



République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Mouloud MAMMERY De Tizi-Ouzou
Faculté Des Sciences Biologiques et Des sciences Agronomiques

Département Biochimie Et Microbiologie

Mémoire

De fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie et Valorisation des Plantes

Thème

Contribution à l'étude de la Variation saisonnière de des teneurs en polyphénols totaux d'une solution aqueuse des racines du chêne liège « *Quercus suber* L.» dans la forêt domaniale d'Azzouza.

Réalisé par

AISSAOUI Lydia

GUELLAL Mélissa

Devant le jury

Président : M ^{me} MESTAR GUECHAOU I N.	M.C. B.	UMMTO
Promotrice : M ^{me} BOUDIAF NAIT KACI M.	M.C.A.	UMMTO
Co-promotrice : M ^{elle} HOCEINI M.	DOCTORANTE	UIK Tiaret
Examineur : M ^f L'HADJ MOHEND.	M.M.A.	UMMTO

2019-2020

REMERCIEMENTS

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos vifs remerciements à:

Notre promotrice **M^{me} BOUDIAF NAIT KACI Malika**, Maitre de conférences classe « A » à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou d'avoir accepté de diriger ce travail. Nous lui exprimons nos sentiments de reconnaissance les plus sincères pour sa précieuse aide, sa patience, sa disponibilité et ses conseils.

M^{elle} HOCEINI Melia notre co-promotrice, doctorante à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret Pour sa patience, son orientation, son soutien et ses encouragements pendant la réalisation de ce mémoire.

M^{me} GUECHAOUI MESTAR Nadjat Maitre de conférences classe « B » à l'université Mouloud Mammeri, d'avoir accepté de nous aider, de nous avoir fait partager son savoir, pour sa grande disponibilité et ses conseils. D'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

M^r L'Hadj Mohand., M^r L'HADJ MOHEND. Maitre assistant classe « A » d'avoir accepté d'examiner ce travail.

M^r HOUALI Karim Professeur à l'Université Mouloud Mammeri, de nos avoir aidé à réaliser l'analyse phytochimique et au sein du laboratoire de recherche LABAB UMMTO.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qu'on n'a pas pu citer leurs noms ici, et qui ont participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Nous remercions l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.



Dédicaces

A notre cher parent.

A nos chers (e) frères et sœurs.

*A nos chers amis (e) et à tous (e) nos camarades du
laboratoire biotechnologie et valorisation des plantes*

*Pour leurs présences et le soutien de tous les instants qu'ils
nous ont apporté, avec notre affection et notre
reconnaissance*



Liste des figures

Figure1. Aspect de l'arbre du chêne liège (<i>Q. suber</i> L.)	4
Figure2. Racines du chêne liège.....	5
Figure3. Tronc du chêne liège exploité.....	6
Figure4. Feuilles du <i>Quercus suber</i>	6
Figure5. Boutons floraux femelles (a) et les chatons du <i>Quercus suber</i> L.....	7
Figure6. Fruit du <i>Q. suber</i> L.....	8
Figure7. Répartition actuelle des forêts de chênes lièges dans le bassin méditerranéen occidental.....	9
Figure8. Répartition du chêne liège en Algérie	11
Figure9. Différents stress abiotiques chez les plantes.....	12
Figure10. Réaction des plantes au stress de la sécheresse.....	14
Figure11. Classification des antioxydants.....	18
Figure12. Composés phénoliques comprennent un cycle aromatique, portent un ou plusieurs substituants hydroxyle	19
Figure 13. Principales classes de polyphénols.....	20
Figure14. Structure chimique de l'acide hydroxybenzoïque.....	21
Figure15. Structure chimique de l'acide hydroxycinnamique.....	21
Figure16. Structure chimique a- Tanin condensé (proanthocyanidine) et b- Gallotanin(1,2,3-tri-O-galloyl-β-D-+6glucose).....	23
Figure17. Représentation des voies de biosynthèse des polyphénols.....	25
Figure18. Localisation de la zone d'étude.....	28
Figure19. Localisation de la forêt domaniale d'Azzouza.....	29

Figure20. Méthode d'échantillonnage des racines.....	32
Figure 21. Récolte des racines du chêne liège.....	33
Figure22. Nettoyage des racines.....	33
Figure23. Broyage des échantillons.....	34
Figure24. Protocole d'extraction aqueux des racines de chene liège.....	35
Figure25. Dilutions	36
Figure26. Protocole de dosage des polyphénols totaux (PPT).....	37
Figure27. Variation saisonnière des teneurs en polyphénols Totaux (PPT).....	39

Liste des tableaux

Tableau n°1. Superficie de chêne liège à travers certains pays méditerranéens.....	10
Tableau n°2. Principaux sous group des flavonoïdes.....	22
Tableau n°3. Situation géographique de la zone d'étude.....	28
Tableau n°4. Principaux espèces en contacts avec Quercus suber L.....	30
Tableau n°5. Concentration des polyphénols totaux des solutions aqueuses des racines de Quercus suber L.....	40
Tableau n°6. Comparaison des teneurs en PPT des organes végétatifs.....	41
Tableau n°7. Teneurs en polyphénols totaux trouvés par d'autres chercheurs.....	42

Liste des abréviations

ABA : Acide Abscissique

ADN : Acide désoxyribonucléique

Ca²⁺ : Calcium

DO : densité optique

EAG : Equivalant acide gallique

ED : Eau distillée

ERO : Espèces réactives de l'oxygène

FC : Folin-Ciocalteu

GA₃ : l'acide gibbérellique.

HPAE : Hiver, été, printemps, automne .

M :Mycorhizées

MN : Non mycorhizées

MS : Matière sèche

Na₂CO₃ : carbonate de sodium

PPT : Teneur totale en polyphénol

PV : Poudre végétale

Q.S. : *Quercus suber* L.

UV : Ultraviolet

Sommaire

Sommaire

Introduction	01
Chapitre I. Synthèse Bibliographique	
I.Généralités sur <i>Quercus suber</i> L.....	03
I.1. Historique.....	03
I.2. Présentation de l'espèce étudié.....	03
I.2.1. Systématique de <i>Quercus suber</i> L.....	03
I.2.2. Caractéristique botanique.....	04
I.2.2.1. Racines.....	04
I.2.2.2. Écorce.....	05
I.2.2.3. Feuilles.....	06
I.2.2.4. Floraison.....	07
I.2.2.5. Fruits.....	07
I.2.3. Les exigences écologiques.....	08
I.3. Aire de répartition de <i>Q.Suber</i> L.....	09
3.1. Dans le bassin méditerranéen.....	09
3.2. En Algérie.....	10
I.4. Importance de <i>Quercus suber</i> L.....	11
I.5. Usage dans la médecine traditionnelle de <i>Quercus suber</i> L.....	12
II. Facteurs responsables de stresse chez les végétaux	12
II. 1. Les facteurs abiotiques.....	12

a- climat	12
➤ Salinité.....	13
➤ Sécheresses	13
➤ Froid	15
b- facteurs édaphiques	15
II.2. Facteurs biotiques.....	15
III. Stress Oxydatif et les Métabolites secondaire.....	16
III.1. Introduction.....	16
III.2.Espèces réactives à l'oxygène et antioxydants.....	16
III.2.1. Définition des espèces réactives à oxygène (ERO).....	16
III.2.2. Radicaux libres.....	16
III.2.3.Stress oxydatif	17
III.2.4. Définition d'un antioxydant.....	17
III.3.Mécanismes d'actiondes antioxydants	19
III.4. Définition des métabolites secondaire.....	19
III.4.1. Les polyphénols	19
III.4.2. Classe des polyphénols.....	21
III.4.2.1. Phénols simples et les acides phénoliques.....	21
III.4.2.2. Flavonoïdes.....	23
III.4.2.3. Tanins.....	24
III.4.2.6. Lignine.....	25
III.5. Biosynthèse des composés phénoliques.....	25
III.5.1. La voie de l'acide shikimique.....	25
III.6. Rôles des composés phénoliques.....	26

III.7. Composition phytochimique de <i>Quercus suber</i> L.....	28
---	----

Chapitre II. Matériel Et Méthodes

I. Présentation de la zone d'étude.....	28
I.1. Situation géographique	28
I.2. Description de site d'étude.....	29
II. Echantillonnages des racines.....	31
III. Dosage des polyphénols totaux.....	34
III.1 Préparation de la solution aqueuse.....	34
III.2 Dosage	36
III.2.1 Détermination des polyphénols totaux.....	36
IV. Analyse statistique	38

Chapitre III. Résultats et Discussion

I.1. Détermination des Polyphénols Totaux.....	39
Conclusion générale.....	44
Référence	
Annexe	

Résumé

Les plantes sont exposées d'une façon continue à divers stress biotiques et abiotiques dans leur environnement naturel. Dans la nature elles sont soumises à des changements de température beaucoup plus que d'autres facteurs qui provoquent le stress.

Le chêne liège (*Quercus suber* L.) est une espèce forestière très importante sur le plan écologique et valeur socio-économique, en raison de la production de chêne liège. Elle est profondément enracinée dans les forêts méditerranéennes et exposée à des facteurs environnementaux très hostiles, tels que la sécheresse, le froid, le manque de nutriments et l'exposition aux fortes températures et lumière. Quand cette espèce est soumise à ce type de stress, elle augmente la production des ROS pour s'adapter au stress de leur environnement. Certains composés phénoliques appelés métabolites secondaires sont synthétisés ; ils jouent un rôle dans l'interaction de l'organisme avec son environnement. Ce travail a pour objectifs d'évaluer la variation saisonnière des teneurs en composés phénoliques (PPT) de deux solutions racinaires aqueuses de *Quercus suber* L. Un échantillonnage des racines a été effectué après avoir choisi dix (10) sujets de *Quercus suber* L, pendant deux mois contrastés à savoir janvier et juillet. Les échantillons ont subi un broyage afin d'obtenir une poudre végétale, mélangée à de l'eau distillée et centrifugée. Les teneurs totales en polyphénols (TTP) ont été évaluées par des tests colorimétriques. L'analyse du contenu phénolique des solutions aqueuses pour chaque saison (hiver, été) a révélé que l'échantillon de la saison estivale est plus riche en polyphénols totaux, contrairement à celui de la saison hivernale qui présente une teneur plus faible ($54,41 \pm 0.713$ et $13,225 \pm 0.264$). Ces résultats expliquent que la variation saisonnière influence la teneur en polyphénols totaux. Nous avons constaté que le stress abiotique influence la teneur en polyphénols totaux des racines de *Quercus suber* L. ce qui explique l'existence d'une variation saisonnière de la teneur en polyphénols totaux en fonction de la saison dans laquelle les racines de *Quercus suber* L. ont été récoltées.

Mots clés : chêne liège (*Quercus suber* L.), variation saisonnière, teneurs en polyphénols totaux.

Summary

Plants are continuously exposed to various biotic and abiotic stresses in their natural environment. In nature, they are submissive to much more temperature changes than the other factors that cause stress.

Cork oak is very important forest species from an ecological point of view and socio-economic value, due to the production of cork. It is deeply rooted in Mediterranean forests and exposed to very hostile environmental factors, such as drought, cold, lack of nutrients and exposure high intensity light.

When this species are submissive to this type of stress, it increase the production of ROS to adapt to stress in their environment. Some phenolic compounds called secondary metabolites are synthesized; they play a role in interaction of cell with their environment.

The objective of this work are to assess the seasonal variation in the levels of phenolic compounds (TTP) in two aqueous solutions of the roots of Cork oak. A sampling of the roots was carried out after having chosen and marked ten (10) subjects of Cork oak during two contrasting month, namely January and July. The samples were crushed in order to obtain a vegetable powder, mixed with distilled water and centrifuged. The total polyphenol contents (TTP) were evaluated by calorimetric.

Analyse of phenolic content of aqueous solutions of the roots of Cork oak for each season (winter, revealed) revealed that the extract of the roots of the summer season (July) is richer in total polyphenols unlike that of the winter season which presents a lower content ($54,41 \pm 0,713$ $13,225 \pm 0,264$) for the summer and winter season respectively. These results explain that seasonal variation influences the content of total polyphenols.

We found abiotic stress influences the total polyphenol content of the roots of Cork oak, which explain the existence of a seasonal variation in the content of total polyphenols depending on the season in which the roots of Cork oak were collected.

Key words. Seasonal variation, total polyphenol content, content, Cork oak.

ملخص

تتعرض النباتات باستمرار لمختلف الضغوط الحيوية وغير الحيوية في بيئتها الطبيعية، في الطبيعة يتعرضون لتغيرات درجة الحرارة أكثر بكثير من الضغوطات الأخرى.

