydatif important chez les plantes. *Quercus suber* L. développe divers mécanismes de défense, dont la production de métabolites secondaires qui jouent un rôle clé dans la neutralisation des radicaux libres. Le climat algérien, marqué par des étés longs, chauds et secs pouvant durer jusqu'à cinq mois, et des hivers frais et froids, crée un environnement favorable à l'étude du stress oxydatif. Cette étude a été menée dans la forêt d'Azozza, au Nord de l'Algérie, pendant les saisons d'hiver et d'été. L'objectif était d'évaluer le potentiel antioxydant des extraits de feuilles de *Quercus suber* L. en utilisant deux tests antioxydants basés sur la spectrophotométrie : FRAP et TAC. Les résultats montrent une variation saisonnière significative de l'activité antioxydante mesurée dans les extraits de feuilles, révélant l'adaptabilité de *Quercus suber* L. à des conditions climatiques variées.

Mots clés : *Quercus suber* L., Activité antioxydante, Métabolites secondaires, stress oxydatif, variations saisonnières.

Abstract

The cork oak (*Quercus suber* L.) is a fundamental Mediterranean species, renowned for its substantial socio-economic and ecological value. In Algeria, it ranks as the second most crucial forest species overall and is the predominant species in the wilaya of Tizi-Ouzou. Mediterranean forests, including those in this region, endure intense biotic and abiotic stressors that induce considerable oxidative stress in plant life. To combat these challenges, *Quercus suber* L. has evolved a suite of defense mechanisms, notably the production of secondary metabolites that are instrumental in scavenging free radicals. Algeria's climate is characterized by prolonged, scorching summers that extend up to five months and cool, occasionally cold winters. This stark seasonal contrast makes it an ideal environment for investigating oxidative stress in plants. Our study focused on the Azozza forest in northern Algeria, examining the antioxidant potential of *Quercus suber* L. during both winter and summer. We analyzed leaf and root extracts from two soil depths (0-15 cm and 15-25 cm) using three distinct antioxidant assays: DPPH, FRAP, and TAC, through spectrophotometric methods. The findings reveal a significant seasonal variation in antioxidant activity within the leaf and root extracts across different soil depths. This variation highlights the remarkable adaptability of *Quercus suber* L. to the fluctuating climatic conditions of its habitat. By understanding these adaptive mechanisms, we gain insights into how this species maintains its resilience and continues to thrive despite the harsh Mediterranean climate.

Key words : *Quercus suber* L., Antioxidant activity, secondary metabolites, oxidative stress, seasonal variations.

ملخص

بلوط الفلين *Quercus suber L.* هو نوع من أنواع بلوط البحر الأبيض المتوسط ذو أهمية اجتماعية واقتصادية وبيئية كبيرة. وفي الجزائر، يعتبر ثاني أهم أنواع الغابات وأكثرها انتشاراً في ولاية تيزي وزو. تخضع غابات البحر الأبيض المتوسط، مثل تلك الموجودة في منطقة الدراسة، لظروف إجهاد حيوي ولا أحيائي شديد، مما يولد إجهاداً تأكسدياً كبيراً في النباتات. يطور نبات الكيركوس سوبر ل. آليات دفاعية مختلفة، بما في ذلك إنتاج المستقلبات الثانوية التي تلعب دوراً رئيسياً في تحييد الجذور الحرة. ويوفر المناخ الجزائري، الذي يتميز بصيف طويل وحار وجاف يدوم حتى خمسة أشهر وشتاء بارد وبارد، بيئة مواتية لدراسة الإجهاد التأكسدي. أجريت هذه الدراسة في غابة عزوزة في شمال الجزائر خلال فصلي الشتاء والصيف. كان الهدف هو تقييم إمكانات مضادات الأكسدة في مستخلصات أوراق وجذور نبات الكركس سوبر ل. على عمقين من التربة (0-15 سم و15-25 سم)، باستخدام ثلاثة اختبارات لمضادات الأكسدة تعتمد على القياس الطيفي: DPPH و FRAP و TAC. أظهرت النتائج وجود تباين موسمي كبير في نشاط مضادات الأكسدة المقاسة في مستخلصات الأوراق والجذور على أعماق مختلفة، مما يكشف عن قدرة نبات الكيركوس سوبر ل. على التكيف مع الظروف المناخية المتنوعة.

الكلمات المفتاحية: *Quercus suber L.*، النشاط المضاد للأكسدة، المستقلبات الثانوية، الإجهاد التأكسدي،

التغيرات الموسمية

Agzul

Tabelluđt (*Quercus suber L.*) d yiwet n ccetla tagrakalant yesεan azal d ameqqran deg tmetti-terti. Di lezzayer, d nettat i d talmest tis snat yesεan azal meqqren akk di lwilaya n tizi uzzu. Tizεgwa tigrakalin, am tid n temnađt-agi n tezrawt, ttabaεent tiwtilin n unεzgum n tmeddurt d ubitiq I d-yesnulfan ankumru yer yimyan. *Quercus suber L.* yesnarnad ađas n tamiwin n temħaddit gar-asent lyella n temyiwnin tis snat i yetturaren dduř s wazal-is deg usarked n yiradikaliyen ilelliyan. Anezwu n lezzayer yeqli-d fell-as unebdu yezzifen, yeħman, yeqquren, i izemren ad ydum alamma d xemsa n wagguren, d cctawi semmđen, ayagi yesnulfa-d tawennađt iwulmen i tezrawt n unkumru. Tazrawt-agi thettwaxdem deg tezgi n Azozza deg ugafa n lezzayer, deg tsemhay n tegrest d unebdu. Iswi-nsen d askazal n unεzmar ameglan n tukkisin n wafriwen d yižuran n quercus suber l. s snat n telqey (0-15cm aked 15-25cm) S useqdec n krađ n yikayaden I yebnan yeř tsafsit : DPPH, FRAP, TAC. Igmad skanayen-d yiwet n temgirda yesεan anamek deg leqdic yttwakhedmen yeř tukkisin n yiferrawen d yižuran s telqey. Ayagi yvegn-d amek yettili (*Quercus suber L.*) mqabal tiwtilin tinemyagin yemgaraden.

Awalen iskudanen : *Quercus suber L.*, Leqdic mgal tamyiwnazrit, tamyiwnazrit tis snat, tasettaft, tazernant.

Introduction générale

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est une espèce méditerranéenne d'une importance capitale, couvrant une superficie de 227 000 hectares en Algérie. C'est la deuxième espèce forestière la plus importante du pays et la première dans la wilaya de Tizi-Ouzou (DGF, 2015). Ce chêne joue un rôle crucial dans la médecine traditionnelle de certaines régions et est essentiel à la conservation des sols et à la préservation de la biodiversité (Rached-Kanouni et *al.*, 2012). En outre, il possède une valeur écologique et socio-économique indéniable pour le pays.

Les climats méditerranéens, caractérisés par des étés secs et des hivers froids, présentent des contraintes environnementales majeures qui influencent la végétation des écosystèmes forestiers, en particulier le chêne-liège (Zalloni et *al.*, 2018). Bien que *Quercus suber* L. soit reconnu comme une espèce xérophile dotée d'une tolérance élevée à la sécheresse et adaptée aux conditions estivales et hivernales, les scénarios de réchauffement climatique futur prévoient des défis encore plus rigoureux pour cette région.

Face à ces conditions abiotiques sévères, les plantes, y compris *Q. suber*, subissent un stress oxydatif, une réaction de stress induite par l'exposition à des facteurs défavorables. Ce stress se manifeste par l'oxydation et les dommages aux structures cellulaires telles que l'ADN, les protéines et les lipides, perturbant ainsi l'homéostasie cellulaire. Cette perturbation est causée par une surproduction de molécules réactives de l'oxygène, connues sous le nom d'espèces réactives de l'oxygène (Moon et Shibamoto, 2009).

Pour faire face à ce stress oxydatif, les plantes ont développé plusieurs mécanismes de défense physiologiques et biochimiques. Elles produisent des composés biochimiques, appelés métabolites secondaires (tels que les polyphénols, les alcaloïdes et les terpènes), qui possèdent des propriétés antioxydants puissantes. Ces métabolites jouent un rôle crucial en protégeant les plantes contre divers stress environnementaux (Sharma et *al.*, 2015).

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer l'activité antioxydant des feuilles et des racines de *Quercus suber* L. au cours des saisons estivale et hivernale dans la région de Tizi-Ouzou, située au nord de l'Algérie. Notre étude se structure comme suit :

- Le premier chapitre présente une description détaillée de l'espèce.
- Le deuxième chapitre explore le stress oxydatif et les métabolites secondaires, en mettant en lumière leur rôle et leur importance.

- Troisième chapitre consacré aux matériels et aux méthodes utilisées dans le laboratoire de recherche en biotechnologie et valorisation des plantes.
- Le quatrième chapitre présente l'ensemble des résultats obtenus et leur discussion.

I. Présentation de *Quercus suber* L.

I.1 Systématique

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est un arbre originaire de la Méditerranée occidentale depuis le tertiaire et âgé d'environ 60 millions d'années (Quezel et Medail, 2003). Il a été décrit pour la première fois par LINNÉE en 1753 (Natividade, 1956) appartient à :

Embranchement : Spermaphytes

Sous/Embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Famille : Fagacées

Ordre : Fagales

Genre : *Quercus*

Espèce : *Quercus suber* L.

Le chêne-liège se voit par de différentes nominations selon les pays, il est nommé en :

Afrique du Nord : El fernane

Allemagne : Koekbaum ou Korbeiche

Angleterre : Cork oak

Espagne : Alcornoque

Italie : Quercia la surghero

Portugal : Subrei

France : chêne-liège

I.2 Caractéristiques botaniques

Le *Q. suber* est un arbre de taille moyenne dont la hauteur varie entre 10 et 15 mètres et atteint parfois 20 à 25 mètres (Yessad, 2000). Sa canopée est irrégulière et s'étire en longueur, laissant filtrer la lumière, lorsqu'il est isolé le tronc est orné de grande branche étalée, cependant en groupe le tronc a tendance à être plus droit et plus haut. Cet arbre a une durée de vie de 150 à 200 ans voire 800 ans dans certains cas mais ça varie selon les

conditions du milieu physique et à l'état de dégradation des subéraies (abandon, feux successifs...etc.) (Vignes, 1990).

I.2.1 Les feuille

Le *Q.Suber* est un arbre à feuilles persistantes, elles présentent un polymorphisme très marqué d'un arbre à l'autre comme sur le même individu, elles sont alternes de 2,5 à 7 cm à 7 paires de nervures aboutissant à des lobes peu profonds terminés en épine, elles sont ovales, dures, pointues, avec une base ronde et des bords ondulés, d'une couleur vert foncé avec une texture glabre dessus sauf une pubescence le long de la nervure médiane avec un pétiole de 0,8 à 2 cm de longueur (fig.1)(Yessad, 2000)



Figure. 1 Feuille verte de chêne liège (IML)

I.2.2 Les fleurs

Elles sont monoïques et allogames (les 2 sexes sont réunis sur les même rameaux) (fig.2), les fleurs males pendent en chaton à l'extrémité des rameaux elles sont longues de 4 à 8 mm, les fleurs femelles sont de petites boutants (5 à 40 nm de long), écailleux poussent isolées ou en groupes de trois ou maximum sur les rameaux de l'année en cours (Fraval, 1991). La floraison commence dès l'âge de 12 a15 ans et se déroule entre la fin avril au la fin mai (Piazzetta, 2005).



Figure. 2 Inflorescence femelle (x 7.5 et male x 4) (Sellam et Mezrgane, 2021).

I.2.3 Le fruit

La fructification commence à l'âge de 15 ans, les bonnes glandaies se répètent tous les 2 ou 3 ans, ils sont rarement consommés par l'homme mais ils constituent un aliment du choix pour le bétail et le sanglier (Bouraya, 1993). Le gland présente une forme et des dimensions variées selon les arbres, allant de l'ovoïde ou l'arrondi à l'ellipsoïdale de 2 à 5cm en longueur et 1 à 2cm en largeur, caché dans une cupule conique portée par un pédoncule assez court (fig.3) (Saccardy, 1937). La maturation de ce fruit a lieu dans l'année de floraison en octobre à novembre parfois jusqu'à janvier (piazzetta, 2005).



Figure. 3 Fruit de chêne-liège (le gland) (IML)

I.2.4 L'écorce

Elle présente la partie la plus singulière de cet arbre qui se compose de deux couches concentriques de nature différente. La première couche externe appelé liège, est un tissu mort spongieux, élastique et compressible qui résiste parfaitement aux incendies et préserve ainsi les couche corticales inférieures (Veillon, 1998) (fig.4).



Figure. 4 Ecorce du chêne-liège IML

I.2.5 Les racines

Les racines de *Q.suber* sont pivotantes fortes et longues avec des ramifications latérales épaisses elles peuvent montrer une grande expansion horizontale avec de nombreuses racines superficielles (Pereira, 2007). La racine centrale peut pénétrer plusieurs mètres dans le sol, ce qui explique pourquoi le chêne-liège est capable d'extraire l'eau aquifères profondes, pour maintenir une hydratation foliaire élevée (Pereira, 2007 ; Nardini et *al.*, 1999).

Ils ont une mycorhization (Ectomycorhization) (Aronson et *al.*, 2009). Les racines superficielles peuvent être mycorhizées par des champignons (Azul et *al.*, 2010). La symbiose offre à l'arbre une résistance à la sécheresse (Aronson et *al.*, 2009).

I.3 Les exigences écologiques de *Quercus suber* L.