بلوط الفلين (*Quercus suber L.*) هو أحد أنواع أشجار الغابات المهمة جداً من وجهة نظر بيئية ذات قيمة اجتماعية واقتصادية، بسبب إنتاج بلوط الفلين. إنه متجذر بعمق في غابات البحر الأبيض المتوسط ويتعرض لعوامل بيئية معادية للغاية، مثل الجفاف والبرد ونقص المغذيات والتعرض لدرجات الحرارة المرتفعة والضوء. عندما تتعرض هذه الأنواع لهذا النوع من الإجهاد، فإنها تزيد من إنتاج ROS للتكيف مع ضغوط بيئتها. يتم تصنيع بعض المركبات الفيزيولوجية التي تسمى المستقلبات الثانوية؛ يلعبون دوراً في تفاعل الجسم مع بيئته.

تتمثل أهداف هذا العمل في تقييم التباين الموسمي في مستويات المركبات الفيزيولوجية (PPT) لمحلولين الجذر المائي من بلوط الفلين. وتم أخذ عينات من الجذور بعد اختيار عشرة (10) اشجار من بلوط الفلين، خلال شهرين متباينين هما يناير ويوليو. تم سحق العينات للحصول على مسحوق نباتي، وخلطها بالماء المقطر وطردتها بالطرد المركزي. تم تقييم محتويات البوليفينول الكلي (TTP) باختبارات قياس الألوان. أظهرت تحليل المحتوى الفينولي للمحاليل المائية لكل فصل (شتاء، صيفي) أن العينة لموسم الصيف تكون أكثر ثراءً في لبوليفينول للإجمالي، على عكس فصل الشتاء الذي يحتوي على محتوى أقل (54، 0.713 ± 41 و 0.264 ± 13.225). توضح هذه النتائج أن الاختلاف الموسمي يؤثر على محتوى البوليفينول الكلي. لقد وجدنا أن الإجهاد يؤثر على المحتوى الكلي للبوليفينول لجذور بلوط الفلين. وهو ما يفسر وجود اختلاف موسمي في محتوى البوليفينول الكلي حسب الموسم الذي تجمع فيها لجذور.

الكلمات المفتاحية: بلوط الفلين (*Quercus suber L.*)، الاختلاف الموسمي، محتوى البوليفينول الكلي.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

Les plantes pendant leur évolution, rencontrent un large éventail de stress biotiques (bactéries, virus, champignons,...) (Léger, 2010) et de divers types de stress abiotiques (Gómez *et al.*, 2005 ;Pagare *et al.*, 2015 ;Stavroutaet Rahul, 2017).Ils conduisent à l'augmentation de la production de l'espèce réactive à l'oxygène (ERO) (Garg et Manchanda, 2009). Ces dernières sont susceptibles d'interagir avec toute une série de composés biologiques de la cellule (lipides, protéines, ADN), à leur dégradation partielle (Mario et Andreas, 2008). Ils engendrent, ainsi, une perturbation de l'homéostasie cellulaire (Sharma *et al.*, 2012).

Au niveau moléculaire, les espèces réactive à l'oxygène peuvent agir comme messagers secondaires et activent des gènes impliquant dans le développement de divers pathologies (Ushio-Fukai et Nakamura, 2008 ; Galanis *et al.*, 2008).

Les stress biotiques et abiotiques sont potentiellement nocifs pour les plantes et entraînent des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent la croissance et la productivité (Aziz *et al.*, 2008, Clark *et al.*, 2008, Smetanska, 2008).

Pour faire face à ce stress, les plantes se protègent et s'adaptent en produisant certains composés bioactives appelé composés phénoliques faisant partie des métabolites secondaires. Ces derniers jouent un rôle dans l'interaction de la cellule avec son environnement. (Pagare *et al.*, 2015).Lorsque le niveau des espèces réactive à l'oxygène dépasse les mécanismes de défense, une cellule est dite en état de "stress oxydatif"(Sharma *et al.*, 2012).

Il est évident que les facteurs de stress abiotiques influencent la production des métabolites secondaires, dont les composés phénoliques, dans la plante. Les résultats rapportés par Morison, Lawlor, (1999) indiquent que les changements saisonniers affectent la composition des métabolites secondaires.

Les contraintes climatiques peuvent provoquer un stress pour certaine plantes en raison de ses variations saisonnières (Mooney et Dunn, 1976). Le climat méditerranéen se caractérise par une saison estivale sèche et hivernale. Cependant, le climat Algérien de type méditerranéen est caractérisé par une irrégularité, des précipitations et des températures assez élevées (Gracia, 2006 in Rego, 2006).

Quercus suber L. est une espèce forestière répandue dans les zones climatiques méditerranéennes, d'Europe occidentale et d'Afrique du Nord avec une distribution assez étroite (Kim *et al.*, 2017). C'est un arbre sclérophylle à feuille persistante avec une longévité environ une année (Pereira et Pausas, 2009 ; Rives *et al.*, 2012). Il a une grande capacité à régénérer une nouvelle écorce externe chaque 9 à 12 ans (Gil et Varela, 2008 ; Bugalho *et al.*, 2011). Cette écorce présente des propriétés uniques, telles que l'imperméabilité aux liquides, l'élasticité, une bonne isolation thermique et acoustique et une résistance aux maladies et aux attaques microbiennes (Touati *et al.*, 2015).

INTRODUCTION GENERALE

L'aire de végétation du chêne liège est circonscrite à la région de la Méditerranée occidentale. Sous l'influence de l'océan Atlantique et de la mer Méditerranée, se trouvent réunies les conditions climatiques qui conviennent à la végétation de cet arbre (Seigue, 1985).

Il constitue une des richesses forestières d'Algérie, ces forêts tenaient et tiennent toujours une place primordiale dans la vie socio-économique de la population riveraine et du pays en général (Ajami et *al.*, 2012).

L'objectif de notre travail consiste à évaluer la variation saisonnière des teneurs en composés phénoliques (PPT) d'une solution aqueuse des racines de *Quercus suber* L.

Le présent travail est structuré en trois parties :

La première partie qui constitue une synthèse bibliographique de l'espèce *Quercus suber* L. ainsi qu'un aperçu général sur les métabolites secondaires et le stress oxydatif. Suivis par une seconde partie représentant la partie expérimentale, effectuée au niveau du laboratoire de recherche biotechnologie et amélioration des plantes et du laboratoire de biochimie et microbiologie. Enfin la troisième partie consistant en présentation, interprétation et discussion des résultats. Une conclusion générale et accompagnée de perspectives.

CHAPITRE I
SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur *Quercus suber* L.

I.1. Historique

Le genre *Quercus* couvre l'ensemble de l'hémisphère nord et colonise des habitats allant des forêts tempérées et tropicales aux formations arbustives et semi désertiques (Nixon, 1993). Selon Camus, Le genre *Quercus*, inclue les sous-genres *Euquercus* et *Cyclobalanopsis* (Xu, 2004 ; Manos et al., 2008). La nomenclature et la classification de Camus (1936-1954) est l'unique monographie mondiale du genre, qui a été revue par Nixon, (1993). Selon Pereira et Pausas, (2009), le chêne-liège occupe la méditerranée vers la fin de la période de Pléistocène (10000 ans).

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est une espèce originaire de la péninsule ibérique, elle existait en Afrique de Nord depuis six mille ans av. j-c (Quezel et Medail, 2003). C'est une espèce endémique des pays du bassin méditerranéen est classée parmi les essences nobles du Maroc (Hmamouchi et Agoumi, 1993 ; laaribya, 2006). En Algérie le chêne liège est apparue dès 1848 bien avant son développement en Tunisie l'année 1882 et au Maroc en 1924 (Boudy, 1955).

I.2. Présentation de l'espèce étudiée

I.2.1. Systématique de *Quercus suber* L.

Quercus suber L. appartient au sous genre *Cerris* (Schwarz, 1993), à la section *Suber* (Krüssmann, 1986 ; Bussotti et Grossoni, 1998), l'ordre des Fagales et à la famille des Fagacées, il a été décrit par Carl Von Linnéen en 1753 (Pereira, 2007).

Selon la classification APG III, (Chase et Reveal, 2009) ont classé l'espèce comme suit :

- **Clade** : Angiospermes
- **Clade** : Dicotylédone vraie
- **Clade** : Rosidées
- **Clade** : Fabidées
- **Ordre** : Fagales
- **Famille** : Fagacées
- **Genre** : *Quercus*
- **Espèce** : *Quercus suber* L.

I.2.2. Caractéristiques botaniques de *Quercus suber* L.

Le chêne liège (*Quercus suber* L.) est une essence forestière remarquable (Fig.1), il apporte une touche verte grâce à ses feuilles persistantes (Pereira et Pausas, 2009). Cette espèce est extrêmement polymorphique par caractérisation de la forme des arbres, la période de la floraison, la forme et la taille des feuilles, des fleurs et des fruits (Toribio et al., 2005 ; Pereira, 2007). C'est un arbre de taille moyenne de 10 à 15 mètres, peut atteindre 20 à 25m dans des conditions idéales (Toribio et al., 2005 ; Gil et Varela, 2008), il peut vivre 150 à 200 ans (Sacardy, 1938 ; Gil et Varela, 2008).



Figure 1. Aspect de l'arbre du chêne liège (*Q. suber*L.) (Subéraie Ait Hemmad, 2020).

I.2.2.1. Racines

Les racines de *Q suber* L. sont pivotantes fortes et longues avec des ramifications latérales épaisses (Fig.2), 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 en été le chêne-liège est capable d'extraire l'eau aquifères profondes, pour maintenir une hydratation foliaire élevée (Nardiniet al., 1999 ; Pereira 2007).



Figure 2. Racine du chêne liège (Subéraïede Ait Hemmad, 2020).

Les racines de *Q. suber* ont une double mycorhization (ectomycorhization et endomycorhization) (Aronson et al., 2009). Les racines superficielles peuvent être mycorhizées par des champignons (*Boletus*, *Russula* et *Lactarius*) (Azul et al., 2010). La symbiose offre à l'arbre une résistance à la sécheresse (Aronson et al., 2009 ; Hamidi et al., 2017).

I.2.2.2. Ecorce

Chaque année *Q. suber* L. produit un nouvel anneau de liège (Bugalho et al., 2011). Cette caractéristique, extrêmement rare dans le règne végétal a évolué comme protection contre les incendies périodiques courants dans toute la Méditerranée (Pausas, 1997).

Il peut atteindre une épaisseur de 15 cm (Fig.3), son écorce externe est composée d'un tissu compact élastique et thermiquement isolant (Touati et al., 2015) de cellules mortes aux parois très imperméables (Pereira, 2007). La première récolte de liège a lieu lorsque l'arbre a environ 30 ans, puis à un intervalle de 9 à 12 ans (Silva et al., 2005), c'est le temps nécessaire aux arbres pour faire pousser une nouvelle couche d'écorce d'environ 30 mm d'épaisseur (Bugalho et al., 2011).



Figure 3. Tronc du chêne liège exploité (Subéraie de Ait Hemmad, 2020).

I.2.2.3. Feuilles

Le chêne liège est une espèce forestière sclérophylle à feuillage persistant (Saccardy, 1938 ; Silva et *al.*, 2005 ; Petroselli et *al.*, 2013). Leur durée de vie est courte (Pereira et *al.*, 1987 ; Escudero et *al.*, 1992), environ une année, elle est plus courte que celle des autres chênes, comme le chêne vert ibérique et le chêne kermès (Aronson et *al.*, 2009). Elles sont de taille variable (Fig.4) mais plutôt petites, fermes, coriaces, glabres et un peu luisantes à la face supérieure, tomenteuses et blanchâtres à la face inférieure (Saccardy, 1938).



Figure 4. Feuilles du *Quercus suber* L. (Subéraie de Ait Hemmad, 2020).

I.2.2.4. Floraison

La floraison du chêne liège commence à l'âge de 15 à 20 ans environ. La saison de floraison s'étend d'avril à fin mai (Saccardy, 1938 ; Pereira, 2007). Comme chez tous les chênes la floraison est monoïque (Saccardy, 1938). Les boutons floraux femelles sont situés dans les aisselles d'insertion des nouvelles feuilles, tandis que c'est dans les pousses de l'année précédente que les boutons rougeâtres se développent en chatons mâles (Fig.5). La pollinisation a lieu au printemps mais ce n'est qu'un mois et demi plus tard que les ovules terminent leur différenciation et la fécondation se produit, avec un seul ovule mûrissant avec succès en automne (Boavida et *al.*, 1999).