I.3.1 L'altitude

L'aire de développement du chêne liège dépend du relief, il pousse en Algérie à 1550 mètres, mais ne se développe bien qu'à environ 900-1000 mètre, il descend jusqu'à 200 mètre près de la côte atlantique du Portugal et atteint 2400 mètre sur les pentes nord humides du grand atlas au Maroc, ce qu'en fait une espèce de basse et de moyenne montagne (Camus, 1938).

I.3.2 Le bioclimat

Le *Q. Suber* étant une essence thermophile, il demande des températures moyennes annuelles comprises entre 13°C et 18°C, la moyenne du mois le plus chaud doit être entre 24 et 26°C mais il peut supporter de fortes chaleurs occasionnelles (35 à 40°C) (Bouhraoua, 2003). La tolérance du chêne liège au froid semble se situer à la limite de -4°C (Alatou et al, 2005), où l'arbre entre en repos physiologique (Bouchafra et Fraval, 1991).

I.3.3 L'humidité

L'humidité est également un facteur limitant car bien qu'étant xérophile ; le chêne liège exige une humidité de l'aire élevée au moins 60% en moyenne ce qui lui permet de compenser partiellement le déficit pluviométrique de la saison sèche estivale (Vignes, 1990). Selon Zeraia (1997), la fréquence des pluies pendant la période estivale constitue l'élément le plus important pour la régénération du chêne liège.

I.3.4 La lumière

Le chêne liège est une espèce héliophile, il exige une forte insolation (Vignes, 1990). Selon Chollet, (1997) des observations quantifiées, confirment que la survie de semi et leur croissance augmente sensiblement avec l'éclairement relatif.

I.3.5 Les facteurs édaphiques

Selon Abassi (2021), le chêne liège préfère les sols calcifuges des roches éruptives, les grès et les argiles.

Cinq propriétés du sol sont importantes pour la croissance des racines et le développement des plantes : l'apport de nutriments, d'eau, d'oxygène, une température et une porosité appropriées, qui permettent le développement des racines, en fait, le stress nutritionnel affecte également la concentration de composés phénoliques dans les tissus végétaux

(Ramakrishna et Ravishankar, 2011). Selon Dixon et Paiva (1995), accumulation de phénylpropanoïdes et la lignification causée par la carence en azote et en phosphate.

I.4 Cortège floristique

L'évolution floristique du *Q.Suber* varie selon le bioclimat et régulée par le sol et le climat (Quezel, 2000). Au niveau bioclimatique humide et léger des plaines et des littoraux, le sous-bois est dense et l'humidité est constituée de : lauriers-roses (*Nerium leander*), lianes (*Smilax aspersa*), Lentistique (*Pistacia lentiscus*), bruyères (*Erica arboreayrewea*), Myrte (*Myrtus communis*), lierre (*Hedrahelix*). Il existe d'autres espèces en hauteur, par exemple l'aubépine (*Crataegus monogyna*), L'aubépine (*Calycotomspinosa*), le labarnum à 3 flores (*Cytisustriflorus*).

En phase semi-aride on rencontre des sous-bois très durs et secs, notamment Doum (*Chamaerophumilis*), Hélianthèmes (*Helianthemumnum mularium*), Cistes (*C. Ladaniferus*) et de Lavandes (*Lavandula atlantica et L. Stoechas*).

I.5 Aire de répartition de *Quercus suber* L.

I.5.1 Dans le monde

Le *Q.Suber* occupe une zone naturelle relativement petite ; elle est limitée à la méditerranée occidentale et déborde sur la cote du sud de atlantique (fig.5) (Cantat, 2005).Le Portugal produit plus de 150 000 tonnes/an de liège, ce qui représente plus de 50 % de la production mondiale, et en Espagne, France et aussi au Maroc, dans le Nord de l'Algérie et en Tunisie. Il occupe aussi des zones plus restreintes dans le Sud de la France et sur la côte occidentale de l'Italie, y compris la Sicile, la Corse et la Sardaigne (Periera et al., 2007).



Figure. 5 Distribution du chêne-liège dans le monde (IML, 2021)

Le chêne-liège occupe plus d'un million et demi hectare en Europe et près d'un million d'hectares en Afrique du Nord (Bekdouche, 2010) cette superficie est inférieure à 30 % de sa superficie potentielle à cause du surpâturage, incendie et absence d'aménagements (Tab.1).

Tableau.1 La superficie mondiale des forêts de chêne liège (Nouri, 2022).

<i>Payes</i>	La superficie(ha)	%
<i>Portugal</i>	736 000 hectares	32,5 %
<i>Espagne</i>	501 000 hectares	22,1 %
<i>Maroc</i>	277 000 hectares	12,2 %
<i>Algérie</i>	410 000 hectares	18,6 %
<i>France</i>	148 500 hectares	7,1 %
<i>Italie</i>	116 000 hectares	5,3 %
<i>Tunisie</i>	100 000 hectares	4,6 %
<i>Turquie</i>	25 000 hectares	1,1 %

I.5.2 En Algérie

Les forêts du chêne-liège s'étendent tout au long de la côte de l'Algérie permettant à notre pays d'occuper la troisième place en matière de production après le Portugal et

l'Espagne (Quezel et Medail, 2003). Selon la DGF et la FAO en 2021 les forêts en Algérie couvrent une superficie de près de 4,2 millions d'hectares, dont ceux de liège qui occupent 11%, avec une superficie totale de 440.000 hectares, dont 150.000 comme zone productive d'une capacité de production annuelle moyenne de 60.000 quintaux.

Sa distribution en Algérie est principalement concentrée dans le nord du pays, dans les montagnes de Kabylie et de l'Atlas tellien. On le trouve également dans les régions côtières, notamment dans les forêts de la Mitidja et de la Kabylie (DGF,2022) (Fig.6).



Figure.6 Répartition de chêne liège en Algérie. (DGF, 2003).

Selon les données du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural de l'Algérie, la distribution de chêne-liège est comme suit :

Tableau.2 La surface occupée par le *Quercus suber* L. en Algérie

<i>Wilaya</i>	Superficie (hectares)	Pourcentage
<i>Tizi Ouzou</i>	600000	24%
<i>Boumerdes</i>	500000	20%
<i>Alger</i>	400000	16%
<i>Bejaia</i>	300000	12%
<i>Constantine</i>	200000	8%
<i>Oran</i>	100000	4%
<i>Autres</i>	500000	20%

I.6 L'importance écologique du *Quercus suber* L.

L'importance écologique du chêne liège réside dans son rôle dans la conservation des sols et la lutte contre la désertification, il agit également 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 (Saccardy, 1938). En fait, les forêts de chêne-liège 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 chetouane, 2019). Le chêne-liège joue un rôle dans la reconstitution des réserves d'eau et le contrôle du ruissèlement (Saccardy, 1938). De plus la forêt de cet arbre abrite une biodiversité importante.

I.7 L'importance économique du *Quercus suber* L.

Depuis longtemps, le *Q.Suber* est considéré comme une espèce de grande valeur, car ses forêts fournissent une large gamme de produits dont certaines sont de véritables trésors économiques. Il possède une écorce qui a la capacité unique de produire de liège, un produit irremplaçable dans le monde (Aimene et chetouane,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.

I.8 L'importance médicale du *Quercus suber* L.

Le *Q.Suber* est une plante médicinale traditionnelle utilisée depuis des siècles dans la médecine grecque, arabe et européenne, dans le domaine phytothérapeutique qui sert à utiliser les plantes et leurs extraits à titre thérapeutique (Taib et *al.*, 2020). Les différentes parties de la plante, notamment l'écorce, les feuilles et les glands, sont utilisées pour traiter une variété de conditions, telle que les troubles digestifs, les infections et les maladies inflammatoires soit en infusion, décoction ou macération. L'écorce de chêne-liège est la partie la plus étudiée de la plante pour ses propriétés médicinales. Elle est riche en polyphénols, des composés végétaux aux propriétés antioxydants, anti-inflammatoires et antimicrobiennes (Taib et *al.*, 2020)

Les recherches sur les propriétés médicinales du chêne-liège sont encore en cours, une étude clinique publiée en 2018 a montré que l'extrait d'écorce de chêne-liège était efficace pour traiter la diarrhée chronique (Ribeiro et *al.*, 2018) ont montré dans leur étude que l'extrait d'écorce de chêne-liège réduisait la fréquence et la durée des épisodes de diarrhée. Gomes et *al.* (2018) ont trouvé l'extrait de liège réduit le nombre de bactéries présentes dans l'urine et améliorait les symptômes des infections urinaires.

Les feuilles de chênes-lièges sont également riches en polyphénols, elles sont utilisées pour traiter les troubles digestifs, les infections et les maladies inflammatoires et également pour traiter les affections cutanées, telles que l'eczéma et le psoriasis (Taib et *al.*, 2020).

Actuellement les scientifiques cherchent de trouver de nouveaux inhibiteurs de l'acétylcholinestérase (AChE) qui sont utilisés pour traiter les patients atteints de la maladie d'Alzheimer car ils améliorent la neurotransmission cholinergique, ces inhibiteurs recherchés doivent être d'une source naturelle, hautement bio-disponible et peu ou pas toxiques. D'après (Ferreira et *al.*, 2020) le *Quercus suber* L. est extrêmement riche en une variété de composés tels que les flavonoïdes et les composés phénoliques qui sont de puissants inhibiteurs de l'AChE.

I.9 La composition photochimique de *Quercus suber* L.

Selon Belkacem (2023) les composants principaux du liège comprennent :

- Subérine (45%) : constitue le principal composant des parois cellulaires du liège.
- Lignine (27%) : joue un rôle crucial dans la liaison entre les différents éléments.

- Polysaccharides (12%) : présents dans les parois cellulaires du liège, ils contribuent à sa texture.
- Tanins (6%) : responsables de la coloration du liège.
- Composés cireux (5%) : ils garantissent l'imperméabilité du matériau,
- 5% : comprenant des minéraux, de l'eau, de la glycérine et d'autres substances

Le monde végétal est constamment soumis à des agressions diverses, provenant de l'environnement ou de l'activité métabolique elle-même. Parmi ces agressions, le stress oxydant joue un rôle important dans le vieillissement et l'apparition de diverses pathologies chez les êtres vivants.

II. Le système oxydant

Le système oxydant est un ensemble de molécules et de réactions qui produisent des radicaux libres et d'autres espèces réactives de l'oxygène (ERO) (Afonso *et al.*, 2007).

II.1 Les radicaux libres

Une espèce chimique (atome ou molécule) appelée radical libre est constituée d'un électron non apparié. Il s'agit d'un déséquilibre temporaire qui est résolu par l'acceptation d'un autre électron ou par le transfert de cet électron libre vers une autre molécule (Afonso *et al.*, 2007). Parmi ces radicaux libres on distingue les espèces réactives de l'azote (ERN) et les espèces réactives de l'oxygène (ERO) qui sont la classe la plus importante.

II.2 Les espèces réactives de l'oxygène (ERO)

Les espèces réactives d'oxygène (ERO) sont des radicaux libres provenant de l'oxygène moléculaire, elles constituent la classe la plus importante d'espèces réactives produites dans les organismes vivants en raison de l'importance du métabolisme aérobie (Valko *et al.*, 2007).

Aujourd'hui, le terme « espèces réactives de l'oxygène » est utilisé pour désigner un ensemble plus vaste de molécules :

- Des radicaux oxygénés se distinguent par leur électron non apparié, tels que l'anion superoxyde $O_2^{\bullet-}$, les radicaux hydroxyles HO^{\bullet} , le peroxyde ROO^{\bullet} et l'alkoxyde RO^{\bullet} (Favier, 2003).
- Le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , l'oxygène singulet 1O_2 et le nitroperoxyde $ONOOH$ sont des dérivés de l'oxygène non radicalaires, mais ils sont également réactifs et peuvent être des précurseurs de radicaux libres (Favier, 2003).

Les différents types des espèces réactives de l'oxygène et leurs voies de formation sont mentionnée dans le tableau 3.