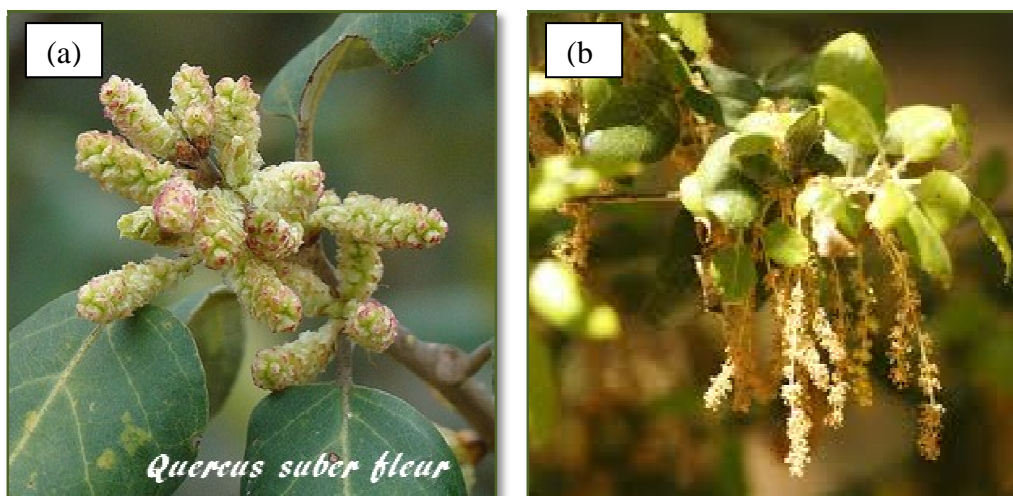


Figure 5. Boutons floraux femelles (a) et les chatons du *Quercus suber* L.(b)

(Jean-Marc Tison et Bruno de Foucault, 2014).

I.2.2.5. Fruit

Les glands de *Q suber* L. sont de taille et de forme différente (Fig.6), avec une longueur de moins de 2 cm à plus de 5 cm. Ils ne mûrissent pas en même temps à cause au longue période de floraison qui joue un rôle crucial sur la maturation des glands (Pereira, 2007).

Ils sont de saveur douce, et consommés de manière naturelle crus ou grillés sur des braises à la manière des châtaignes, ou encore bouillis dans de l'eau, séchés puis réduits en farine. Ils sont considérés comme un aliment de base (Broussaud-Le-Strat, 2002).

Le chêne liège produit des glands annuels et bisannuels, la proportion de ces derniers varie avec le temps et dans l'espace en fonction des facteurs environnementaux et des conditions météorologiques (Elena-Roselló et *al.*, 1993 ; Díaz-Fernandez et *al.*, 2004). Les glands annuels arrivent à maturité la même année de leur production, alors que les glands bisannuels poussent et arrivent à maturité à l'automne de l'année suivante (Aronson et *al.*, 2009).



Figure 6.Glands de *Quercus suber* L.(Subéraie de Ait Hemmad, 2020).

I.2.3.Exigences écologiques

Le chêne liège est considéré comme une espèce semi-tolérante, bien adaptée aux climats doux, notamment aux climats méditerranéens, avec des hivers doux et des étés chauds et secs (Carty *et al.*, 2009).

(Quezel et Medail, 2003) signalent que *Qsuber* L. fait partie des forêts sclérophylles. Il est localement présent à l'étage thermo-collinéen en zone atlantique franco-ibérique et en méso-méditerranéen, en bioclimats humide et subhumide.

Il croit bien avec une pluviométrie supérieure à 600 mm/an (Blanco *et al.*, 1997 ; Aafi, 2005 ; Pausas, 2009), 500 mm étant le minimum généralement considéré pour un développement équilibré des arbres (Pereira, 2007). Il peut atteindre des territoires de 2400 mm dans certaines régions de nord-ouest du Portugal et du sud de l'Espagne (Gil et Varela, 2008). C'est une essence relativement thermophile, de ce fait elle nécessite une température moyenne annuelle de 13-16 °C (Pausas, 2009 ; Ghoul *et al.*, 2003 ; Carty *et al.*, 2012). Cependant, les températures de -5°C et 40°C peuvent être considérées comme les limites de croissance du chêne-liège (Pereira, 2007).

C'est une espèce strictement calcifuge, colonise les sols siliceux (Quézel et Médail, 2003), sableux, profonds et bien aérés (Pereira, 2007). Elle apprécie les sols à pH acide, avec peu de contraintes pour la pénétration des racines (El Antry Tazi *et al.*, 2008).

I.3. Aire de répartition de *Quercus suber* L

I.3.1. Dans le bassin méditerranéen

Cette espèce peut être originaire de la péninsule ibérique, d'après certains auteurs et cette évaluation se fonde sur différents arguments, y compris des études géobotaniques (Sauvage, 1961).

Les peuplements du chêne liège couvrent près de 2,5 millions d'hectares de terres dans le bassin méditerranéen occidental (Catryet *al.*, 2012); environ 1.5 millions d'hectares en Europe et 1 million d'hectares en Afrique du Nord (Mendes et Garça, 2009 ; Bugalho et *al.*, 2011).

Il se retrouve dans les zones les plus chaudes de l'aire biogéographique humide et subhumide de l'Ouest de la Méditerranée (Mendes et Garça, 2009 ; Bugalho et *al.*, 2011). Très réparti principalement autour de la zone méditerranéenne occidentale en Afrique du Nord (Maroc, Algérie et Tunisie) (Silva et *al.*, 2005 ; Touati et *al.*, 2015), dans le sud de la France et une partie de l'Italie, principalement au Portugal et en Espagne (Pioet *al.*, 2005), y compris les îles de la Corse, la Sardaigne, la Sicile (Gil et Varela, 2008 ; Toribio et *al.*, 2008)(Fig.7).

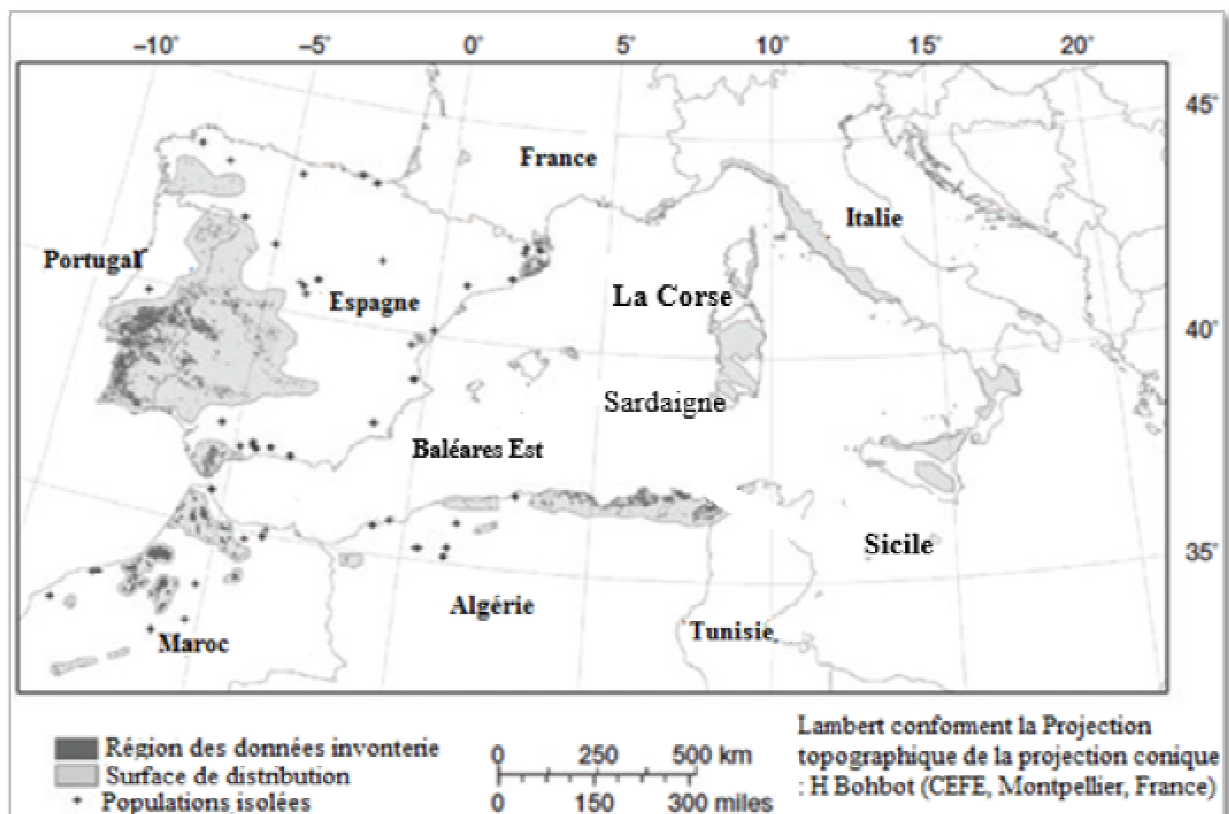


Figure 7. Répartition actuelle des forêts du chêne liège dans le bassin méditerranéen occidental. (Catry et *al.*, 2012).

La superficie du chêne liège selon Pereira (2007) qui a utilisé les données des inventaires forestiers nationaux en 1999 (Tab.1).

Tableau 1. Superficie de chêne liège à travers certains pays méditerranéens (Pereira, 2007).

Pays	Portugal	Espagne	France	Italie	Maroc	Tunisie	Algérie
Superficie en ha	713000 de (dont 592000 peuplements purs).	475000 de peuplements purs 356000	68000	65000	348 000	90 000	440 000

D'un autre côté, des valeurs les plus élevées ont été signalées par des évaluations régionales en Italie, comme 122 000 ha dans la région de Sardaigne, la principale zone de chêne-liège du pays (Barberis et al., 2003).

I.3.2. En Algérie

La forêt de *Quercus suber* L. en Algérie offre une superficie de 230 000 ha (FAO, 2013). L'Algérie est classée au 3ème rang mondial (Bekdouche, 2010).

Il constitue la 2^{ème} espèce importante après le pin d'Alep, elle représente 1 % des forêts mondiales de chêne-liège (FAO, 2013). Il se retrouve principalement dans des bioclimats subhumides à humide (Nedjahi, 2010), se retrouve sous trois principaux faciès : l'occidental montagnard, l'oriental littoral et littoral montagnard (Benmechri, 1994 in Bekrarchouch et Bendahmane, 2009). Il réparti sur 23 wilayas du littoral méditerranéen au Nord, jusqu'aux chaînes telliennes au Sud, les 4/5 se trouvant à l'est du pays (Bouhraoua et al., 2014) (Fig.8).

Les peuplements les plus importants sont ceux des wilayas de Jijel, Skikda, Annaba, El-Taref, Bejaia et Tizi-Ouzou, représentant 2/3 des forêts de Chêne liège algérienne (Yessad, 2000).



Figure 8. Répartition du chêne liège en Algérie (DGF, 2003)

I.4. Importance de *Quercus suber* L.

Quercus suber L. est l'essence forestière la plus intéressante en Afrique du nord, elle a une grande importance socio-économique en raison de la qualité et la valeur de son écorce et son bois (Silva et Catry, 2006, Bugalho *et al.*, 2011). C'est une plante endémique atlantico-méditerranéenne qui a fait couler beaucoup d'encre par son rôle dans l'industrie du liège et de la tannerie (Hassikou, 2014).

Il a un rôle écologique par sa contribution à réguler le cycle hydrologique, mais aussi à protéger contre la désertification. Il fixe également le dioxyde de carbone (Aronson *et al.*, 2009 in Rives *et al.*, 2015). Le liège est utilisé comme matière première pour remplacer d'autres matériaux non renouvelables tels que le pétrole (Rives *et al.*, 2015).

Le liège produit par cette espèce présente des propriétés uniques, peut être utilisé en tant qu'isolant thermique (Touati *et al.*, 2015), pour l'absorption des vibrations et des sons par exemple : les isolateurs ablatifs de l'espace et les produits d'étanchéité pour l'équipement (Costa *et al.*, 2019). Son bois sert à la fabrication des traverses de chemin de fer, de tonneaux et autres usages en menuiserie. C'est un bois rouge clair compact (Boudy, 1952 ; Belaidi, 2010 ; Laakili *et al.*, 2016).

Il est principalement utilisé comme bouchon (Costa *et al.*, 2019), ces derniers sont recyclés à 100%, et peuvent être utilisés dans la fabrication d'autres produits tels que les revêtements de sol, les joints de moteur pour l'industrie automobile, les joints de dilatation destinés aux ouvrages du génie-civile, les chaussures, les articles de maroquinerie, les articles de pêche et les instruments de musique ou les articles de sport...etc (Pereira et Pausas, 2009).