Tableau.3 Types des espèces réactives de l'oxygène et leurs voies de formation

Les types de radicaux libres	Description et formation
<p><i>Anion superoxyde</i> O₂⁻</p>	<p>C'est le type le moins réactif des ERO et le radical le plus souvent produit dans l'organisme (Scheibmeir et <i>al.</i>, 2005). Il est chargé négativement et produit par la réduction monovalente de l'oxygène moléculaire (Lacolley et <i>al.</i>,2007)</p> $\text{O}_2 + e^- \rightarrow \text{O}_2^{\bullet -}$
<p><i>Peroxyde d'hydrogène</i> H₂O₂</p>	<p>Le radical H₂O₂ n'est pas libre, mais il peut produire des radicaux extrêmement réactifs, il est formé suite à la dismutation de l'O₂⁻, où par réduction directe de O₂⁻ liposoluble et donc susceptible de diffuser dans les membranes ((Lacolley et <i>al.</i>,2007).</p> $\text{O}_2^{\bullet -} + \text{O}_2^{\bullet -} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$
<p><i>Radical hydroxyle</i> OH</p>	<p>C'est une substance oxydante très agressive qui cible la plupart des molécules biologiques telles que l'ADN, les protéines, les sucres et les lipides membranaires. (Lacolley et <i>al.</i>,2007), il est formé par réaction de Fenton et Décomposition du peroxy nitrit</p> $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^{\bullet} + \text{O}^{\bullet}$
<p><i>Acide hypochloreux</i> HOCl</p>	<p>Issus de la synthèse de H₂O₂ sous l'action de la myéloperoxydase, ils sont très réactifs et solubles dans les lipides.</p> $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Cl}^- \rightarrow \text{HOCl} + \text{OH}^-$
<p><i>L'oxygène singulet</i> ¹O₂</p>	<p>Il s'agit d'une version excitée de l'oxygène O₂, avec la même structure électronique que l'oxygène, mais dans une forme différente, à savoir que les électrons de la couche externe, sont appariés (Bonfont-Rousselot et <i>al.</i>, 2003).</p>

<p><i>Les radicaux peroxytes</i> ROO</p>	<p>Ils sont des composés secondaires produits par l'ajout d'oxygène aux radicaux centrés sur le carbone R• (Delattre et al., 2005)</p> $\mathbf{R\bullet + O_2 \rightarrow RO_2\bullet}$
<p><i>Les radicaux alkyles</i> R•</p>	<p>Ils proviennent habituellement de l'action des radicaux hydroxyles sur les substrats biologiques (par l'arrachement d'atomes d'hydrogène ou l'ajout de doubles liaisons) (Delattre et al., 2005).</p> $\mathbf{OH\bullet + RH \rightarrow R\bullet + H_2O}$
<p><i>Le monoxyde d'azote</i> NO</p>	<p>C'est un radical libre présent dans toutes les cellules endothéliales, créé à partir de l'arginine et de l'O₂ par l'action d'enzymes identifiées sous le nom de NO synthase (Bonfont-Rousselot et al., 2003 ; Vincent et Martin, 2008).</p> $\mathbf{O_2 + Arginine + NADPH \rightarrow NO\bullet + Citrulline + H_2O + NADP^+}$
<p><i>L'oxyde nitrique</i> ONOO⁻</p>	<p>C'est un oxydant puissant capable d'inciter la peroxydation des lipides et l'oxydation des protéines et de l'ADN, il est moins réactif que son précurseur azoté, mais responsable de l'oxydation de nombreuses biomolécules (Rezaire, 2012).</p> $\mathbf{NO\bullet + O_2\bullet^- \rightarrow ONOO^-}$

II.3 Sites de production d'ERO

La production des ERO se déroule dans diverses parties de la cellule végétale. Sa réalisation se produit dans l'apoplaste, mais elle est habituellement liée au métabolisme basal, tels que la photosynthèse, la photorespiration et la respiration qui se produisent dans les chloroplastes, les mitochondries et les peroxysomes (Mignolet-Spruyt et al., 2016 ; Kärkönen et Kuchitsu, 2015). Les recherches sur la production des ERO dans d'autres

organites sont peu nombreuses, mais nous pouvons mentionner celle des réticulum endoplasmique (Das et Roychoudhury, 2014).

II.4 L'intérêt biologique des radicaux libres dans la physiologie cellulaire

Les ERO sont impliqués dans les mécanismes de communication cellulaire, ils participent au fonctionnement de certaines enzymes à la transduction de signaux cellulaires (Favier, 2003). Ils jouent un rôle dans la régulation de l'expression génétique (Delattre et *al.*, 2005).

III. Le système antioxydant

Le terme "antioxydant" désigne toute une substance synthétisée à une faible concentration, capable de retarder, prévenir ou inhiber la production d'un oxydant toxique, d'arrêter ceux qui sont déjà produits et de les inactiver, ce qui bloque la réaction en chaînes de propagation produite par ces oxydants (Tang et Halliwell, 2010).

III.1 Classification des antioxydants

Selon Delattre et *al* (2005), les systèmes antioxydants peuvent être classés selon leur origine et selon leur mode d'action (fig.7).

III.1.1 Selon leurs origines

III.1.1.1 Système antioxydant synthétique

Il existe plusieurs antioxydants synthétiques, comme le butylhydroxyanisole (BHA), le butylhydroxytoluène (BHT), la gallate propylée (PG) et le tetra-butylhydroquinone (TBHQ), ils sont couramment utilisés dans l'industrie alimentaire en raison de leur efficacité et de leur prix moins élevé que les antioxydants naturels (Lisu et *al.*,2003).

III.1.1.2 Système antioxydant naturel

Les antioxydants sont des substances synthétisées naturellement dans la plante, tels que β -carotène, albumine, acide urique, œstrogènes, polyamines, flavonoïdes, acide ascorbique, composés phénoliques, vitamine E...etc. Elles ont la capacité de maintenir la stabilité des membranes en réduisant leur porosité, et en ayant également la capacité de lier les acides gras libres (Svoboda et Hampson,1999).

III.1.2 Selon leur mode d'action

III.1.2.1 Système antioxydant enzymatique

Les protéines antioxydants enzymatiques forment la première barrière de cette défense antioxydant, composée de trois métalloenzymes fondamentales : les superoxydes dismutases, la catalase et les glutathions peroxydases. Leurs activités et les emplacements qu'ils occupent dans la cellule se complètent et garantissent l'élimination des anions superoxydes et du peroxyde d'hydrogène dans tous les compartiments intracellulaires (Leverve, 2009 ; Lacolley et *al.*, 2007).

a) Les Superoxydes dismutases

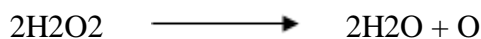
Les superoxydes dismutases sont des antioxydants enzymatiques. Ces métalloprotéines représentent la première ligne de défense contre le stress oxydant par l'élimination de l'anion superoxyde $O_2 \bullet^-$ à travers une réaction de dismutation en le transformant en peroxyde d'hydrogène et en oxygène moléculaire comme suit (Haleng et *al.*, 2007).



Ces enzymes vont accélérer la vitesse de cette réaction spontanée rendant très rapide la disparition du superoxyde mais en générant le peroxyde d'hydrogène.

b) La Catalase

La catalase est une enzyme responsable de la détoxification du peroxyde d'hydrogène produit dans les condition physiologiques (Leverve et *al.*, 2009). La réaction catalysée par cette enzyme est une dismutation du peroxyde d'hydrogène :



La catalase est surtout active lorsque le niveau de stress oxydatif est élevé ou que la quantité de glutathion peroxydase est limitée et elle joue un rôle significatif en permettant d'éliminer l'excès de peroxyde d'hydrogène afin que la réaction de Fenton ne puisse pas s'amplifier (Cantin, 1999).

c) Les Glutathions peroxydases

Le glutathion peroxydase se sont des enzymes tétramériques à sélénium qui peuvent réduire le peroxyde d'hydrogène en eau, en utilisant les capacités réductrices du couple glutathion /glutathion disulfite (GSH/GSSG) (Lacolley et *al.*, 2007).

III.1.2.2 Système antioxydant non enzymatique

Ce genre d'antioxydants forment la barrière secondaire de défense, ils présentent un grand avantage par rapport aux antioxydants enzymatiques en raison de leur petite taille, ils ont en effet la capacité de pénétrer facilement au cœur des cellules et de se situer près des cibles biologiques (Boubekri, 2014). Parmi ces antioxydants à faible poids moléculaire on peut citer les plus connus et les plus importants selon Boubekri (2014) (fig.7) :

- Des oligo-éléments : ils jouent un rôle clé en tant que co-facteurs d'enzymes essentielles pour combattre les radicaux libres, tels que le zinc, le sélénium et le manganèse (Pastre, 2005).
- Les vitamines : elles sont des composés organiques nécessaires en petites quantités pour assurer le bon fonctionnement des voies métaboliques des organismes vivants, elles se manifestent sous la forme d'une coenzyme le cas de la vitamine C et E (Elbaz, 2008).
- Les acides phénoliques et les flavonoïdes sont des bons piègeurs des radicaux libres (Carocho et Ferreira., 2013).
- Des substances endogènes : tels que le glutathion, l'acide urique, la bilirubine, l'acide lipoïque et le coenzyme Q (Carocho et Ferreira., 2013).

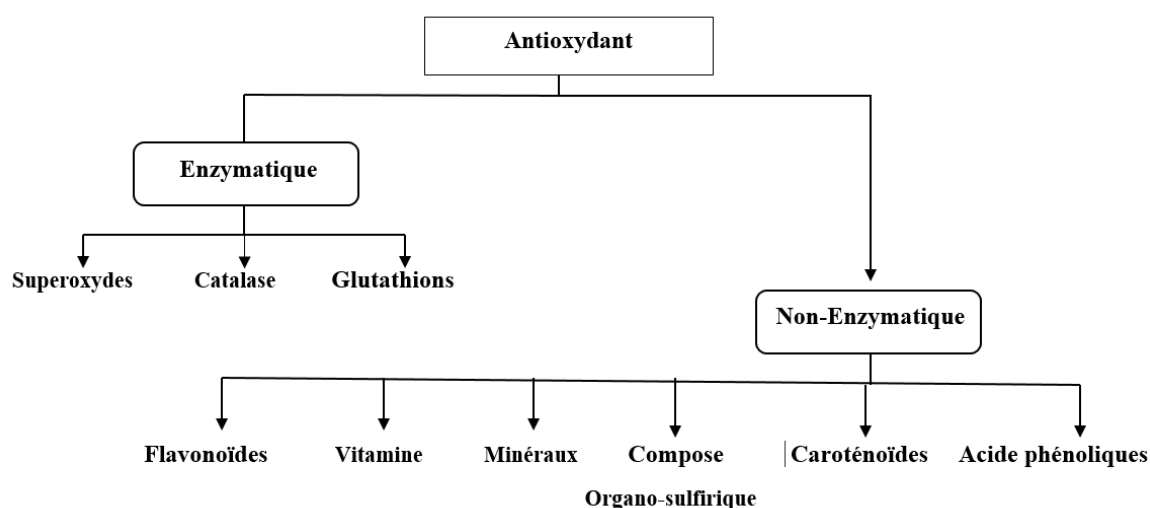


Figure.7 Classification des antioxydants (Carocho et Ferreira., 2013)

IV. Le stress oxydant

IV.1 Définition du stress oxydant

Le stress oxydatif est défini comme un déséquilibre majeur de la balance entre les agents pro-oxydants et les antioxydants en faveur des premiers (Pincemail et *al.*, 1999). Ce déséquilibre peut être causé soit par une forte production d'agents oxydants, soit par une altération des mécanismes de défense (Morena et *al.*, 2002) (Fig.8).

Au cours d'un stress oxydant, les ERO qui ne sont pas détoxiquées par le système antioxydant attaquent et détruisent les macromolécules présentes dans les cellules (Koechlin-Ramonatxo, 2006).



Figure 8: Déséquilibre entre les oxydants et les antioxydants (Morena et *al.*, 2002).

IV.2 Le stress oxydant et son origine chez les plantes

Selon Smirnoff (1998), les stress environnementaux, entraînent l'émergence d'un stress oxydatif, c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives de l'oxygène, elles sont générées lors du métabolisme normal, mais leur production est considérablement augmentée lorsque les plantes sont soumises à des stress tels que le stress hydrique et salin, intensités lumineuses élevées, températures basses et la sécheresse (Fig.9).

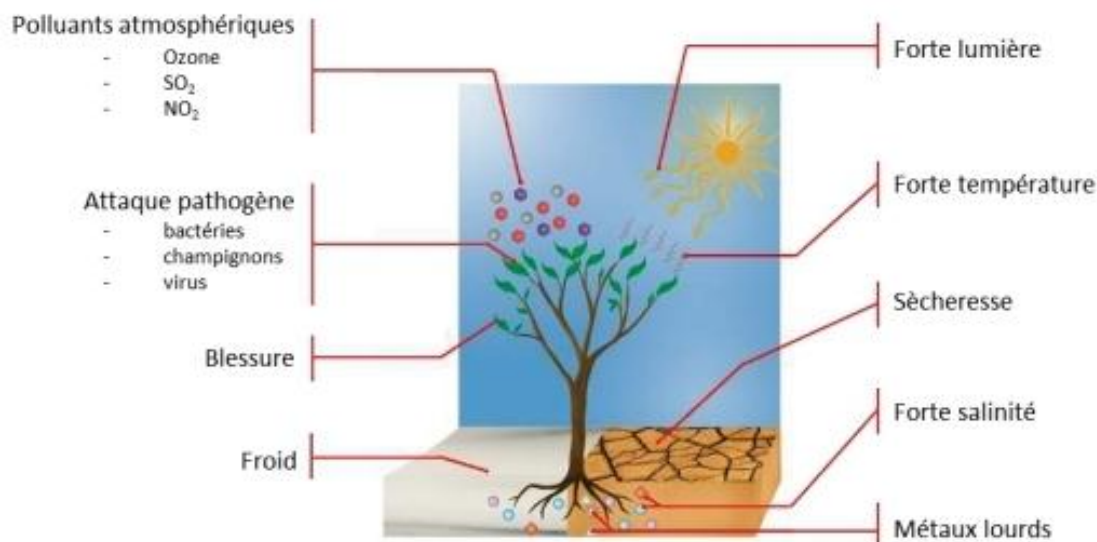


Figure.9 Origine du stress oxydant (Rahantaniaina, 2018)

IV.3 Cibles d'ERO

IV.3.1 L'ADN

L'ADN est extrêmement vulnérable aux attaques des ERO qui réagissent avec les bases purines et pyrimidines, ainsi qu'avec le désoxyribose, ce qui entraîne leur oxydation et des coupures mono et double brin de l'ADN ce qui provoque des mutations ou modification de l'expression des gènes (Favier, 2003).

IV.3.2 Les lipides

Les ERO peuvent cibler les lipides, en particulier les résidus d'acides gras polyinsaturés des phospholipides qui sont facilement oxydables, cela entraîne une cascade de réaction de peroxydase lipidique qui altère la fluidité et la perméabilité de la membrane, et peut également entraîner des dommages et des changements dans le fonctionnement des protéines membranaires (Koechlin-Ramonatxo, 2006).

IV.3.3 Les protéines

Les protéines présentent une sensibilité élevée aux attaques radicalaires, en particulier celles qui contiennent un groupe sulfhydrile (SH) et des ponts disulfures, il en va de même pour de nombreuses enzymes cellulaires et protéines de transport qui seront oxydées et

inappropriées (Friguet, 2003). Elles perdent leurs caractéristiques biologiques au moment d'oxydation, elles deviennent beaucoup plus vulnérables à l'action des protéases et du protéasome (Garait, 2006).