I.5. Usage de *Quercus suber* L. dans la médecine traditionnelle

Selon Sijelmassi (1993) et Bellakhdar (2006) *Q. suber* L. est utilisé dans de nombreuses préparations en médecine traditionnelle, en cataplasme contre la chute des cheveux, comme hémostatique et cicatrisant des plaies ou pour soigner les hémorroïdes et les affections cutanées (Hassikou et al., 2014).

La fréquence d'utilisation de *Q. suber* L. dans les traitements des maladies affectant l'appareil digestif est de 85% dans la région de Zaër, l'écorce est aussi utilisée contre les douleurs d'estomac et considérées aussi comme stomachique et anti diarrhéique (Lahsissene., 2010).

Son gland est associé au miel et peut être utilisé comme stomachique, mais aussi utilisé sous forme de poudre par voie orale, dans le traitement des maladies de l'estomac et du colon (Alaoui et al., 2017).

II. Les facteurs responsables de stress chez les végétaux

II. 1. Les facteurs abiotiques

A. Climat

La température, la sécheresse, l'alcalinité, la salinité, UV...etc, font partie des facteurs abiotiques causant le stress chez les plantes (Ramakrishna et Ravishankar, 2011) (fig.9).

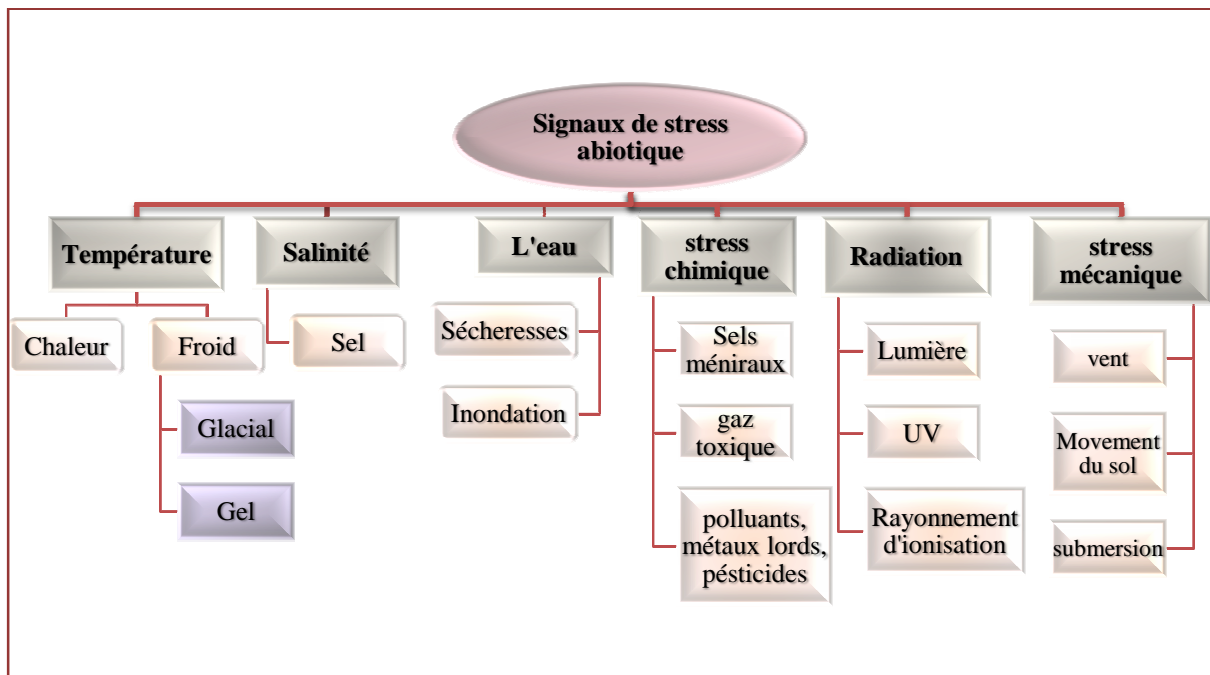


Figure 9. Différents stress abiotiques chez les plantes (Mahajan et Tuteja, 2005) modifiée.

➤ Salinité

L'environnement salin entraîne une déshydratation cellulaire, ce qui provoque un stress osmotique et entraîne une réduction des volumes cytoplasmiques (Ramakrishna et Ravishankar, 2011). La salinité a un impact négatif sur les fonctions morphologiques et biochimiques des plantes. La salinité inhibe la germination des graines, la croissance, le développement et le rendement des plantes (Zhang et Dai, 2019).

Elle entrave la machinerie photosynthétique, la transpiration et les échanges gazeux en diminuant la teneur de la chlorophylle et les caroténoïdes et altère l'ultrastructure du chloroplaste et le photosystème secondaire (PSII) en réduisant la conductance stomatique (Pan et *al.*, 2020).

Dans les plantes, le sel réduit le taux de germination par augmentation de la teneur en sucre soluble, l'amidon, ABA et en réduisant l'acide gibbérellique (GA₃). De plus, le stress salin a un impact significatif sur le rendement de la plante (Yamshi Arif et *al.*, 2020).

Le stress salin du sol réduit le potentiel hydrique du sol ainsi que celui des feuilles. Il réduit la turgescence, ce qui conduit finalement à un stress osmotique (Navada et *al.*, 2020). Il entraîne une diminution de la biomasse, de la surface foliaire, du rendement, de la tige et de la longueur des racines (Zorb *et al.*, 2019).

La salinité augmente la teneur en espèces réactives à l'oxygène (ERO) dans les cellules végétales et crée un stress oxydatif provoquant la peroxydation lipidique, la détérioration de la membrane, ainsi que les dommages à l'ADN et aux protéines (El Ghazali, 2020).

➤ Sécheresse (déficit hydrique)

La sécheresse est l'un des facteurs abiotiques les plus importants qui affectent la croissance et le développement des plantes. Ces circonstances se produisent lorsque l'eau disponible dans le sol diminue et que les conditions atmosphériques contribuent à une perte continue d'eau dite « déficit hydrique », conduisant à un stress oxydatif (Ramakrishna et Ravishankar, 2011).

Elle peut réduire le poids des graines, le développement des fleurs et les fonctions des ovules (Prasad et *al.*, 2011). Elle entraîne la fermeture partielle des stomates qui limite l'entrée de CO₂ pour la photosynthèse et la production des ERO (Sgherri et *al.*, 1993).

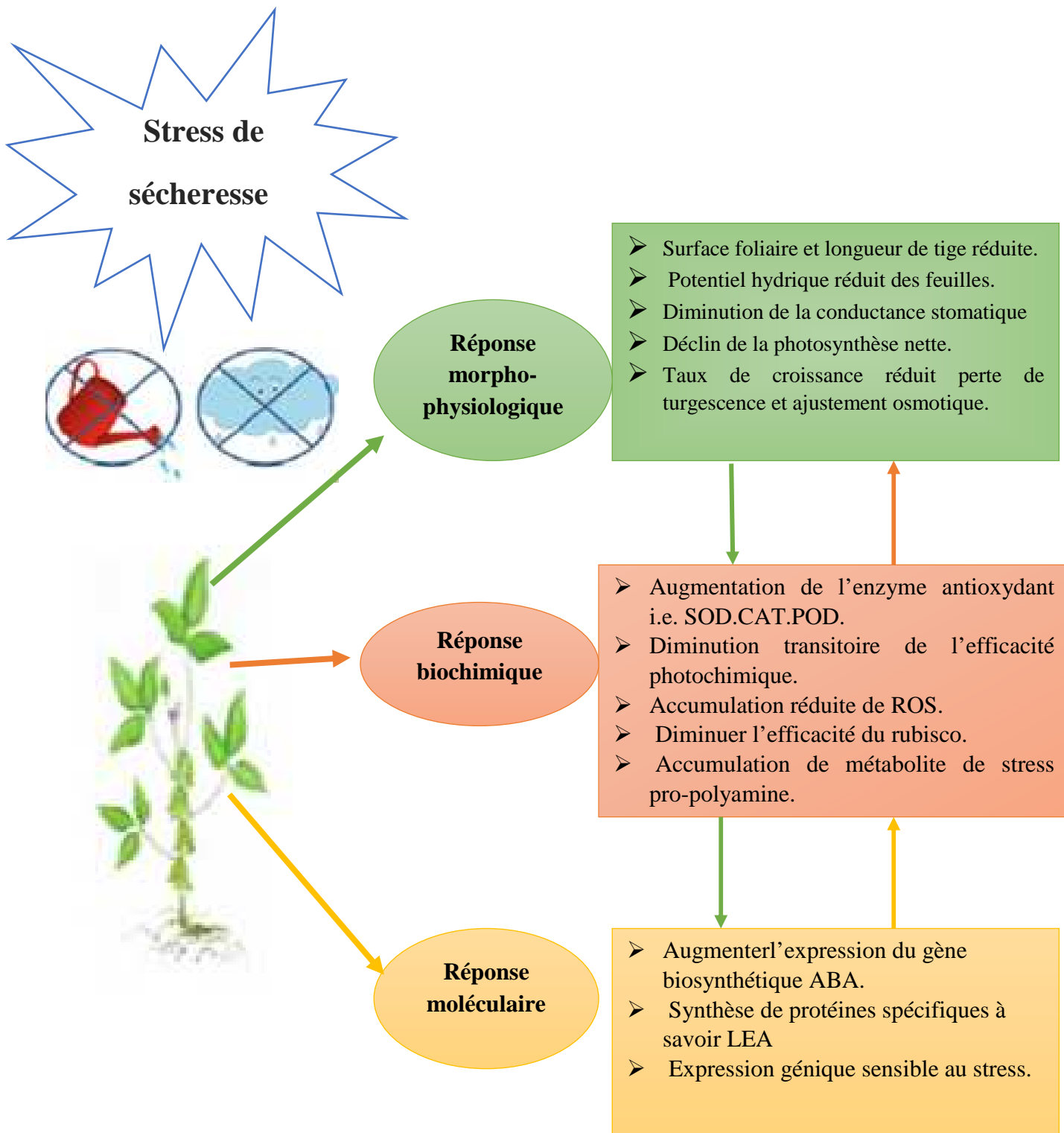


Figure 10. Réactions des plantes au stress de la sécheresse (Vats, 2018) modifiée.

➤ Froid

Les basses températures affectent les plantes tempérées qui sont adaptées aux variations de température et peuvent imposer une série de contraintes aux plantes (Janska et *al.*, 2010), en particulier les températures de congélations, ces derniers peuvent avoir des effets dramatiques sur les plantes à l'échelle cellulaire (Loik et *al.*, 2004).

Le froid inhibe l'absorption de l'eau ce qui provoque une déshydratation cellulaire induite par la congélation, il modifie le flux ioniques, un déséquilibre phytohormonal et une production des ERO (Mehrotra et *al.*, 2020). Ce facteur diminue la fluidité de la membrane et devient mortel pour la plante car il inhibe directement plusieurs réactions métaboliques vitales (Jouyban et *al.*, 2013).

Il peut inhiber la biosynthèse de certains métabolites secondaires (Dutta et *al.*, 2007). Une production phénolique importante chez la plante exposée à ce type de stress, est observé puis s'en suit une incorporation ultérieure dans la paroi cellulaire sous forme de la subérine ou de la lignine (Dutta et *al.*, 2007) (Annexe .1).

B. Édaphique

Les facteurs édaphiques sont liés aux caractéristiques physique et chimique du sol, les contraintes édaphiques sont responsables d'une bonne part du taux d'échecs des plantations (Lepoutre, 1965).

Cinq propriétés des sols sont importantes pour la croissance des racines et le développement des végétaux : l'approvisionnement en éléments nutritifs, en eau, en oxygène, une température qui convient et une porosité qui permet aux racines de se développer (Roger, 2015). En effet le stress nutritionnel a également un effet marqué sur les niveaux phénoliques dans les tissus végétaux (Chalker-Scott, Fenchigami, 1989 in Ramakrishna et Ravishankar, 2011). Selon Dixon et Paiva, (1995), la carence en azote et en phosphate conduit à l'accumulation de phénylpropanoïdes et lignification.

II.2. Facteurs biotiques

Les plantes et les insectes coexistent depuis plus de 400 millions d'années, pendant ce temps, ils ont développé des interactions raffinées qui affectent les organismes. Le stress biotique causé par l'attaque d'herbivores et d'agents pathogènes comme les champignons, les bactéries, les virus, les nématodes et les insectes, affectent la croissance et le rendement des végétaux. Ils peuvent même causer leur mort (Madlung et Comai, 2004).