V. Les métabolites secondaires

Le métabolisme secondaire des plantes est un domaine fascinant qui explore la production de composés qui ne sont pas essentiels à la croissance et à la reproduction, en jouant un rôle crucial dans la survie et l'adaptation des plantes à divers stress et en constituant une source de substances importante qui peuvent être utilisées dans divers domaines (Macheix et *al.*, 2005).

Elles sont des composés organiques complexes qui sont fabriqués et stockés en petites quantités par les plantes (Newman et *al.*, 2000). Elles présentent une grande diversité structurale, dont le nombre est estimé entre 100 000 (Hadacek, 2002) et 200 000 (Hartmann, 2007).

V.1 Classification des métabolites secondaires

Elles sont classées en trois catégories en fonction de leur origine biosynthétique : les terpénoïdes, les alcaloïdes et les composés phénoliques (Croteau et *al.*, 2000). Dont la classe des polyphénols et la principale (fig.10)

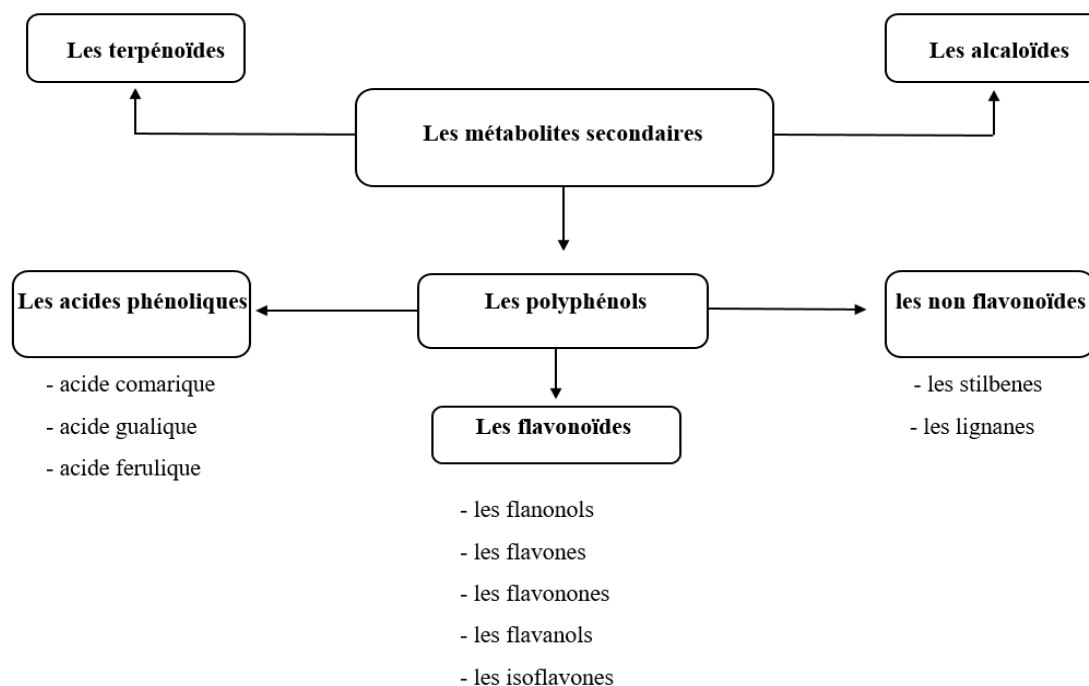


Figure. 10 Classifications des métabolites secondaires

V.1.1 Les polyphénols

Polyphénols sont les plus répandus dans le règne végétal, plus de 8 000 structures phénoliques sont connues, présentent dans tous les compartiments de la plante, ils sont responsables des pigments jaunes, rouges et orange (Marin et Andriantsitohaina, 2002).

Ils se caractérisent par la présence d'un noyau benzénique directement lié à un groupe hydroxyle, qu'il soit libre ou impliqué dans une autre fonction peut être un éther, ester ou un hétéroside (Bruneton., 2009).

➤ Classification des polyphénols

La Figure 10 présente les différentes classes des composés phénoliques selon le nombre d'atomes de carbone dans le squelette de base et sont subdivisés en plusieurs classes, les principales sont : les acides phénoliques, les flavonoïdes qui représentent plus de la moitié des polyphénols (fig.10) (Stalikas, 2007).

a- Les acides phénoliques

Ils sont les polyphénols alimentaires les plus importants (Watson et *al.*, 2013), ils se trouvent dans tous les fruits et légumes et représentent environ un tiers de la quantité totale de polyphénols dans l'alimentation (Sharma et *al.*, 2015).

Les acides phénoliques forment un ensemble essentiel de composés organiques naturels qui ont une variété d'activités pharmacologiques. Ils ont non seulement des propriétés antioxydants, mais aussi des propriétés antivirales et antibactériennes. En général, on associe l'activité antioxydant phénolique à des groupes hydroxyles présents dans leurs molécules (Cazes, 2005). Il existe deux types d'acides phénoliques : les acides benzoïques et les acides cinnamique (Watson et *al.*, 2013).

b- Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont une catégorie de composés secondaires très communs dans le règne végétal. Il s'agit de pigments presque universels des plantes qui jouent un rôle dans la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. Les hétérosides sont présents dans la vacuole des cellules ou sont des composants de plastes spécifiques, les chromoplastes (Guignard, 1996).

Selon Collin et Crouzet (2011), les flavonoïdes se composent d'un squelette composé de 15 atomes de carbone (C6-C3-C6), qui correspond à la structure du diphenylpropane. On les appelle polyphénols car ils sont composés d'un cycle benzoïque avec plusieurs groupements hydroxyles. Les polyphénols ont une fonction antioxydante grâce à ces groupements hydroxyles (Descheemaeker et provoost, 1999). Les Principales classes des flavonoïdes sont : les flavonols, les flavones, les flavanones, les flavanols, les isoflavones et les anthocyanes, ils varient dans leurs caractéristiques structurales par la diversité fonctionnelle autour de l'oxygénation de l'hétérocycle.

V.2 La biosynthèse des métabolites secondaires

La synthèse des composés phénoliques se fait principalement à partir des hydrates de carbone par la voie de l'acide shikimique et par la voie de l'acétate malonate (Chira et *al.*, 2008).

V.2.1 La voie de shikimate

Il s'agit du principal processus de biosynthèse des composés aromatiques (Kening et *al.*, 1995) dans les plantes et les micro-organismes, y compris les acides aminés aromatiques tels que la phénylalanine, la tyrosine et le tryptophane. Ces métabolites sont des précurseurs de nombreux produits naturels (secondaires) tels que les flavonoïdes, les acides phénoliques, les coumarines, les alcaloïdes... (Ghasemzadeh et Ghasemzadeh, 2001)

V.2.2 La voie de l'acétate malonate

Ce mode de formation est basé sur la cyclisation des chaînes polycétoniques, qui sont obtenues par condensation de groupements acétates. La condensation des groupements acétates ne se produit qu'après la transformation de l'acétyl CoA en malonylCoA. Le cycle benzénique latéral (A) est obtenu chez les flavonoïdes et les anthocyanes par l'enchaînement de 3 acétyl-COA (Merghem, 2009).

V.3 L'effet biologique des métabolites secondaires

Selon les recherches de Wink (2013), les métabolites secondaires assurent la protection des plantes dans des conditions défavorables, en les protégeant contre les pathogènes et les stress naturels. Ils possèdent des caractéristiques de capture, pollinisateurs, et de protection contre les agents pathogènes, les prédateurs et les contraintes liées à leur environnement direct.

Les gibbérellines, les stérols, les caroténoïdes et l'acide acétique sont des terpènes qui jouent un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes. Grâce à leurs toxicités ils protègent les plantes contre les insectes et les mammifères, et Les pyréthroïdes présents dans le chrysanthème, qui jouent un rôle d'insecticide, en sont un exemple parfait (Al Naser, 2018).

Les acides phénoliques jouent également un rôle dans la régulation du développement des plantes en interagissant avec les différentes hormones de croissance végétales. Ils offrent aux végétaux la possibilité de se protéger contre les rayons ultraviolets (Zergui, 2016). Ils possèdent également une activité antioxydant grâce à leur capacité à diminuer les espèces réactives de l'oxygène (ERO) (Naghiloo et *al.*, 2012), et ils peuvent être utilisés comme indicateur de stress car leur concentration augmente après avoir été exposés à des stress, de sorte qu'il s'agit de métabolites que la plante produit en grande quantité afin de combattre une infection causée par des champignons ou des bactéries (Hoffman, 2003).

Les flavonoïdes ont également une action protectrice contre le stress thermique. Ils pourraient aussi favoriser la survie des plantes dans les sols contenant des métaux toxiques tels que l'aluminium. Ils jouent un rôle crucial dans la protection contre les rayons ultraviolets (UV) ou à d'autres facteurs de stress (Achakzai et *al.*, 2009). De plus ils sont de puissants pièges des espèces réactives de l'oxygène (ERO) (Treutter, 2005).

Plusieurs recherches expérimentales ont prouvé que les métabolites secondaires en général et les polyphénols en particulier présentent des propriétés intéressantes en raison de leurs multiples avantages pour le bien-être des végétaux et même pour la santé humaine. Les antioxydants renforcent le système immunitaire et contribuent à protéger contre plusieurs maladies telles que le cancer, l'athérosclérose, l'hypertension et surtout les maladies neurodégénératives. En effet, ces composés ont des propriétés anticancéreuses, antivirales, antibactériennes (Barba et *al.*, 2016), anti-allergiques, anti-athérogènes et anti-inflammatoires (Falleh et *al.*, 2008). La consommation d'aliments riches en polyphénols réduit la prévalence de plusieurs pathologies (Martin et Andriantsitohaina, 2002).

V.4 Les facteurs écologiques qui influencent les métabolites secondaires

V.4.1 Déficit hydrique

La sécheresse entraîne un déficit hydrique dans le sol, ce qui peut se manifester par une diminution de la photosynthèse un déséquilibre osmotique et fermeture des stomates

tout ça provoque une réduction de la croissance et une diminution de la production de la plante (Hachana *et al.*, 1993).

V.4.2 La salinité

La salinité du sol provoque une déshydratation des cellules et un stress osmotique avec une diminution du volume cytoplasmique (Ramakrishna et Ravishankar, 2011). Elle augmente la concentration d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) dans les cellules végétales ce qui induit un stress oxydatif (El Ghazali, 2020). Cela entraîne la réduction de la biomasse, de la surface foliaire, du rendement, de la longueur des tiges et des racines, de plus elle affecte négativement les fonctions morphologiques et biochimiques d'arbre ainsi qu'elle inhibe la germination, la croissance, le développement et la production de la plante (Zhang et Ma, 2018).

V.4.3 Le stress thermique

Le stress thermique déclenche une accélération du développement et une réduction de la taille des organes végétaux développement et une diminution de la taille des organes végétaux. Il en résulte un effet négatif sur la productivité globale de la plante (Hauchinal *et al.*, 1993).

Les températures élevées perturbent le fonctionnement de l'appareil photosynthétique, en inhibant la photosynthèse et en détruisant les pigments, en particulier les chlorophylles (Jonathan, 2020). Les températures plus basses, provoquent la formation de cristaux de glace dans les espaces intercellulaires et la perte de spécificité de la membrane plasmique, entraînant l'arrêt des fonctions cellulaires (Kabongo, 2018). Cela affecte la synthèse des métabolites secondaires.

V.4.4 La lumière

La lumière est un élément important pour les échanges photosynthétiques et respiratoires (Haykel, 1993). Mais elle peut devenir une source de stress par son intensité, éclairage trop faible ou trop élevé, en conduisant à des phénomènes de photosensibilisation dangereux pour la plante (Leclerc, 2010). Szymańska *et al* (2017), ont déclaré que lorsque l'intensité lumineuse est élevée, il y'aura une augmentation de fixation du carbone dans le chloroplaste, suivi par la formation des radicaux libres et l'apparition de stress photo-oxydatif.

V.5 L'activité anti-oxydante des polyphénols

Les propriétés antioxydant des acides phénoliques et des flavonoïdes sont liées à leur structure chimique. Le type de composé, le degré de méthylation et le nombre de groupes hydroxyles ne sont que des critères parmi d'autres qui déterminent l'activité antioxydant (Rice-evans et *al*, 1995 ; Van Acker et *al.*, 1996). Parmi les caractéristiques structurales qui ont été associées à l'activité antioxydant, on peut citer (figure 11) :

- La présence d'une fonction ortho-dihydroxy sur l'anneau B, connue sous le nom de "groupe catéchol", (Van Acker et *al.*, 1996) (fig.11.A).
- La présence d'une liaison 2,3-double en conjugaison avec une 4-oxofonction d'un groupe carbonyle dans le cycle C (Van Acker et *al.*, 1996) (fig.11.B).
- La présence de groupes hydroxyles en position 3 et 5 (Rice-evans et *al.*, 1995) (fig.11.C).
- La Présence d'un groupement hydroxyle en position C3 sur le cycle C (fig.11.D).

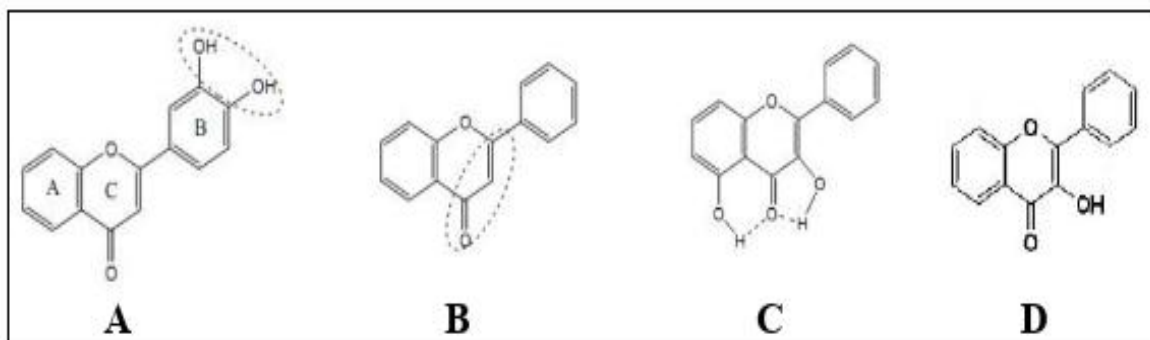


Figure 11: Différentes caractéristiques structurales associées à l'activité antioxydant

V.5.1 Les mécanismes d'action antioxydants des polyphénols

- **Le piégeage direct ou la réduction des ERO**

En raison de leur aptitude à capturer les radicaux libres et les espèces réactives de l'oxygène, les composés phénoliques possèdent des propriétés antioxydants, ce processus est appelé radicalaire (Sökmen et *al.*, 2012). Ils perturbent l'oxydation des lipides et d'autres molécules, selon un mécanisme suggéré par Sherwin (1976) : l'antioxydant cède formellement un radical hydrogène, qui peut être un transfert d'électrons suivi, plus ou moins rapidement, par un transfert de proton (fig.12), afin de générer un radical intermédiaire. Ses structures mésomères conjuguées lui confèrent une stabilité (Sökmen et *al.*, 2012).

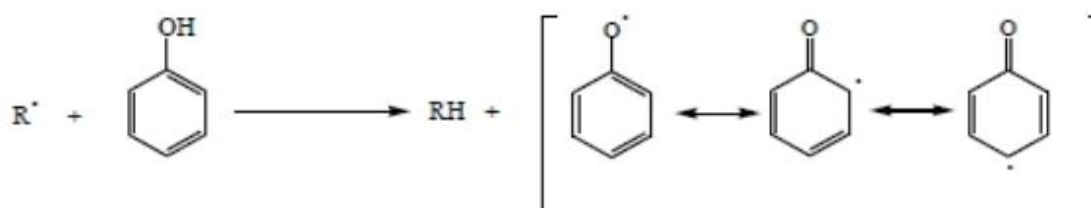


Figure 12: Mécanisme d'action des antioxydants phénoliques.

- **La chélation des ions métalliques**

Les ions métalliques jouent un rôle essentiel dans le bon fonctionnement des processus biochimiques et physiologiques cellulaires. Cependant, lorsque leurs mécanismes d'action ne sont pas correctement contrôlés, ils peuvent dans certaines situations, provoquer une peroxydation des lipides, un stress oxydatif ou des lésions tissulaires (Tiwari, 2001).

Les composés phénoliques contenant du catécholate et des groupes gallate peuvent entraver la formation du radical oxygéné, que ce soit par liaison avec le Fe^{2+} et par renforcer l'auto-oxydation du Fe^{2+} , ou par la formation de complexes inactifs avec le Cu^{2+} , le Fe^{2+} ou le Cu^+ , avec une interaction relativement faible (Perron et Brumaghin, 2009).



V.6 Méthodes d'évaluation in vitro des capacités antioxydants

L'analyse des sources bibliographiques permet de mettre en évidence différentes techniques spectrométriques pour l'évaluation de l'activité antioxydant, en se basant sur les réactions de coloration ou de décoloration d'un réactif dans le milieu réactionnel. Parmi les tests les plus couramment utilisés, nous présenterons ceux que nous avons utilisé dans notre étude :

V.6.1 Test de phosphomolybdate ou de la capacité antioxydante totale (TAC)

Ce test repose sur la réduction du molybdène Mo (VI) qui se présente sous la forme d'ions molybdate MoO_4^{2-} en molybdène Mo (V) MoO_2^+ . Si l'extrait ou un agent antioxydant est présent, la formation d'un complexe verdâtre (PMo_4) à un pH acide est le résultat de cette réduction (Prieto et al., 1999). Suivie par une lecture spectrophotométrique.

V.6.2 Test de réduction de fer (FRAP)

Le FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) est une méthode d'évaluation de l'activité antioxydants des substances. Elle repose sur la capacité d'un échantillon à réduire un complexe de fer (Fe^{3+}) à sa forme ferreuse (Fe^{2+}) (fig.14) (Benzie et.,1996). Cette réduction est mesurée spectrophotométrique à une longueur d'onde spécifique.

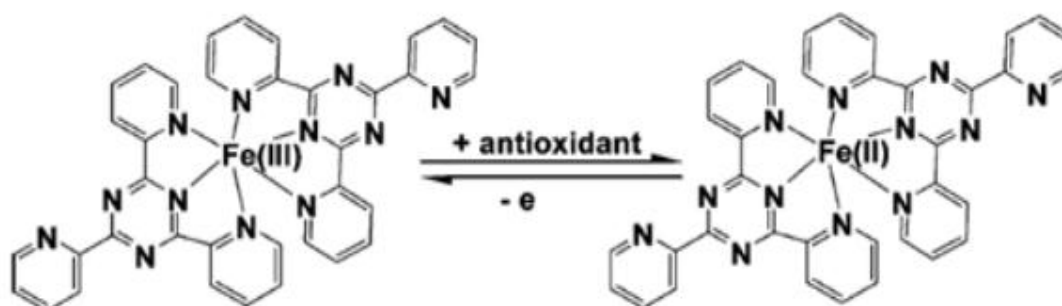


Figure 13: Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe ferricyanide ferrique Fe (III) et un antioxydant (AH) (Amarowicz et al., 2004).

VI. Présentation de la zone d'étude

VI.1 La situation géographique

Notre étude a été réalisée dans la forêt nationale d'Azzouza située au nord-ouest de la wilaya de Tizi-Ouzou. Elle couvre une superficie de 2 155 hectares, limitée au Nord par la forêt de Tigrine, au Sud par la ville de Beni Zekki, à l'Ouest par la ville de Yakouren et à l'Est par la ville d'Asif El Hemmam (Fig15). Les données géographiques de la zone d'étude sont présentées dans le tableau 4.



Figure 14: Localisation de la zone d'étude (Google Earth , Mai 2024).

Tableau 4: situation géographique de la zone d'étude

Nom du station	Altitude (m)	L'altitude	Longitude (°)	Pente (°)	Superficie (m ²)	Orientation
Ait Hamad	800	E004°32'40,1''	N36°47'24,8''	0	50×50	N-E

VI.1.1 Le climat

La région de Tizi-Ouzou bénéficie d'un véritable climat méditerranéen, caractérisé par une saison estivale longue, chaude et sèche et une saison hivernale courte et fraîche (Quézel, 1976). Les mois d'été, de juin à août, sont généralement chauds, avec des températures moyennes diurnes atteignant souvent 30°C ou plus, contrairement aux hivers, de décembre à février, qui sont généralement doux, avec des températures diurnes moyennes de l'ordre de 10 à 15 °C. L'humidité relative peut varier considérablement selon les saisons, avec des niveaux d'humidité généralement plus élevés pendant les mois les plus froids et plus bas pendant l'été (Raymond et Ullmann, 2021).

Comme dans de nombreuses régions méditerranéennes, le climat de Tizi-Ouzou peut être soumis à une variabilité interannuelle, avec des années plus sèches ou plus humides que la normale.

VI.2 Echantillonnage

Les feuilles et les racines de *Q. suber* L. ont été collectées par Mme Hocieni -Bentaha durant deux saisons, l'hiver (janvier) et l'été (juillet), en 2019 sur 10 arbres. Suivant les protocoles de Leroy (1968) et Bonneau (1988), leur principe est de sélectionner une unité homogène.

Les racines ont été prélevées sur deux niveaux N1 (0 à 15 cm) et N2 (15 à 25 cm), selon Uterano et al (2000) sur les quatre points cardinaux autour du tronc de chaque arbre sous la canopée. Les feuilles ont été collectées au milieu et à l'intérieur de la canopée de chaque arbre et sont mises dans des sacs en papier.

VI.3 Préparation des extraits

Après séchage à l'air libre des échantillons, les racines ont été nettoyées à l'aide d'une brosse afin d'éliminer toute la terre du rhizo-plant. La même biomasse a ensuite été préparée pour chaque arbre afin d'obtenir un échantillon moyen homogène. Suivant le protocole de Bourgou et al (2016), 10g de poudre de plantes ont été mélangés à 10ml de méthanol 70%, agités pendant 30min puis laissés à macérer pendant 24h à 4°C. Suivi d'une centrifugation à une vitesse de 5000 rpm pendant 10 min, cette opération a été répétée 03 fois en récupérant le surnageant, laisser évaporer et sécher à l'air dans des cristallisoirs à température ambiante. L'extrait a été gratté puis stocké dans un réfrigérateur à 4°C.

VI.4 L'évaluation de l'activité antioxydant des extraits

VI.4.1 Evaluation du pouvoir réducteur (FRAP)

Le pouvoir réducteur des extraits pour les ions Fe^{3+} a été déterminé selon le protocole de Fejes et *al.* (2000). Une gamme de concentrations de 10 μ g/ml à 250 μ g/ml pour les racines et 50 μ g/ml à 500 μ g/ml pour les feuilles. 250 μ l de tampon phosphate (0,2M, pH 6,6) a été ajouté à 250 μ l de chaque concentration puis 250 μ l de ferricyanure de potassium (1%), le tout est incubé pendant 20 min. Après incubation un volume de 250 μ l de TCA (acide trichloracétique à 10%) est ajouté puis centrifuger à 3000 rpm pendant 10 min. Par la suite 500ml de surnageant ont été récupéré et mélangé avec 500ml d'eau distille et 0,1ml de $FeCl_3$ à (0,1%), le mélange est incubé pendant 10min. Des différentes concentrations (de 5 μ g/ml à 100 μ g/ml) de l'acide ascorbique sont utilisées comme un standard.

La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel est faite à 700nm contre un blanc préparé dans les mêmes conditions en remplaçant l'extrait par le méthanol 70%. L'augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des.

VI.4.2 Test de phosphomolybdate ou de la Capacité antioxydant totale (TAC)

Suivant le protocole de Prieto et *al.*, 1999, 1ml de ce réactif molybdate (0.6M Na_2HPO_4 , 28 mM H_2SO_4 , 4mM de molybdate d'ammonium) a été ajouté à 100 μ l de chaque extrait à différentes concentrations (de 50 μ g/ml à 500 μ g/ml pour les racines et de 50 μ g/ml à 700 μ g/ml pour les feuilles), incubés à 95°C pendant 90min, l'absorbance a été mesurée à 695nm contre un blanc contenant 100 μ l de méthanol 70% et 1ml du réactif utilisé. Une augmentation de l'absorbance désigne une augmentation de l'activité antioxydant des extraits.

La vitamine c (de 50 μ g/ml à 500 μ g/ml) est utilisée comme un antioxydant de référence.

VI.4.3 Analyse statistique

Toutes analyses ont été effectuées en trois répétitions, et les données exprimées en moyenne \pm écart type (SD). Les bases de données établies pour les trois paramètres d'activité antioxydants sont soumises à une analyse de la variance unidirectionnelle et multivariée (ANOVA) au risque de 5% avec le logiciel Minitab. Les différences entre les moyennes des tests pour les organes ont été jugées significatives à $P < 0,05$.

Les courbes et les histogrammes sont tracés par le Microsoft Excel 2016. Les résultats des tests effectués sont exprimés en moyenne \pm écart-type. Une analyse cinétique est utilisée pour identifier les concentrations auxquelles le processus biologique est inhibé à 50 % (IC50). Les valeurs IC50 sont exprimées en $\mu\text{g/ml}$ et sont calculées sur la base de trois répétitions pour chaque concentration en utilisant la méthode de régression linéaire à partir de la courbe.

VII. Activité antioxydants

Le *Quercus suber* L. est une espèce connue pour sa forte capacité antioxydant, ce qui a été prouvé par plusieurs études réalisées au fil du temps dans différentes régions (Meziti et al., 2019 ; Custodio et al., 2015) et nos résultats reflètent cette évidence.

La capacité antioxydant des extraits méthanoliques des feuilles et des racines a été évalué par la méthode spectrophotométriques de différents tests (FRAP, TAC). Nous avons obtenu des différents virages de couleur pour chaque test (fig.16) qui indique une réaction entre les antioxydants et les radicaux libres.

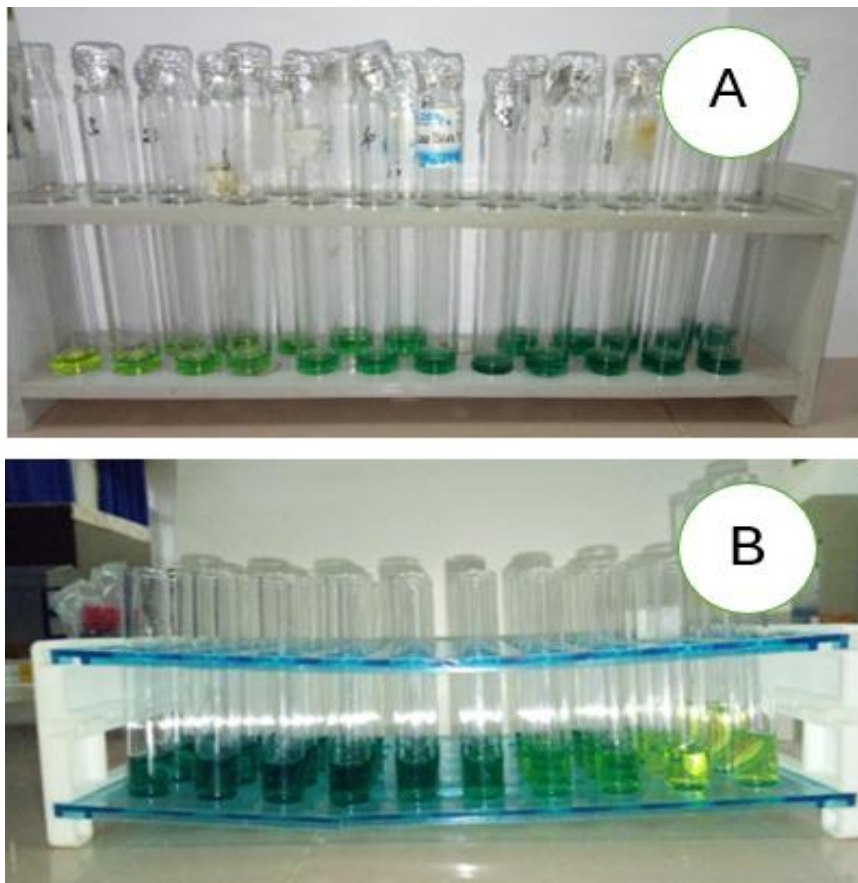


Figure 15: Présentation de changement de couleur de quelques échantillons. FRAP(A), TAC(B) (kaci chaouche et Fortas., 2024).