L'herbivorie constitue l'une des principales interactions antagonistes entre les plantes et les insectes, étant le déclencheur de nombreux processus Co-évolutionnaires (Strauss et Zangerl, 2002). Elle inhibe certaines voies physiologiques impliquées dans la croissance des plantes et provoque des dommages physiques réduisant la qualité et l'efficacité des tissus photosynthétiques, cela augmente leur vulnérabilité au stress environnementaux tel que le déficit hydrique (Canilo et *al.*, 2017). La perte du tissu photosynthétique réduit la productivité des plantes (Nabity, Zavala et DeLucia, 2009).

Deux mécanismes de défense (directs et indirects) peuvent être présents après des dommages par les herbivores. Les défenses directes représentent les caractéristiques structurales des plantes telles que la surface des feuilles cire, épines, l'épaisseur et lignification de la paroi cellulaire. ceci forme la première barrière physique aux herbivores et les métabolites secondaires agissent comme des toxines tels que les terpénoïdes, alcaloïdes, anthocyanes, phénols et quinones a fin de tuer ou retarder le développement des herbivores(War et *al.*, 2011).

III. Stress Oxydatif et les Métabolites secondaire

III.1. Introduction

Les plantes ont subi plusieurs stresses dû aux facteurs biotiques (les attaques de pathogènes champignons, bactéries ...), et abiotiques (stress hydrique, les fortes ou faibles luminosités, la pollution de l'air, la salinité des sols, ...), où les conditions de vie s'éloignent de l'optimum requis pour un fonctionnement normal de l'organisme, ces conditions engendrent la production des espèces réactifs à oxygène ERO.

Les végétaux ont développé des stratégies d'adaptation face à ces stresses grâce à leur capacité de produire des substances naturelles très diversifiées (Macheix et *al.*, 2005), ces molécules sont des éléments clés d'une défense active et puissante, par exemple des antioxydants qui peuvent empêcher ou retarder le processus d'oxydation causé par les (ERO) (Heo *etal.*, 2006 ; Vannucchi et *al.*, 2007). Ces derniers augmentent souvent l'accumulation des phénylpropanoïdes et les niveaux phénoliques dans les tissus végétaux (Ramakrishna et Ravishankar, 2011).

III.2.Espèces réactives à l'oxygène et antioxydants

III.2.1. Définition des espèces réactives à oxygène (ERO)

Les ERO tels que ; O_2^- , OH, H_2O_2 et $O^{\cdot-}$ sont des molécules toxiques capable de causer des dommages oxydatifs aux protéines, à l'ADN et aux lipides (Apel et Hirt, 2004). Dans des conditions de croissance optimales elles sont produites à faible doses dans les organites tels que les chloroplastes, les mitochondries et les peroxysomes, Cependant, en période de stress leur taux de production est considérablement élevé (Suzuki et Mittler, 2005).

III.2.2.Radicaux libres

Un radical libre est une molécule ou espèce chimique instable, contenant un ou plusieurs électron(s) non apparié(s). Il peut réagir avec les molécules les plus stables pour appairer son électron avec une durée de vie très courte et les réactions induites se font généralement en

chaîne conduisant à des lésions cellulaires importantes (Cesarini, 2004 ; Demoffartset *al.*, 2005 ; Ratnamet *al.*, 2006).

Parmi toutes les ERO un ensemble restreint de ces composés joue un rôle particulier en physiologie (Park *et al.*, 2007) à savoir :

- L'anion superoxyde (O_2^-).
- Le radical hydroxyle (OH).
- Le monoxyde d'azote (NO).
- Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2).

Les radicaux O_2^- et OH^\bullet provoquent des lésions de l'ADN, ceux-ci peuvent en effet interagir avec les désoxyriboses de l'ADN mais aussi avec ses bases puriques et pyrimidiques ce qui entraîne des altérations géniques : cassures chromosomiques, mutations, délétions, amplifications, à l'origine d'un dysfonctionnement au niveau du métabolisme protéique (Hartmann et Niess, 2000).

L'attaque des radicaux libres au sein des doubles liaisons lipidiques membranaires induit une désorganisation complète de la membrane altérant de ce fait ses fonctions d'échange et de barrière (Davies, 2000).

III.2.3. Stress oxydatif

Le stress oxydant est un déséquilibre de la balance entre la formation des ERO à caractère pro-oxydant et les antioxydants qui régulent leur production (Halliwell et Aruoma, 1993 ; Azzi *et al.*, 2004 ; Soares, 2005).

Dans les systèmes biologiques, l'oxygène est transformé en molécules d'eau au niveau de la chaîne respiratoire mitochondriale (Belkhiri, 2017). Cette réaction est cruciale puisqu'elle apporte à la cellule toute l'énergie nécessaire (sous forme d'adénosine triphosphate (ATP) pour assurer ses multiples fonctions (Favier, 2003). Le processus n'est toutefois pas parfait car une partie de l'oxygène est convertie en ERO (Pincemail *et al.*, 2003).

Il se produit lorsque la génération des radicaux libres excède la capacité du mécanisme de défense des antioxydants, ou par l'attaque des ERO « non détoxiquées » par le système antioxydant. Ils endommagent les macromolécules contenues dans les cellules par oxydation, notamment les lipides, les protéines, l'ADN, directement à leur contact (Poston et Raijmakers, 2004 ; Kœchlin- Ramonatxo *et al.*, 2006).

III.2.4. Définition d'un antioxydant

Un antioxydant est un système de défense qui retarde ou empêche l'oxydation d'un substrat oxydable (Deaton et Marlin, 2003). Ils peuvent empêcher ou retarder le processus d'oxydation causé par les radicaux libres et les ERO (Heo *et al.*, 2006 ; Vannucchiet *al.*, 2007). Ils sont produits dans l'organisme, peuvent être apportés par l'alimentation (Tamimietal., 2002). Les principaux antioxydants sont résumés dans la figure (11).

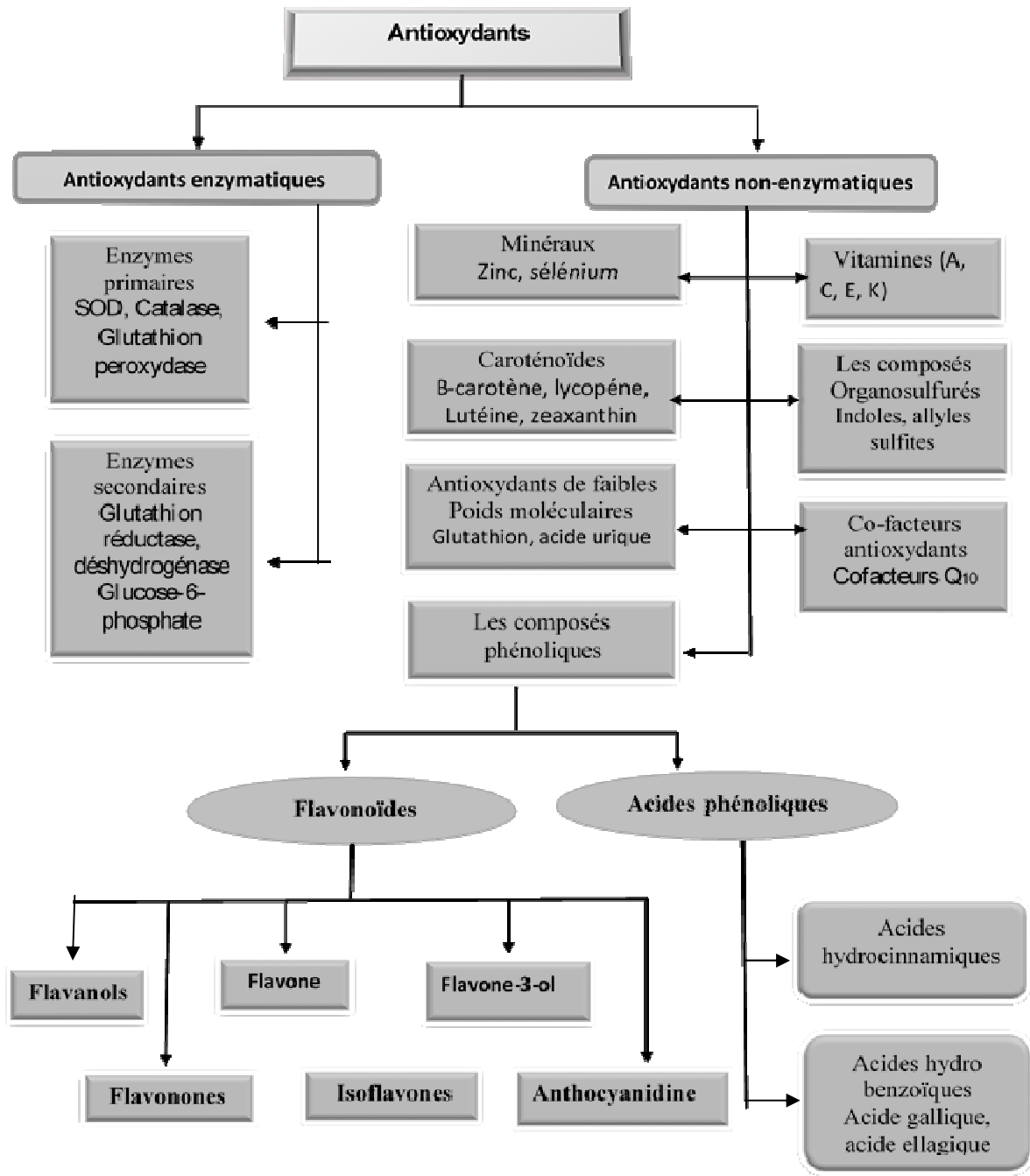


Figure 11. Classification des antioxydants (Ratnam *et al.*, 2006) modifiée

III.3. Mécanisme d'action des antioxydants

La plante sait se défendre contre le radicale libre grâce aux enzymes antioxydants contenue dans les cellules, les groupes hydroxyles des polyphénols sont des donneurs d'atome d'hydrogène donc ils peuvent réagir avec les espèces réactives à l'oxygène (ERO) et les espèces réactives de l'azote (Mansour, 2017).

Les composés phénoliques ont des propriétés redox, qui leur permettent d'agir comme antioxydant mais aussi comme piègeurs ou inhibiteurs des radicaux libres (Baba et Malik, 2014).

Le pouvoir antioxydant des composés phénoliques est également attribué à leur capacité à chélater les ions métalliques et inhibent certaines enzymes impliquées dans la génération des radicaux libres (Pereira et *al.*, 2009).

III.4. Définition des métabolites secondaire

À côté des métabolites primaires classiques (glucides, lipides, les acides aminés), les végétaux accumulent fréquemment des métabolites dits « secondaires » dont la fonction physiologique n'est pas toujours évidente mais qui représente une source importante de molécules utilisables par l'homme dans des domaines différents (Herbert, 1989).

Les métabolites secondaires appartiennent à des groupes chimiques très variés tels les alcaloïdes, les terpènes, les composés phénoliques (Marouf, 2000 ; Macheix et *al.*, 2005). Ils jouent un rôle majeur dans l'adaptation des plantes à leur environnement, car ils sont capables de protéger les plantes contre les agents pathogènes, et aussi anti-germinatifs ou toxiques pour d'autres plantes (Bourgaud et *al.*, 2001).

III.4.1. Les polyphénols

Les polyphénols ou les composés phénoliques, sont des molécules spécifiques du règne végétal et cette appellation générique désigne un vaste ensemble de substance aux structures variées qui sont difficile à définir simplement (Bruneton, 1993). Ce sont des acides phénoliques simples (Hurtado-Fernandez et *al.*, 2010), largement retrouvés dans la nature (Lee, 2011).

Ils possèdent un cycle aromatique portant un ou plusieurs groupements hydroxyles libres ou engagés avec une autre fonction tels que : éther, ester, hétéroside (Lugasi et *al.*, 2003)(Fig. 12). Ils peuvent être regroupés en plusieurs classes dont la plupart ont des représentants chez de nombreux végétaux. Pour les premiers critères de distinction entre ces classes sont le nombre d'atomes de carbone constitutifs et la structure de base du squelette carbone (Macheix, 1996).