Nous avons calculé les concentrations inhibitrices médianes (IC50) pour les différents extraits des trois tests effectués à partir des équations des régressions linéaires des graphes, Selon Hebi et Eddouks (2016) l'activité antioxydant d'un composé est plus importante

lorsque la valeur d'IC50 est basse. Les résultats obtenus montrent une capacité antioxydant proportionnelle à l'augmentation des concentrations, sachant que le standard réveille un pouvoir antioxydant plus important par rapport aux extraits pour les trois tests.

VII.1 Test de Réduction du fer (FRAP)

Des études montrent que le pouvoir réducteur d'un composé peut servir comme un indicateur significatif de son activité antioxydant (Bougandoura et Bendimerad, 2012), c'est à dire qu'un extrait ayant un pouvoir réducteur élevé possède parallèlement un grand potentiel antioxydant (Mestar, 2019).

D'après les résultats obtenus le standard a atteint une réduction maximale à 50µg/ml, alors que pour les deux saisons, tous les extraits ont présenté une réduction optimale à 100µg/ml (fig.17)

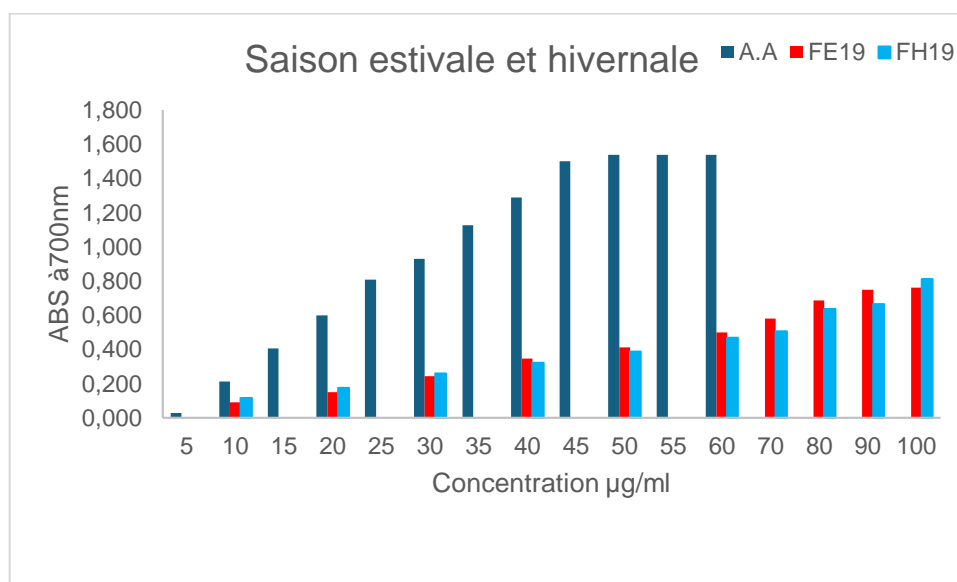


Figure 16. Pouvoir réducteur ferrique pour les extraits et pour le standard

Nous avons déterminé pour chaque extrait l'IC50 nécessaire pour réduire 50% d'ion ferrique, les résultats sont présentés dans la figure 18. Ils montrent qu'au cours des deux saisons, la IC50 la plus faible et pendant la saison estivale, et ont atteint l'IC50 la plus élevée pendant la saison hivernale.

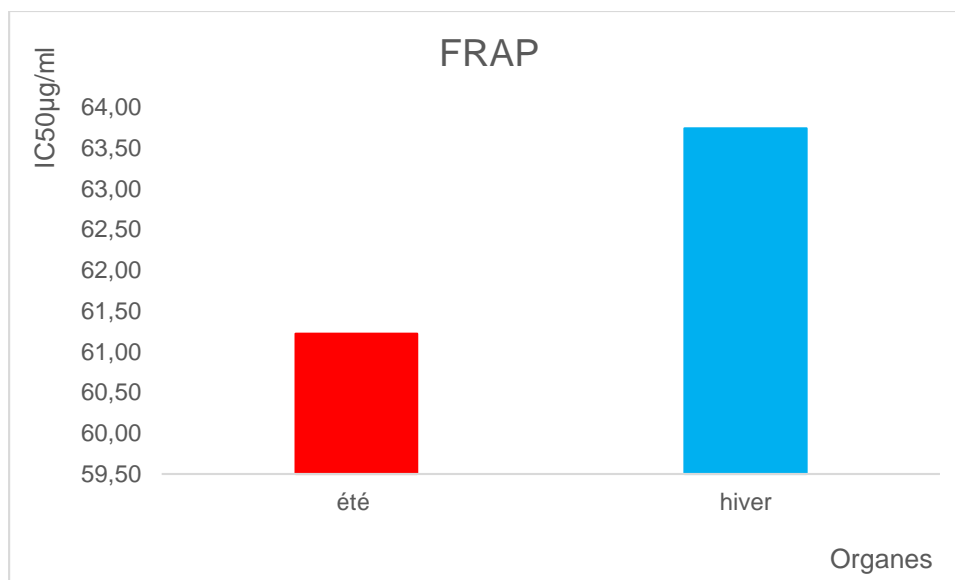


Figure.17 Graphe représente les valeurs de IC50 des extraits foliaires pour les deux saisons

Selon les données présentées dans la figure18, la IC50 des feuilles de la saison hivernale a atteint la concentration de $63,74 \pm 0,74 \mu\text{g/ml}$. Les résultats obtenus sont plus élevés comparé à ceux trouvés par Lavado et *al* (2021) sur les extraits éthanolique des feuilles de *Q.suber* ($54,5 \mu\text{g/ml}$) collectées en automne en Espagne, ce qui désigne une activité réductrice faible de nos échantillons. Cette différence peut être attribuée à la nature du solvant utilisé (Lavado et *al.*, 2021), d'autre part à la variation des facteurs climatiques qui varie en fonction de la situation géographique (Vats, 2018 ; Addab et *al.*, 2020), il est connue que l'hiver en Espagne est un peu plus sévère, cela provoque la formation de gel dans les membranes intracellulaires et la dormance de la plante ce qui vas retarder la floraison et le bourgeonnement et réduire la croissance et même la perturbation de métabolisme de la plante provoquant ainsi la formation des ERO. De plus la nature des composants phytochimiques aussi a un impact sur l'activité antioxydant : selon Hider et *al* (2001) grâce à la présence de groupes hydroxyle, les flavonoïdes agissent comme de puissant réducteur des ions métalliques.

Pendant la saison estivale les extraits de feuilles de *Q.suber* L. possèdent une concentration inhibitrice médiane de $61,22 \pm 0,42\mu\text{g/ml}$ qui est supérieure à celle trouvé par Ahmed et *al* (2017) $20.03\pm 2.4\mu\text{g /ml}$ sur la partie aérienne de *Q.dilatata* L. collectées en septembre au Pakistan. Cette différence est due à la variation des teneurs en composés phénoliques et en flavonoïdes (Bautista et *al.*, 2016), ce qui est semblablement liées aux

facteurs environnementaux qui se défont d'un pays à un autre, tel que la durée de l'exposition au rayonnement UV où les longues durées peuvent exciter les électrons des pigments photosynthétiques (chlorophylle a et b), ces électrons excités peuvent ensuite transférer leur énergie à des molécules d'oxygène, générant des espèces réactives de l'oxygène (ERO) (Ozkur et al., 2009).

VII.2 Test de la Capacité antioxydante totale (TAC)

Les résultats de réduction du molybdène pour les extraits méthanoliques des végétaux et la vitamine C sont représentés dans la figure 19 et Annexe 2 respectivement. Tous les extraits de la saison estivale montrent une réduction totale à une concentration de 500 µg/ml, tandis que les extraits foliaires de la saison hivernale à 700 µg/ml.

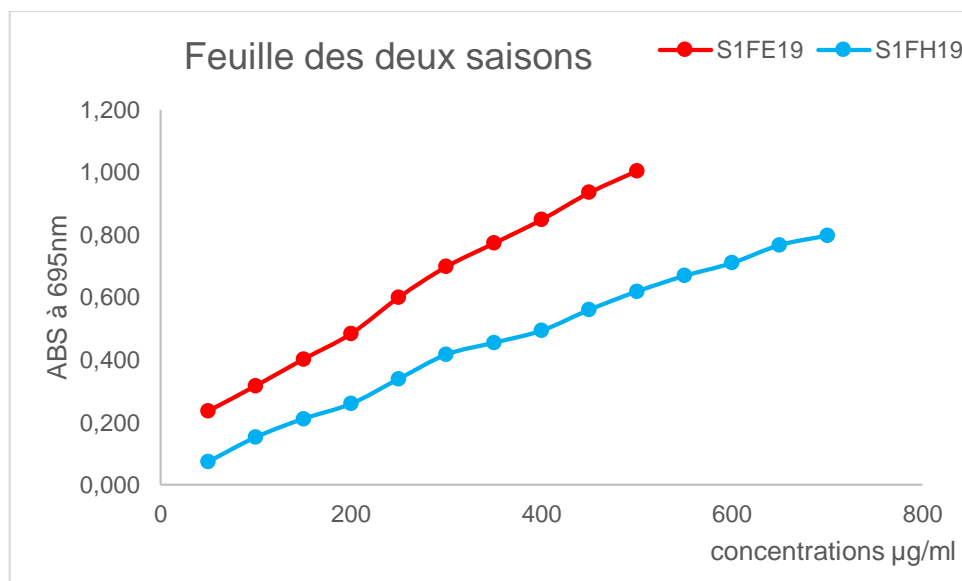


Figure 18. Représentations de la capacité totale des extraits testés durant la saison estivale et hivernale

Nous avons calculé pour chaque extrait l'IC50 nécessaire pour réduire 1/2 de molybdène (fig.20).

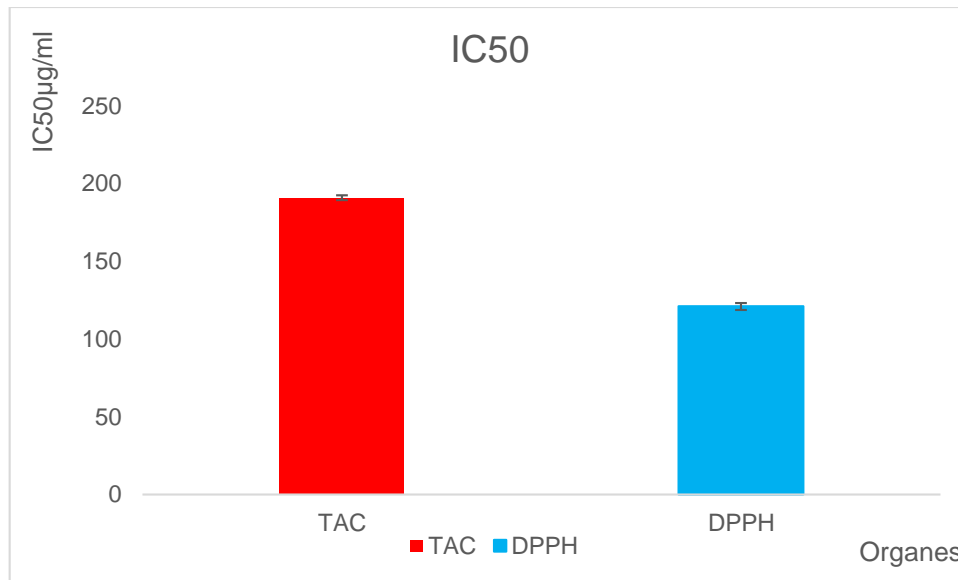


Figure 19. Graphe représente les valeurs d’IC50des extraits foliaires pour les deux saisons

Les feuille de la saison estivale ont une concentration inhibitrice médiane plus importante à celle de la saison hivernale avec une variation non significative.

Selon les articles consultés, aucune étude n’a été réalisée sur l’activité antioxydante totale des extraits méthanoliques des feuilles de *Quercus suber* L. Pour cela nous avons comparé nos résultats aux différents organes du genre *Quercus* (Tab.5).