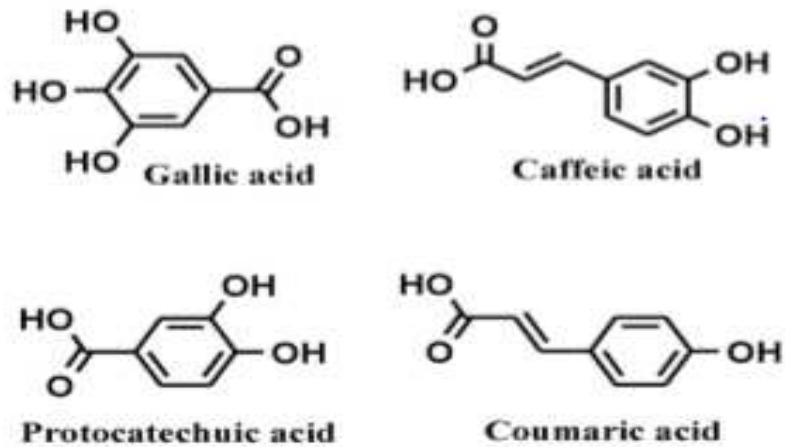


Figure 12. Composés phénoliques comprennent un cycle aromatique, portent un ou plusieurs substituants hydroxyle (Velderrain-Rodríguez et *al.*, 2014) modifiée.

Ils sont présents chez tous les végétaux supérieurs avec une très large *gamme* de structures chimiques et une répartition qualitative et quantitative très inégale selon les espèces mais aussi les parties végétales (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois) (Macheix, 1996).

Ils interviennent dans de nombreux processus physiologiques comme la croissance cellulaire, la rhizogénèse, la germination des graines et la maturation des fruits (Brzowska et Hanower, 1970 ; Boizot et Charpentier, 2006).

III.4.2. Classe des polyphénols

Ils comprennent les phénols simples, coumarines, lignines, lignanes, tanins condensés et hydrolysables, Stilbenes, acides phénoliques et flavonoïde (Soto-Vaca et al., 2012 ; Khoddami et al., 2013) (Fig.13).

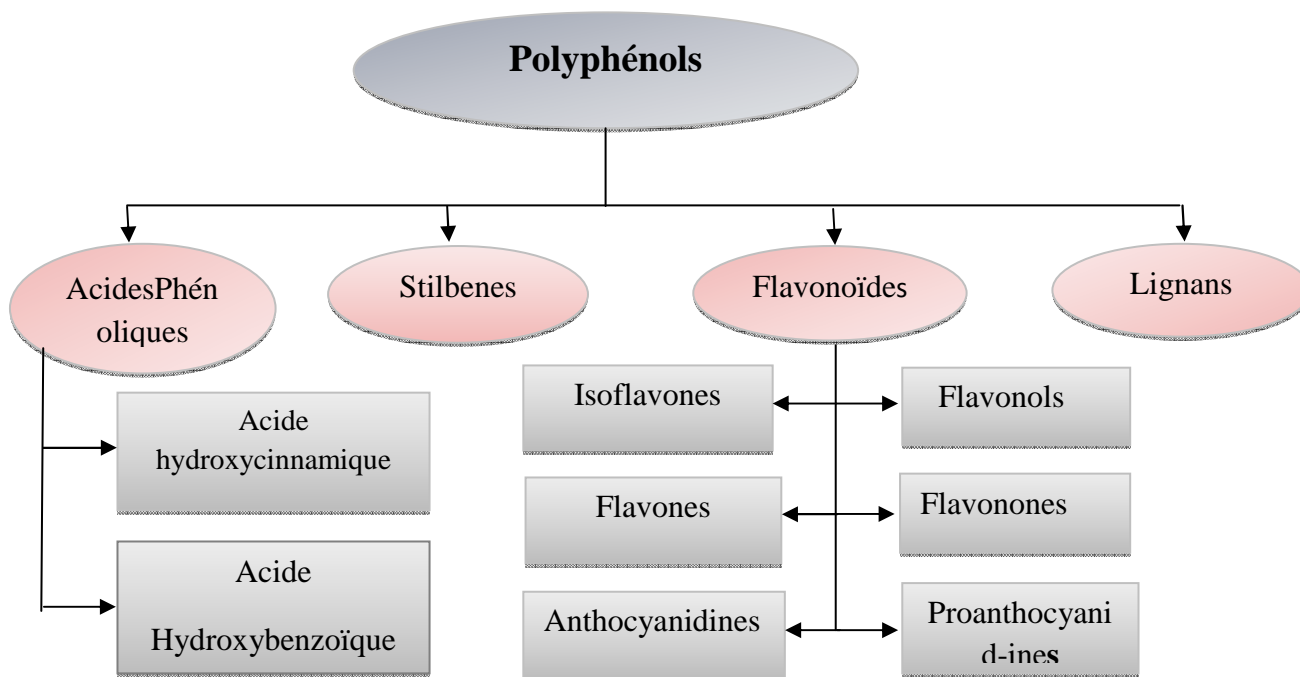


Figure 13. Principales classes de polyphénols (Oliver et al., 2016) modifiée.

III.4.2.1. Les phénols simples (les acides phénoliques)

Ce sont les formes les plus simples présentant des structures chimiques allant de simple phénol dont la structure de base (C6), En générale ces substances sont présentes sous forme soluble dans la vacuole (Macheix et al., 2005 ; Babenko et al., 2019).

Les acides phénoliques sont très réponsus dans le règne végétal, exemple : du thé (Harbowy et Balentine, 1997). Ils jouent un rôle important en raison de leur abondance et de leur diversité dans la plupart des organes végétaux consommés par l'homme (Macheix, 1996). Ces composés ont fait l'objet des études agricoles, biologiques, chimiques et médicales (Ghasemzadeh et Ghasemzadeh, 2011). Il se divisent en deux classes :

A. Les acides hydroxybenzoïques (C6-C1)

Ils ont une formule de base de type (C6-C1) (Macheix et *al.*, 2005 ; Jaganath et Crozier, 2010) (Fig.14). Ils sont abondants dans les végétaux et les aliments (Murota et *al.*, 2004).

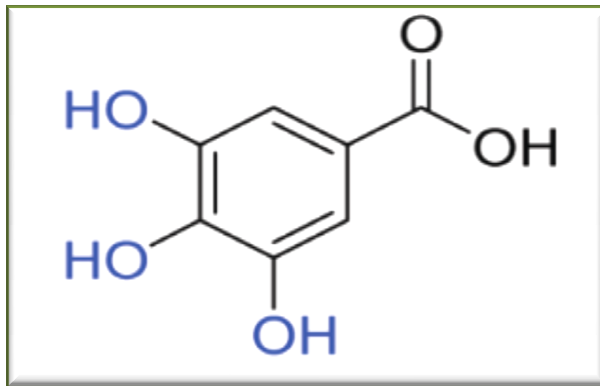


Figure 14. Structure chimique de l'acide hydroxybenzoïque (Oliver et *al.*, 2016).

B. Les acides hydroxycinnamiques (C6-C3)

Ils représentent une classe très importante dont la structure de base (C6-C3). Ils ont une distribution très large rarement libres, ils sont souvent estérifiés et peuvent également être acidifiés ou combinés avec des sucres ou des polyphénols, parmi les composés majeurs de ces dérivés on a l'acide caféique et l'acide férulique (Bruneton, 1993) (Fig.15).

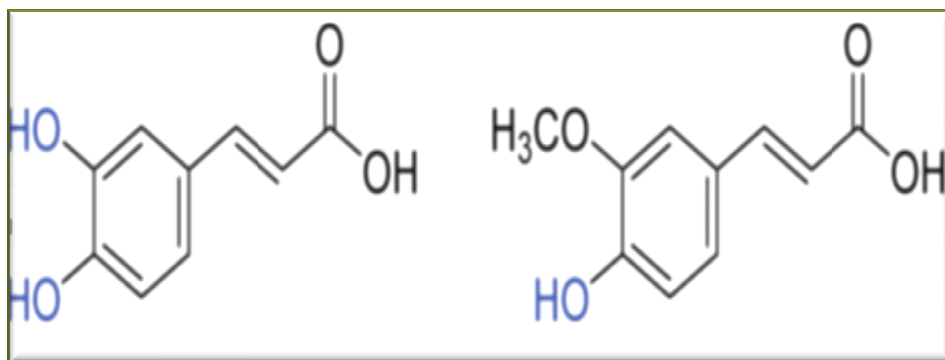


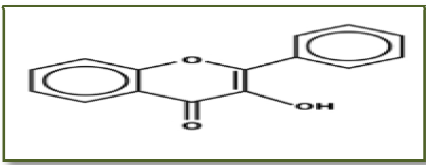
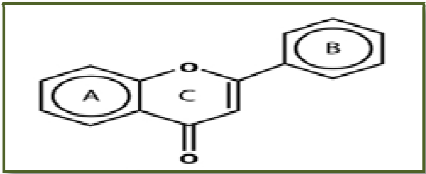
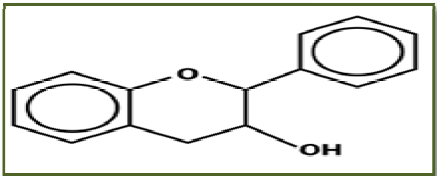
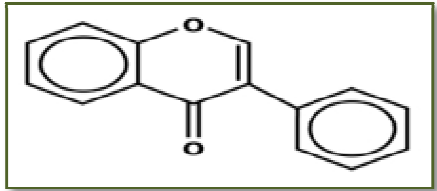
Figure 15. La structure chimique de l'acide hydroxycinnamique (Oliver et *al.*, 2016).

III.4.2.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent une large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols. Ils partagent la structure de base **C6-C3-C6** composés de deux cycles aromatiques A et B et d'un cycle hétérocyclique C, qui contient un atome d'oxygène ; ils sont classés en 6 groupes (Bruneton, 1999 ; Ghasemzadeh et Ghasemzadeh, 2011).

Ils comportent plus de 4000 substances isolées et identifiées à partir des milliers de plantes (Forkmann et Martens, 2001). Ils sont très abondants dans la nature, ils ont été identifiés dans toutes les parties de la plante y compris les feuilles, les racines, les tiges, les fleurs, le pollen, les graines et l'écorce (Cermak et *al.*, 1998 ; Tim Cushnie et Lamb, 2005). Les principaux groupes ont été présentés dans le tableau (2).

Tableau 2. Principaux groupes des flavonoïdes (Belkhiri, 2017).

	Les flavanols
	Les flavones
	Les flavan-3-ols
	Anthocyanidines

III.4.2.3. Tanins

Ils constituent un groupe complexe de polymères naturels et une définition chimique rigoureuse (Benick *et al.*, 2002). La plupart des tanins ont des masses moléculaires comprises entre 600 et 3000 Da. Ce sont des toxines générales qui réduisent considérablement la croissance et la survie de nombreux herbivores (Mazide *et al.*, 2011).

Ils sont utilisés par l'homme pour le traitement de peau d'animaux, ils ont une importance économique et écologique; ils sont très répandus dans le règne végétal. Ils sont localisés dans l'écorce, bois, racines, feuilles et fruits (Richardin *et al.*, 2014). Deux grands groupes de tanins sont distingués : les tanins hydrolysables et les tanins condensés, ils diffèrent dans leur réactivité chimique et leur composition (Macheix *et al.*, 2005).

A. Tannins hydrolysables

Sont des hétéropolymères dont l'hydrolyse chimique ou enzymatique (la tannase) libère une fraction glucidique, généralement, le glucose et un acide phénolique. Ce dernier peut être l'acide gallique dans le cas des tannins galliques ou l'acide hexahydroxydiphénique et ses dérivés comme l'acide éllagique dans le cas des tannins éllagiques (Mehanshoet *et al.*, 1987 ; Belkhiri, 2017).