Tableau. 5 L’IC50 de test TAC pour différents organes du genre *Quercus*

TAC					
<i>Espèce</i>	Organes	La région	La saisons	IC50 µg/ml	L’auteur
<i>Q.dilatata</i>	Parties aérienne	Pakistan	Septembre 2013	4,81 ± 0,98	Ahmed et al., 2017
<i>Q.ilex</i>	Écorce	Bejaia	-	350	Amessis – ouchemoukh et al., 2017
<i>Quercus spp</i>	Fruits	Iran	Septembre2010	5,13 ± 1	Toori et al., 2013
<i>Q.srobur</i>	Écorce	-	Novembre2010	44,7 ± 1,13	Gulzar, 2013

Les résultats obtenues (fig.24) sont proches de ceux trouvés par Amessis - ouchemoukh et *al* (2017), et nos extraits possèdent une plus faible capacité à réduire le molybdène en comparaison avec les résultats trouvés par Ahmed et *al* (2017), Toori et *al* (2013) et Gulzar (2013) dans différentes espèces et organes (Tab.5).

- La variation saisonnière

Une variation saisonnière significative de l'activité antioxydant a été observée pour les deux extraits étudiés par le test de TAC ($p=0,002$) (Fig.21). Elle est plus élevée en été par rapport à l'hiver. Ceci peut être dû au fait qu'en Algérie l'été peut durer jusqu'à 5 mois (Quzel, 2003) plusieurs études ont examiné par ailleurs l'influence des saisons sur l'activité antioxydant (Aoussar et *al.*, 2018). Ce mécanisme s'explique par la réponse de l'arbre au stress environnemental avec une accumulation accrue de composés antioxydants.

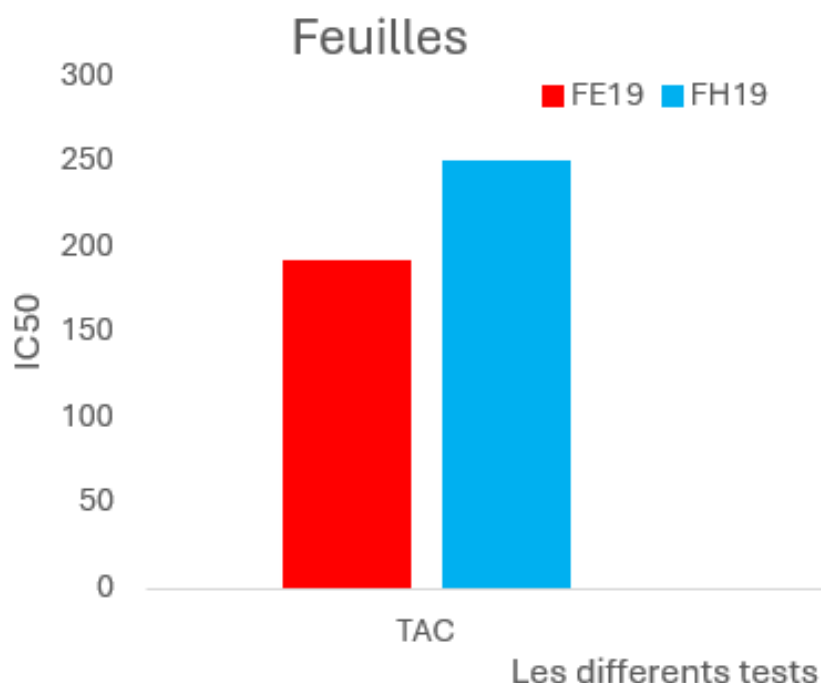


Figure 20. La variation saisonnière des extraits filière pour la TAC

Conclusion

La flore méditerranéenne est confrontée à des fluctuations des facteurs biotiques et abiotiques, ce qui entraîne un stress oxydatif chez la plante. Cette dernière dispose des stratégies morphologiques, biochimiques, et anatomiques qui lui permettent de faire face à ce stress.

Le chêne liège est une espèce cible de choix par son intérêt économique en Algérie. Il est très vulnérable aux températures extrêmes. C'est dans ce contexte que nous sommes intéressés à l'évaluation du potentiel antioxydant des feuilles et des racines de *Quercus suber* L. récoltées durant deux saisons contrastées hivernale (mois de janvier) et estivale (mois de juillet) en Nord de l'Algérie dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Ce travail a été effectué afin de soulever les effets des facteurs abiotiques (sécheresse et froid) sur le pouvoir antioxydant au niveau des feuilles et racines de cette espèce.

Les résultats obtenus montrent l'existence d'une variation saisonnière significative dans tous les extraits étudiés pour les deux tests. Elle était plus importante en été qu'en hiver, ce qui peut refléter l'influence des facteurs climatiques (sécheresse et froid) sur l'expression de potentiel antioxydant.

Référence bibliographique

- Abassi, M., Zouaoui, R., Hachani, C., & Béjaoui, Z. (2021). Réponses adaptatives à un assèchement édaphique chez 3 provenances de chêne liège (*Quercus suber*). *Botany*, 99(11), 747-761.
- Achakzai A.K.K. effect of water stress on imbibition, germination and seedling growth of maize cultivars. *Sarhad J. Agric.* 2009 ; 25(2) : 166-172.
- Addab.N, Fetni.S, Hamlaoui.F, Zerguine.A, Mahloul.K, 2020. Comparative evaluation of antioxidant activity of ethanolic extracts from leaves of *Olea europaea* L. from Eastern Algeria
- Afonso,V., Champy, R., Mitrovic, D., Collin, P., &Lomri, A. (2007). Radicaux libre dérivés de l’oxygène et superoxydes dismutases : role dans les maladies rhumatismales. *Revue du Rhumatisme*, 74, 636 – 643.
- Ahmed, M., Fatima, H., Qasim, M. et Gul, B. (2017). Optimisation dirigée par la polarité du potentiel phytochimique et biologique in vitro d'un folklore indigène : *Quercus dilatata*L. incl. Ex-Royle. *Médecine complémentaire et alternative BMC*, 17, 1-16.
- Aimene.I, Chetouane. A ;2019, contribution à l’étude des facteurs biotique affectant l’état de santé du chêne-liège dans la région de JiJel cas des insectes ravageurs. Univ Jijel
- Al Naser O. Effet des conditions environnementales sur les caractéristiques morphophysiologiques et la teneur en métabolites secondaires chez *Inula montana* : une plante de la médecine traditionnelle Provençale. 2018, thèse pour obtenir le grade de docteur en sciences. Université d’Avignon, 179p.
- AlatouD;Kanouni M; Benderradji M.E.H., 2005- Croissance rythmique du Chêne liège (*Quercus suber* L) et tolérance au froid.
- Amessis-Ouchemoukh, N., Ouchemoukh, S., Meziat, N., Idiri, Y., Hernanz, D., Stinco, C. M., ... & Luis, J. (2017). Bioactive metabolites involved in the antioxidant, anticancer and anticalpain activities of *Ficus carica* L., *Ceratonia siliqua* L. and *Quercus ilex* L. extracts. *Industrial Crops and Products*, 95, 6-17.
- 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

- 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 drought
- Barba F.J., Zhu Z., Koubaa M., Sant'Ana A.S., Orlie V. Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and byproducts : a review. *Trends in Food Science & Technology*. 2016 ; 49, 96-109
- Bautista, I., Boscaiu, M., Lidón, A., Llinares, J. V., Lull, C., Donat, M., et al. (2016). Environmentally Induced Changes in Antioxidant Phenolic Compounds Levels in Wild Plants. *Acta. Physiol. Plant.* 38, 1–15. doi :10.1007/s11738-015-2025-2
- Bekdouche F., (2010). Évolution après le feu de l'écosystème subéraie de Kabylie
- Belkacem. I ; 2023, Contribution à l'étude de la biodiversité de la faune aérienne sous une suberaie d'Ath Ghobri en relation avec les facteurs écologiques ; Mémoire de fin d'étude
- Benzie, I., Strain, J., 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant power": the FRAP assay analytical biochemistry. *Anal. Biochem.* 239, 70–76
- Bonnefont-Rousselot, D., Thérond, P., & Delattre, J. (2003). Radicaux libre et antioxydant en : Delattre, J., Durand, G., Jardillier, J. C. *Biochimie pathologique*. Flammarion, Pris, p, 317.
- Boubekri, C. (2014). Etude de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de *Solanum melongena* par des techniques électrochimiques (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).
- Bouchefra et Fraval A., 1991 —Présentation du chêne liège et de la Subéraie.in.Villemant et frayaI, 1991-la faune du chêne liège. Actes éditions. Rabat. 1-26p.
- Bougandoura, N., & Bendimerad, N. (2013). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq. *Nature & Technology*, (9), 14.
- Bouhraoua R.T. ,2003- Situation sanitaire de quelques forêts de chêne- liège de l'ouest Algérien. Etude particulière des problèmes posés par les insectes. Thèse. Doct.Dept. Forest. Fac. Sci., Univ.Tlemcen, 267p.
- Bouraya I.N., 1993-La faune sous-corticole du chêne-liège en subéraie de la mamoraMaroc.thèse. Doc 3eme cycle. E.N.S de Takaddoum-Rabat.256 p.

- Bourgon.S,Beii.R.S , Medeni.F&Kessouri.R .,2016. Effet du solvant et de la méthode d'extraction sur la teneur en composés phénoliques et les potentialités antioxydante d'Euphorbiahéliascopia. *Journal of New science*. 28.
- Bruneton, J. (1999). *Pharmacognosy, phytochemistry, medicinal plants* (No. Ed. 2). Intercept Limited.
- Camus, A. (1938). Sur quelques Fagacées nouvelles. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 85(5), 653-655.
- 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 MRSH, no42, Université de Caen Basse-Normandie, pp. 83–101.
- Cantin, P. A. (1999). Oxidant and antioxidants in lung injury. In: Lam and Other Diseases Characterized by Smooth Muscle Proliferation. Moss j. New York : Dekker, 519 – 531.
- Carocho, M., & Ferreira, I. C. (2013). A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and chemical toxicology*, 51, 15-25.
- Cazes, J. (2005). Encyclopedia of chromatograph. Second Edition. Edition Taylor & Francis, p 1250.
- Chira, K., Suh, j. H., Saucier, C., & Teissédre, P. L. (2008). Les polyphénols du raisin. *Phytothérapie*, 6 ,75 – 82.
- Chollet, 1997- La régénération naturelle du Hêtre. ONF. -Bulletin techniques n°32.
- Collin, S., & Crouzet, J. (2011). Polyphénols et procédés. Edition Lavoisier TEC & DOC, p 5 , 13 , 16 , 235.
- Croteau, R., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. (2000). Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and molecular biology of plants*, 24, 1250-1319
- Custódio, L., Patarra, J., Alberício, F., da Rosa Neng, N., Nogueira, J. M. F., & Romano, A. (2015). Phenolic composition, antioxidant potential and in vitro inhibitory activity of leaves and acorns of *Quercus suber* on key enzymes relevant for hyperglycemia and Alzheimer's disease. *Industrial Crops and Products*, 64, 45-51.
- Das, K., & Roychoudhury, A. (2014). Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in environmental science*, 2, 53.

- Delattre, J., Beaudoux, J. L., & Bonnefont-Rousselot. (2005). Radicaux libres et stress oxydant : aspects biologiques et pathologiques. Edition Lavoisier TEC & DOC éditions Médicales Internationales, Paris, p 14, 93, 94
- Descheemaeker, K., & Provoost, C. (1999). L'impacte de la nutrition sur la santé, développements recets-1. Edition. Louvain-Garant, p 95
- Direction Générale des forêts DGF d'Algérie., 2022. Inventaire forestier national. Alger, Algérie
- Dixon RA, Paiva N (1995). Stressed induced phenyl propanoid metabolism. *Plant Cell*; 7:1085-97; PMID: 12242399; DOI: 10.1105/tpc.7.7.1085.
- El Ghazali, G. E. (2020). Suaeda vermiculata Forssk. ex JF Gmel.: structural characteristics and adaptations to salinity and drought: a review. *Int J Sci*, 9(02), 28-33.
- Elbaz, B. Le Marechal, (2008). *Eudesmanolides from Artemisia herba-alba. Phytochemistry*, 43, 309-311.
- Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Bouraoui, N. K., Trabelsi, N., Boulaaba, M., & Abdely, C. (2008). Phenolic composition of *Cynaracardunculus* L. organs, and their biological activities. *C. R. Biologies*, 331, 372 – 379.
- FAO., 2013 états des forêts Méditerranéennes 2013. État des ressources forestiers dans la région méditerranée- les forêts de chênes-lièges.
- FAO., 2022. Statistiques forestière 2022. Rome: FAO
- Favier, A. (2003). Le stress oxydant : Intérêt conceptuel et expérimental dans la Compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *Actualité Chimique. Mécanismes biochimiques*. 108–115.
- Fejes, S., Blázovics, A., Lugasi, A., Lemberkovics, É., Petri, G. et Kéry, Á. (2000). Activité antioxydante in vitro des extraits d'*Anthriscus cerefolium* L(Hoffm.). *Journal d'ethnopharmacologie*, 69 (3), 259-265.
- Ferreira, J., Santos, S., Pereira, H., 2020, in vitro screening for acetylcholinesterase inhibition and antioxidant activity of *Quercus suber* cork and cork bark extract, *Evidence-Based-complementary and Alternative Medicine*, 2020
- Fraval A., 1991, contribution à la connaissance des rythmes de floraison du chêne-liège en forêt de la Mamora, *Ann Rech. For. Maroc*, T(25), 102-118
- Friguet, B. (2003). Le vieillissement moléculaire et cellulaire et ses futurs enjeux. *Actualité Chimique*, (11/12), 103-107.