B. Tannins condensés

Ils sont appelés aussi proanthocyanidines. Ils sont formés à partir d'unités monomériques ou polymériques de flavan-3-ols, ce qui les différencie des tanins hydrolysables (Häring, 2007). A l'opposé des tannins hydrolysables, les tannins condensés ne sont pas décomposables par hydrolyse. Soumis à un chauffage en milieu acide ils se polymérisent progressivement et forment des pigments anthocyaniques, amorphes, de coloration rouge, ou des produits bruns jaunes, insolubles, de poids moléculaire élevé (Richardin *et al.*, 2014) (Fig.16),

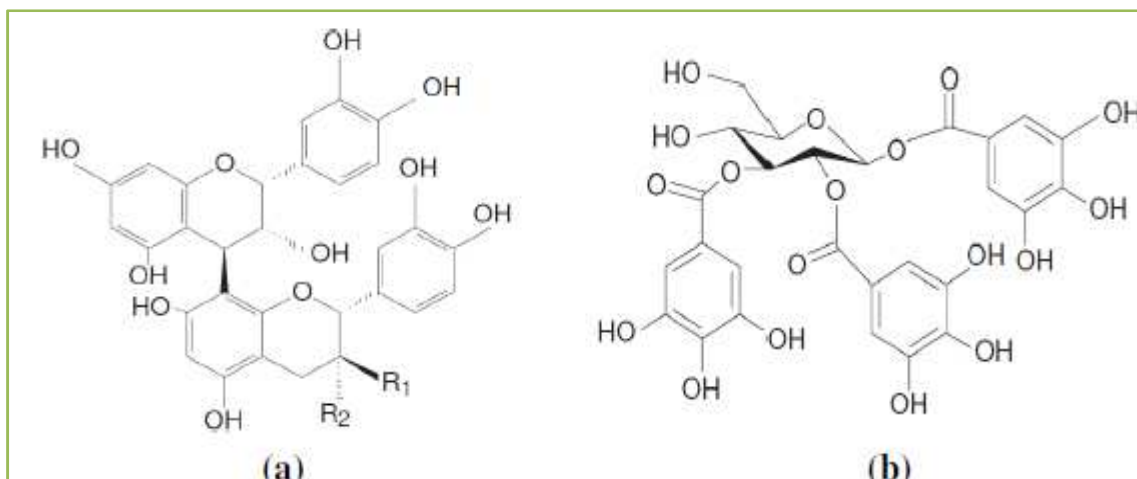


Figure 16. Structure chimique a- Tanin condensé (proanthocyanidine) et b- Gallotanin (1, 2,3-tri-O-galloyl- β -D-glucose) (Sikora et *al.*, 1990).

III. 4.2.4. Lignine

La lignine est un polymère hautement ramifié composé de trois alcools phénoliques connu sous le nom de monolignols, sa durabilité chimique le rend relativement indigeste aux herbivores et aux insectes pathogènes (Madar et *al.*, 1982). La lignine elle-même n'est pas facilement digérée par les herbivores, parce qu'elle est liée de façon covalente à la cellulose et aux xyloglucanes de la paroi cellulaire, sa présence diminue la digestibilité de ces les polymères aussi (Hokins et *al.*, 2009).

III.5. Biosynthèse des composés phénoliques

La plupart des molécules phénoliques sont formées à partir de la voie de l'acide shikimique (Macheix et *al.*, 2005). La biosynthèse des polyphénols se fait par deux voies principales (Fig.17), la voie shikimate et acétate-malonate (Zaprometov et *al.*, 2003 ; Knaggs, 2003).

III.5.1. La voie de l'acide shikimique

Cette voie est initiée dans le chloroplaste (Chaves et *al.*, 2011), c'est une voie majeure pour la synthèse des composés aromatiques dans la plante. Dans cette voie l'érythrose 4-phosphate et le phosphoénol pyruvate sont produits par les hydrates de carbones lors de leur dégradation par la voie des pentoses phosphate et la glycolyse respectivement (Macheix et *al.*, 2005).

Elle conduit à la formation de deux acides aminés aromatiques phénylalanines et tyrosine. En effet ces deux acides aminés sont des intermédiaires métaboliques entre l'acide shikimique et l'acide cinnamique formant la plupart des classes de composés phénoliques de la chalcone. c'est la molécule de base de tous les flavonoïdes et tannins condensés (Haslam,

1994 ; Dewick, 1995). Bien que les tanins hydrolysables soient directement produits par l'acide gallique (Ghasemzadeh. A et Ghasemzadeh. N, 2011).

III.5.2. La voie de l'acide malonate

La glycolyse et la B-oxydation aboutissent à la formation de l'acétylCoA donnant le malonate. C'est à travers cette voie que s'effectue la cyclisation des chaînes polycétoniques, obtenues par condensation répétée d'unités « Acétate » qui se fait par carboxylation de l'acétyl-CoA. Cette réaction est catalysée par l'enzyme acétyl-CoA carboxylase (Fleeger et Flipse, 1964).

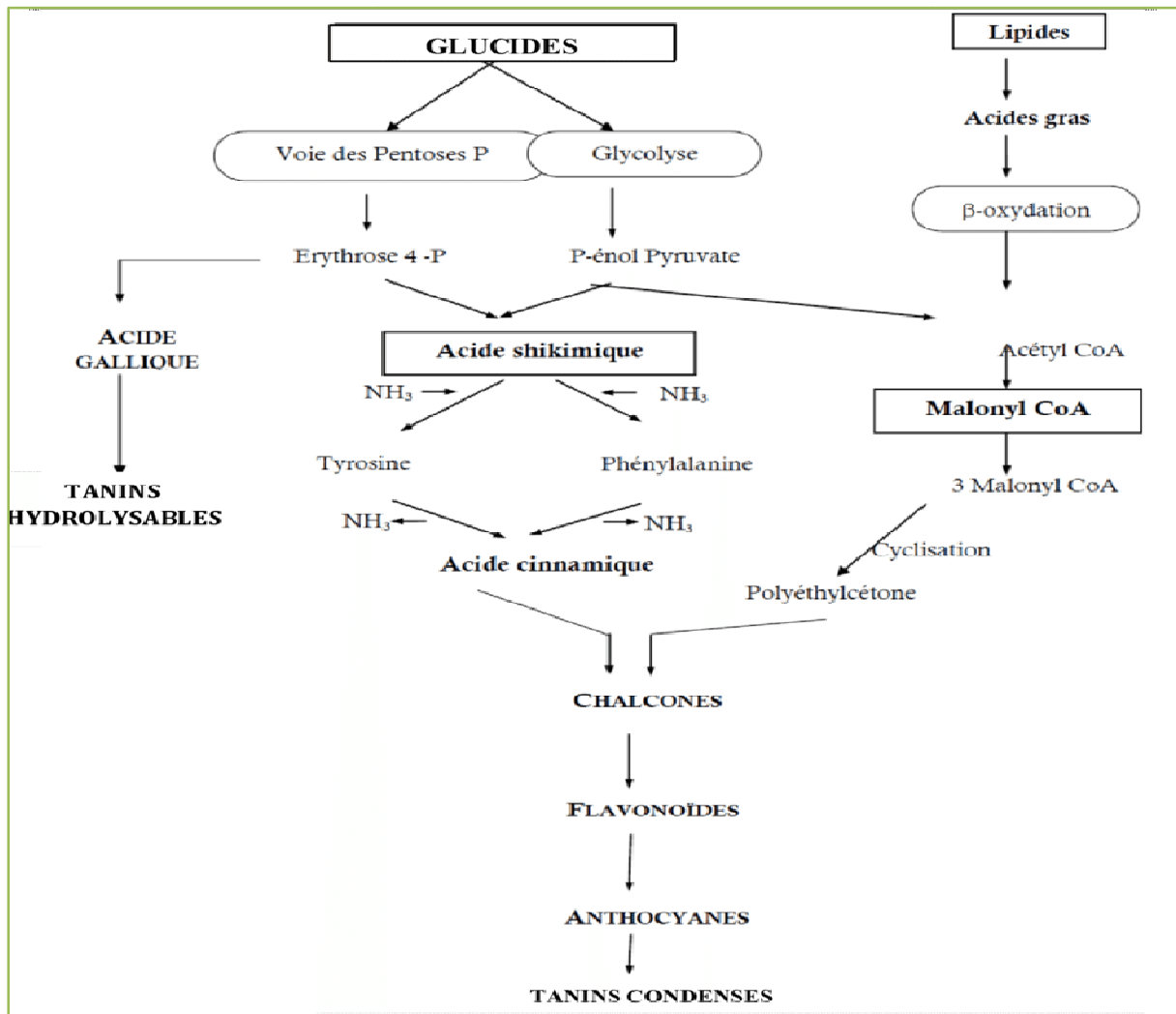


Figure 17. Représentation des voies de biosynthèse des polyphénols(Chaouche, 2014).

III.6. Rôles et activités biologiques des composés phénoliques

Les composés phénoliques sont impliqués à divers titres dans la défense des plantes par leur accumulation chez les plantes résistantes (Clériveret et *al.*, 1996).

Ces composés sont largement recherchés pour leurs propriétés biologiques : antioxydantes, anti-inflammatoires, antiallergiques et anti-Cancéreuse. Ils présente une efficacité puissante de ces substances à stopper les réactions radicalaires en neutralisant les radicaux libres, par leurs structures phénoliques avec la présence des groupements hydroxyles (Habellah et *al.*, 2016).

1. Phénols (polyphénol)

Des travaux plus anciens ont montré que les phénols seraient associés à de nombreux processus physiologiques : croissance cellulaire, différenciation, organogenèse, dormance des bourgeons, floraison et tubérisation (Nitsch et Nitsch, 1961 in Heimeur et *al.*, 2004).

De nos jours, les propriétés antioxydantes ou anti-inflammatoires des polyphénols participent à la prévention de diverses pathologies impliquant le stress oxydant et le vieillissement cellulaire, les maladies cardiovasculaires (Wang et Mazza, 2002; Macheix et *al.*, 2005). Ils diminuent la perméabilité des vaisseaux capillaires renforçant leur résistance, ils agissent contre les radicaux libres (Nissiotis et Tasioula-Margari, 2002 ; Lahouel, 2004).

2. Flavonoïdes

Ils constituent un large éventail de substance qui joue un rôle important dans la protection des systèmes biologiques contre les effets nocifs des processus oxydatifs tels que les glucides, les protéines, les lipides (Halliwell et Gutteridge, 1989).

Ils sont parmi les produits chimiques qui apporte un goût à la plante. Les couleurs des fleurs, des fruits et des feuilles des plantes sont liées aux anthocyanes (Ghasemzadeh. A et Ghasemzadeh. N, 2011).

La diversité des flavonoïdes représente un large système de défense contre les attaques d'herbivores et contre les dommages du matériel génétique causés par les rayons ultraviolets (Rocha-Guzmán et *al.*, 2019).

3. Tanins

Ils jouent un rôle dans l'inhibition de la croissance de plusieurs bactéries, virus, champignons et levures (Chung et Wei, 2001). Différents types de virus sont inhibés par les tanins hydrolysables et les tanins condensés (De Bruyne et *al.*, 1999).

Ils induisent la cicatrisation par différents mécanismes cellulaires, en favorisant la contraction de blessure, l'augmentation de la formation des vaisseaux capillaires (Lopes et *al.*, 2005). Ils ont de grandes capacités antioxydantes grâce à leurs noyaux (Peronny, 2005).

III.7. composition phytochimique de *Quercus suber* L.

Plusieurs études ont révélé la richesse du chêne liège en composés phénolique de molécules de faible poids moléculaire, dont les acides phénoliques, aldéhydes, ellagiques et tanins hydrolysables (Custódio et *al.*, 2013 ; Fernandes et *al.*, 2009).

L'écorce de *Q. suber* L. présente des quantités importantes de tanins, en particulier les ellagitanins (Fernandes et al., 2011 ; Touati et al., 2015), mais aussi catéchique, vanillique, férulique et enfin, l'acide gallique (Touati et al., 2015) et d'acide caféique, avec des concentrations plus faibles (Conde et al., 1998).

Sonia et al. (2015) ont pu identifier 15 composés phénoliques lors d'une étude poussée dont les tanins hydrolysables (acide ellagique et gallique), en tant que composant majoritaire dans l'extrait des feuilles du chêne liège. Cantos et al. (2003) ont révélés dans leurs études sur les extraits méthanoliques des glands de *Q. suber* trente-deux (32) composés phénoliques et tous étaient des dérivés d'acide gallique.

Quercus suber L. montre une teneur très élevée en subérine dans ses cellules de liège. Selon l'analyse histochimique des racines de *Quercus suber* L. les premiers signes de subérisation ont été observés dans l'endoderme. En effet au fur et à mesure que la racine mûrit, acquérant une coloration brune avec une formation de trois à quatre couches de cellules phellémiques subérisées (Machado et al., 2014).

CHAPITRE II
PARTIE EXPÉRIMENTALE

I. Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique

L'étude a été réalisée dans la forêt domaniale d'Azzouza située dans la commune de Zekri wilaya de Tizi-Ouzou. Elle couvre une superficie de 2155 ha, limitée au nord par la forêt de Tigrine et au sud par la commune de Beni Zekki, à l'ouest par la commune de Yakouren et à l'est par la commune d'Acif El Hemmam (Fig.18).