- Garait, B. (2006). *Le stress oxydant induit par voie métabolique (régimes alimentaires) ou par voie gazeuse (hyperoxie) et effet de la GliSODin®* (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
- Ghasemzadeh, A., & Ghasemzadeh, N. (2001). Flavonoids and phenolic acids: role and biochemical activity in plants and human . *Journal of Medicine Plants Research*, 5 (31), 6697– 6703
- 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 . *Phototherapyresearch* .32(1),110-116.
- Guignard, J. L. (1996). *Abrégé de biochimie végétale*. Edition Masson, Paris, p 160.
- Hadacek, F. (2002). Secondary metabolites as plant traits: current assessment and future perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21(4), 273-322.
- Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C., & Chapelle, J. P. (2007). Le stress oxydant. *Revue Médicale de Liège*, 62, 628 – 638.
- Hartmann, T. (2007). From waste products to ecochemicals: Fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry*, 68, 2831 – 2846.
- Hauchinal RR., Tandon JP., Salinath PM., 1993. Variation and adaptation of wheat varieties to heat tolerance in Peninsular India. In Sanders, D.A. and G.P. Hettel. *Wheat in heat stressed environments, irrigated dry areas and rice- wheat farming systems*, Mexico, DF, Cimmyt, pp175-183.
- Haykel M.S et Omar A.A. *Plantes médicinales et aromatiques, leur chimie, production et bienfaits*, deuxième édition, édition El-maarif (Alexandrie). 1993 ; 515 : 34-120pp.
- Hebi M., Eddouks M. 2016. Evaluation de l'activité antioxydante de *Stevia rebaudiana*. *Phytothérapie* 14: 17 – 22
- Hider, R. C., Liu, Z. D., & Khodr, H. H. (2001). Metal chelation of polyphenols. *Methods in enzymology*, 335, 190-203.
- Hoffman L., 2003. *Etude du métabolisme des phénylpropanoïdes*. Thèse de doctorat. Université de Strasbourg, 245p
- Kabongo. T. *Evaluation de la sensibilité aux stress hydriques du maïs (zea mays l.) cultivé dans la savane du sud-ouest de la Congo, cas de Mvuazi*. Thèse de doctorat ; 2018, 161p.

- Kärkönen, A., & Kuchitsu, K. (2015). Reactive oxygen species in cell wall metabolism and development in plants. *Phytochemistry*, 112, 22-32.
- Kening, Y., Vincenzo, D. L., & Normand, B. (1995). Création of a metabolic sink for tryptophan alters the phenylpropanoid pathway and the susceptibility of potato to phytophthora infestans. *The Plant Cell*, 7, 1787 – 1799
- Koechlin-Ramonatxo, C. (2006). Oxygen, oxidative stress and anti-oxidant Supplementation, or another way for nutrition in respiratory diseases. *Nutrition*
- Lacolley, P., Babuty, D., Boulanger, C., Ghaleh, B., Loirand, G., Pinet, F., & Samuel, J.L. (2007). *Biologie et pathologie du cœur et des vaisseaux*. Edition John LibbeyEurotext, Paris, p 312, 316, 317
- Lavado, G., Ladero, L., & Cava, R. (2021). Cork oak (*Quercus suber* L.) leaf extracts potential use as natural antioxidants in cooked meat. *Industrial Crops and Products*, 160, 113086.
- 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.
- Leclerc V et Floc'h J.Y. (2010). *Les Secret des Algues*. Editions Quae. Editions Quae. France., 465p.
- Leverve, X. (2009). Stress oxydant et antioxydants?. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 44(5), 219-224.
- Lisu. W; Jui-Hung, Y; Hsiao-Ling, L; Ming-Jiuan, W. (2003).Antioxydant effect of methanol extracts from Lotus Plumule and Blossom (*Nelumbonucifeca* Gertn), *Journal of food and drug analysis*, 11(1): 60-66.
- Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). *Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaire d'importance économique*. Edition Presses Polytechniques & Universitaires Romandes, p Vii, 2, 3.
- Martin, S., & Andriantsitohaina, R. (2002). Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium. *Annales de Cardiologie*, 51, 304 – 315.
- Merghem, R. (2009). *Eléments de biochimie végétale*. Editions Bahaeddine Algérie, p 111, 123.

- Meziti. H, Bouriche1. H, Kada1. S, Demirtas.I, Kizil. M, Senator. A (2019) (Phytochemical analysis, and antioxidant, anti-hemolytic and genoprotective effects of *Quercus ilex* L. and *Pinus halepensis* Mill. methanolic extracts).
- Mignolet-Spruyt, L., Xu, E., Idänheimo, N., Hoeberichts, F. A., Mühlenbock, P., Brosché, M., ... & Kangasjärvi, J. (2016). Spreading the news: subcellular and organellar reactive oxygen species production and signalling. *Journal of experimental botany*, 67(13), 3831-3844.
- Moon, J. K., & Shibamoto, T. (2009). Antioxidant assays for plant and food components. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(5), 1655-1666.
- Morena, M., Martin-mateo, M., Cristol, J. P., & Canoud, B. (2002). Stress oxydant, hémoincompatibilité et complication de la dialyse au long cours. *Néphrologie*, 23 (5), 201 – 208.
- Naghiloo, S., Movafeghi, A., Delazar, A., Nazemiyeh, H., Asnaashari, S., Dadpour, M.R. Ontogenetic variation of total phenolics and antioxidant activity in roots, leaves and flowers of *Astragalus compactus* Lam.(Fabaceae). *BioImpacts*, 2012 ; BI 2, 10
- Nardini, A., & Pitt, F. (1999). Drought resistance of *Quercus pubescens* as a Function of root hydraulic conductance, xylem embolism and hydraulic architecture. *New Phytologist*, 143(3), 485-493.
- Natividade J.V., 1956- Subericulture. Ecole National des eaux et forêts, Nancy, 302p.
- Newman, D. J., Cragg, G. M., & Snader, K. M. (2000). The influence of natural products upon drug discovery. *Natural Product Report*, 17, 215 – 234
- Ozkur, O., F. Ozdemir, M. Bor et I. Turkan. 2009. Physiochemical and antioxidant responses of the perennial xerophyte *Capparis ovata* Desf. to drought. *Environ. Exp. Bot.* 66 : 487-492. Doi : 10.1016/j.envexpbot.2009.04.003
- Pastre, J. (2005). Intérêt de la supplementation en antioxydants dans l'alimentation des carnivores domestiques (Doctoral dissertation).
- Pereira J.S., Pausas J. 2009. « Cork Oak Woodlands on the Edge: Conservation, adaptive Management and Restoration », Island Press, New York. Du chêne-liège au Liège. Un système durable. P9
- Pereira.H, 2007. *Biology, Production and Uses*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.103-125
- Perron, N. R., & Brumaghim, J. L. (2009). A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding. *CellBiochem. Biophys*, 53, 75 – 100.

- Piazzetta R., (2005) - La levée du liège, guide technique et de vulgarisation, institut méditerranéen du liège.23p.
- Pincemail, J., Lecomte, J., Collart, E., Castiaux, J. P., Defraigne, J. O. (1999). Stress oxydant, antioxydants et exercice physique. *MEDECINE INTERNE*. 6 (5) :1–3
- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant Capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the Determination of vitamin E. *Anal. Biochem*, 269, 337 – 341.
- Quezel.P et Medial.F,2003, conséquences écologique possible des changements climatiques sur la flore et la végétation du bassin. *Bocconea* 16(1) :397-422. 2003.ISSN1120-4060.
- Rached-Kanouni, M., Alatou, D., & Sakr, S. (2012). Responses of cork oak seedlings to short-term exposures to low temperatures. *American Journal of Scientific Research*, 59, 28-41.
- Rahantaniaina, M. S. (2018). Vers une meilleure compréhension des systèmes antioxydants chez la plante face aux contraintes environnementales : approches expérimentales et modélisation mécaniste (Doctoral dissertation, Sorbonne université).
- Ramakrishna A, Ravishankar GA. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal Behav*. 2011; 6(11) :1720-1731. doi: 10.4161/psb.6.11.17613.
- Raymond, F., & Ullmann, A. (2021). Impact spatial du changement climatique sur les sécheresses hivernales en Méditerranée et ses conséquences sur l’agriculture. *Les impacts spatiaux du changement climatique*, 211.
- Rezaire, A. (2012). Activité anti-oxydant et caractérisation phénolique du fruit de palmier amazonien *Oenocarpus bataua* (patawa). Thèse de Doctorat université des Antilles et de la Guyane.
- Ribeiro.R. A, Sousa.A, Met Carvalho.FA. 2018.Efficacy of cork oak bark extract in the treatment of chronic diarrhea : A double- blind, placebo-cintrrolled , randomized clinical trial ,*phototherapy research*, 32(1),103-109.
- Rice-evans, C. A., Miller, N. J., Bolwell, P. G., Bramley, P. M., &Pridham, J. B. (1995). The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free radical research*, 22(4), 375-383.

- 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.
- Scheibmeir, H. D., Christensen, K., Whitaker, S. H., Jegaethesan, J., Clancy, R., & Pierce, J. D. (2005). A review of free radicals and antioxidants for critical care nurses. *Intensive Crit Care Nurs*, 21 (1), 8 – 24
- Sellam R et Mezrgane C.,2021, caractérisation physiologique et biochimique de la résistance de *Quercus suber*L. Au stress thermique-réponse de la plantes in Vitro -, Univ Oum El Boughi
- Sharma, S., Sheehy, T., Kolahdooz, F., & Barasi, M. (2015). *Nutrition at a Glance*. Second Edition Wiley Backwell, p 162.
- Sherwin, E. R. (1976). Antioxidants for vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 53(6Part2), 430-436.
- Smirnov, N. (1998). Plant resistance to environmental stress. *Current opinion in Biotechnology*, 9(2), 214-219.
- Sökmen, B. B., Aydın, S., & Kınalıoğlu, K. (2012). Antioxidant and antibacterial properties of a lichen species *Diploschistes scruposus* (Schreb.) Norman. *IUFS Journal of Biology*, 71 (1), 43 – 51.
- Stalikas, C. D. (2007). Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *Journal of separation science*, 30(18), 3268-3295.
- Svoboda k.p. & Hampson J.B. (1999). “Bioactivity of essential oils of selected temperate aromatic plants: antibacterial, antioxidant, anti-inflammatory and Other related pharmacological activities”, Plant biology department, Riverside campus ayr - SAC (Scottish Agricultural College), Auchincruive Ayr, Scotland, UK.
- Szymańska R, Ślesak I, Orzechowska A, Kruk J. Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants, *Environmental and Experimental Botany*, 2017; 139: 165-177, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.05.002>.
- Taib.M, Rezzak.Y, Bouyazza.L et Lyoussi.B, 2020 medicinal uses , phytochemistry and pharmacological activities of *Quercus suber*, Evidence -Based complementary and alternative Medicine.

- Tang, S. Y., & Halliwell, B. (2010). Medicinal plants and antioxidants: what do we learn from cell culture and *Caenorhabditis elegans* studies? *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 394(1), 1-5.
- Tiwari, A. K. (2001). Imbalance in antioxidant defence and human diseases: Multiple approach of natural antioxidants therapy. *Current science*, 81 (9), 1179 – 1181.
- Toori, M. A., Mirzaei, M., Mirzaei, N., Lamrood, P., & Mirzaei, A. (2013). Antioxidant and hepatoprotective effects of the internal layer of oak fruit (Jaft). *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(1), 24-28.
- Treutter, D. (2005) Significance of Flavonoids in Plant Resistance and Enhancement of Their Biosynthesis. *Plant Biology*, ; 7 : 581-591. <https://doi.org/10.1055/s-2005-873009>.
- Uterano C., Turpault M.P. & Bonnaud P. (2000). Soil minerals: fine markers of the Spatial and temporal variation. United Kingdom. *Journal of Conference Abstract*, 5(2) 1027A
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological function and human disease. *Int j Biochem Cell Biol*, 39, 44 – 84
- Van Acker, S. A., Tromp, M. N., Griffioen, D. H., Van Bennekom, W. P., Van Der Vijgh, W. J., & Bast, A. (1996). Structural aspects of antioxidant activity of flavonoids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(3), 331-342.
- Vats, S. (Ed.). (2018). *Biotic and abiotic stress tolerance in plants* (Vol. 5, pp. 26-33). Cham, Switzerland: Springer.
- Veillon, S., 1998 -Guide technique de sériculture dans les Pyrénées-Orientales. Typologie de peuplement et étude préliminaire. FIF-ENGREF, Institut méditerranéen du liège, compagnie Bas-Rhône-Languedoc ;1998.
- Vignes E., 1990- Sylviculture des subéraies varoises. *For. Médit.* 12(2), septembre 1990 125-130.
- Vincent, J. L., & Martin, C. (2008). *Le syndrome de détresse respiratoire aigüe*. Edition Springer Berlin Heidelberg New York, p 172
- Waston, R. R., Preedy, V. R., & Zibadi, S. (2013). *Polyphenol in Human Health and Disease*. Edition Academic Press is an Imprint of Elsevier, p 643.

- Wink M. (2013), Evolution of secondary metabolites in legumes (Fabaceae), South African Journal of Botany; 89 :164-175. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.06.006>
- Yessad S.A., 2000 - Le chêne-liège et le chêne dans les pays du méditerrané occidental. Edition ASBL foret Wallonne. P 190.
- Zalloni, E., Battipaglia, G., Cherubini, P., Saurer, M., & De Micco, V. (2018). Contrasting physiological responses to Mediterranean climate variability are revealed by intra-annual density fluctuations in tree rings of *Quercus ilex* L. and *Pinus pinea* L. *Tree physiology*, 38(8), 1213-1224.
- Zeraia L., 1981- Essai d'interprétation comparative des données écologique, Phrénologiques et de production subéro-ligneuse dans les forêts de chênes liège de provenance cristalline (France méridionale) et d'Algérie. Thèse Doc. Es. SCI., Aix-Marseille, 367p.
- 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. Thèse pour obtenir le grade de docteur en sciences, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes. ; 101p
- Zhang H and Ma Z. Phytochemical and pharmacological properties of *Capparis spinosa* as a medicinal plant. *Nutrients*, 2018 ; 178 : 116-121.