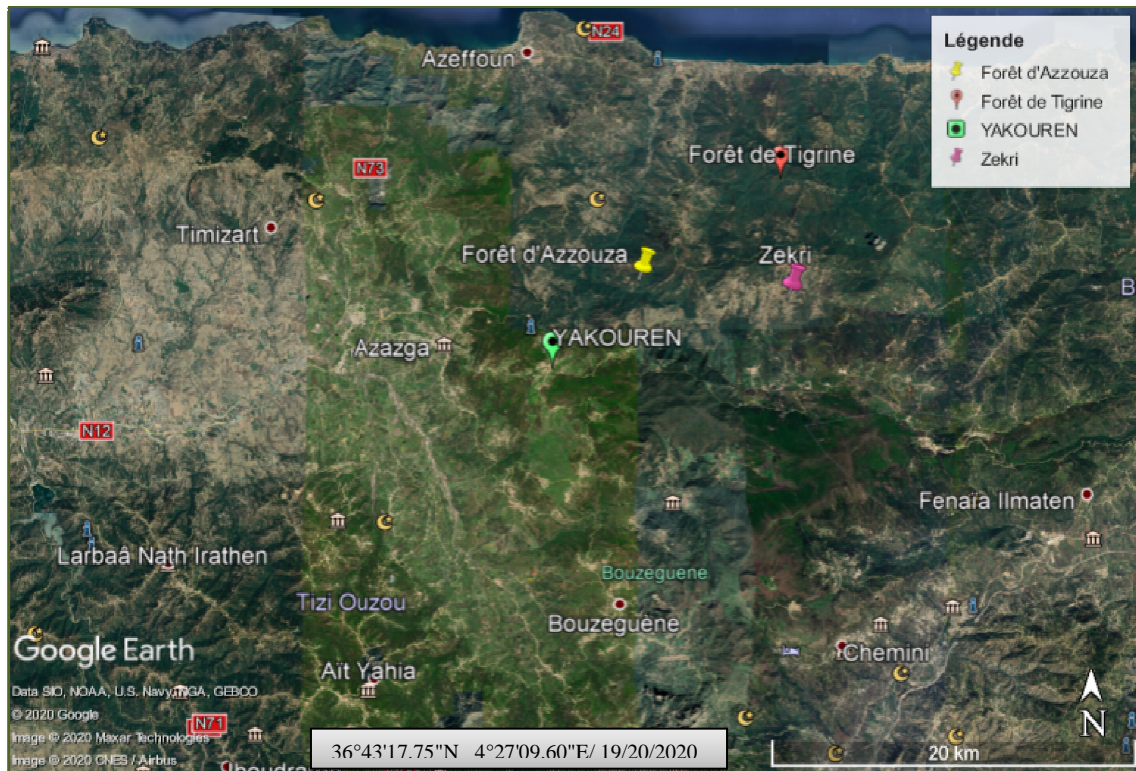


Figure 18. Localisation de la zone d'étude (Google Earth, 2020).

Tableau 3. Situation géographique de la zone d'étude.

Nom de station	Altitude (m)	Latitude	Longitude (°)	Pente (°)	Superficie (m)	orientation
Ait Hamad	800	E 004° 32' 40,1"	N 36° 47' 24,8"	0	50X50	N- E

2. Description du site d'étude

Cette étude est réalisée dans une jeune futaie régulière située sur une lithotoposéquence homogène, dans la forêt domaniale d'Azzouza (Fig. 19), dans le canton d'Ait Hamad à Zekri wilaya de TiziOuzou. Ce peuplement se trouve dans l'étage de végétation thermo-méditerranéen, avec un régime saisonnier de type HPAE. Elle est classée dans la zone bioclimatique subhumide à variante tempérée.

Des traces de pâturage ont été observées sur le terrain, ce qui révèle la dégradation des sols et du couvert végétal dans cet écosystème.

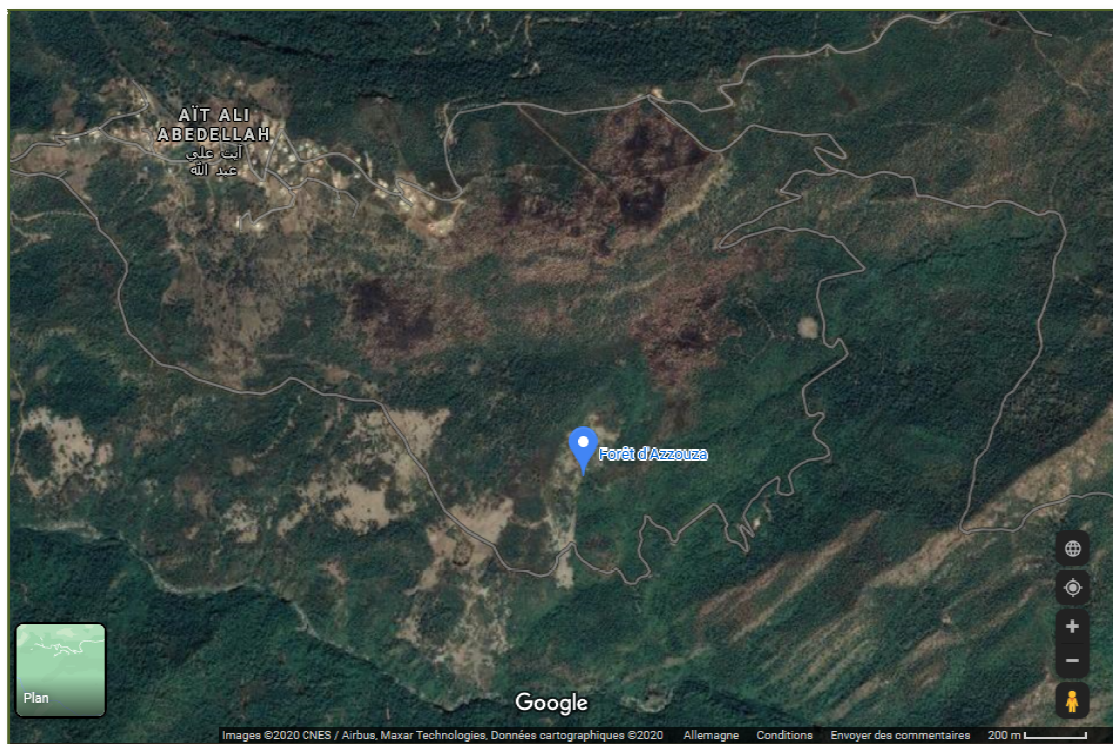









Figure 19. Localisation de la forêt domaniale d'Azzouza

Le sous-bois est dominé surtout par le cytise (*Cytisus triflorus*) qui atteint une hauteur de 1,5m associé aux ronces (*Rubus ulmifolius*). Nous avons observé la présence du diss (*Ampelodesma mauritanica*) qui est une espèce indicatrice des milieux dégradé. Ainsi que, la présence de quelques champignons.

Les principales espèces en contacts avec le chêne liège sont résumées dans le tableau4.

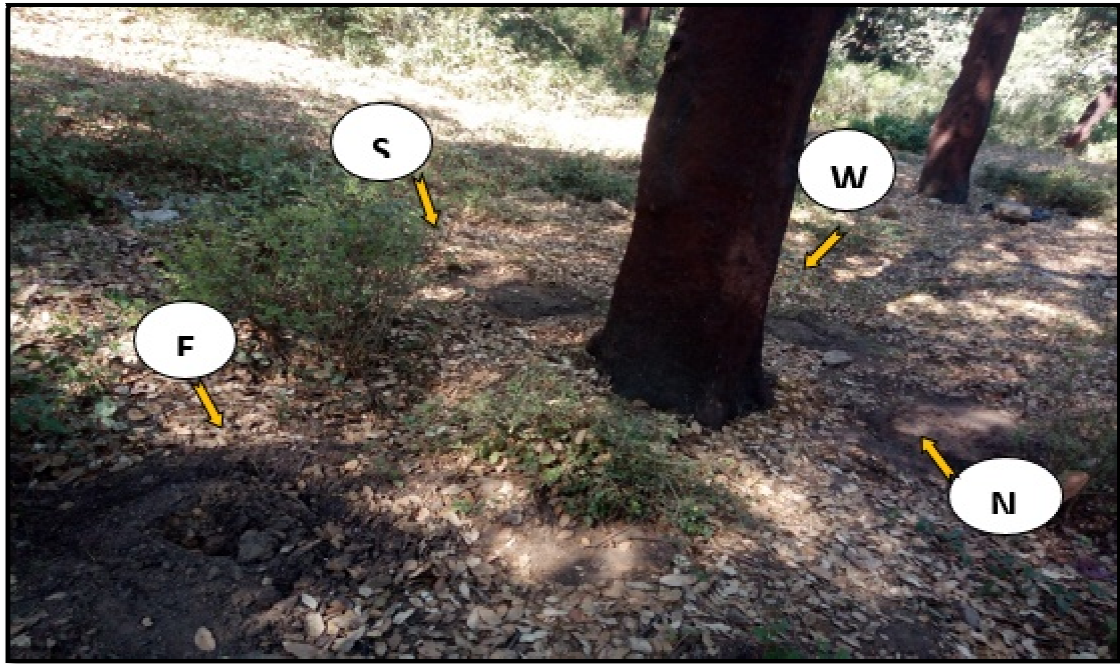
Tableau 4. Principaux espèces en contacts avec *Quercus suber* L.

Espèce		Figure
Nom commun	Nom scientifique	
Diss	<i>Ampelodesma mauritanica</i>	
Cytise	<i>Cytisustriflorus</i> = (<i>Cytisusvillosus</i>)	
Ronces	<i>Rubusulmifolius</i>	
La Bruyère	<i>Erica arborea</i>	
Coulemelle	<i>Macroleprotaprocera</i>	

<p>Armillaire</p>	<p><i>Armillariamellea</i></p>	
<p>Armillaire sans anneau</p>	<p><i>Armillariatabescens</i></p>	

II. Échantillonnage des racines

Dix (10) sujets de *Quercus suber* L. ont été choisis selon le protocole de Leroy, (1968) et Bonneau, (1988). Le principe de ces deux derniers est de choisir les arbres d'une unité homogène sur une superficie de 2500 m² au milieu du peuplement. Nous avons échantillonné le matériel végétal et les sols selon la méthode (Uterano et *al.*, 2000) avec un quadrat de 25X25X5 cm³. Les racines ont été récupérées dans des sachets en papier (Fig.21). Pendant deux saisons contrastées, à savoir la saison hivernale et estivale. Les prélèvements se sont faits en janvier et juillet respectivement pour l'année 2020. Sous chaque arbre quatre (04) points cardinaux ont été choisis autour du tronc sous la canopée (Fig.20).



a- Quatre (04) points cardinaux autour de tronc



b- Enlever la litière



c- Quadrat



C-



e- Racines



d- bêchage

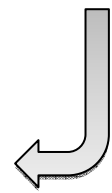


Figure 20. Méthodes d'échantillonnages des racines de *Q. suber* L. (Aissaoui et Guellal, 2020).



1- Racines



2-Récupération des racines dans un sachet à papier

Figure 21.Récolte des racines du chêne liège (Aissaoui et Guellal, 2020).

Au laboratoire, nous avons nettoyé toutes les racines à l'aide d'une brosse afin d'extraire tout le sol rhizosphérique et le rhizoplan (Fig.22). Elles sont étalées pour sécher à l'air libre et à l'abri de la lumière.



1. Nettoyage



2. Séchage

Figure 22.Nettoyage, séchage des racines du chêne liège (Aissaoui et Guellal, 2020).

Par la suite, nous avons pris une même biomasse racinaire pour chaque sujet échantillonné. Ces derniers sont mélangés soigneusement afin d'avoir un échantillon moyen homogène puis le réduire en poudre à l'aide d'un broyeur électrique (Fig.23). La poudre obtenue est entreposée dans un récipient en verre propre pour des analyses ultérieures.



Figure 23. Broyage des échantillons (Aissaoui et Guellal, 2020).

III. Dosage des polyphénols totaux

III.1. Préparation de la solution aqueuse

La solution aqueuse est une étape majeure dans l'utilisation ultérieure des composés phénoliques.

La solution aqueuse est préparée suivant le protocole élaboré par Mestar, (2019). L'analyse consiste à choisir deux quantités pour chaque saison (été et hiver), la première est de 1,25g et la seconde de 2,5g, de poudre des racines pour les concentrations C1 qui est de 50mg/ml et la C2 est de 100mg/ml. Ces dernières sont dissoutes dans 25ml d'eau distillée pour chacune. Suivi d'une agitation pendant 10 minutes. Le macérât obtenu est ensuite centrifugé à une vitesse de 14000 tours/min pendant 1h, puis filtrer, le surnageant est récupéré et conservé à 4°C pour les analyses ultérieures (Fig.24).

Afin d'estimer la quantité des polyphénols totaux dans les racines de *Q suber L.* pour chaque saison nous avons effectué 6 dilutions pour la C1 (Fig.25).

Chapitre II Partie Expérimentale



Figure 24. Protocole d'extraction aqueuse des racines du chêne liège (Mestar, 2019).

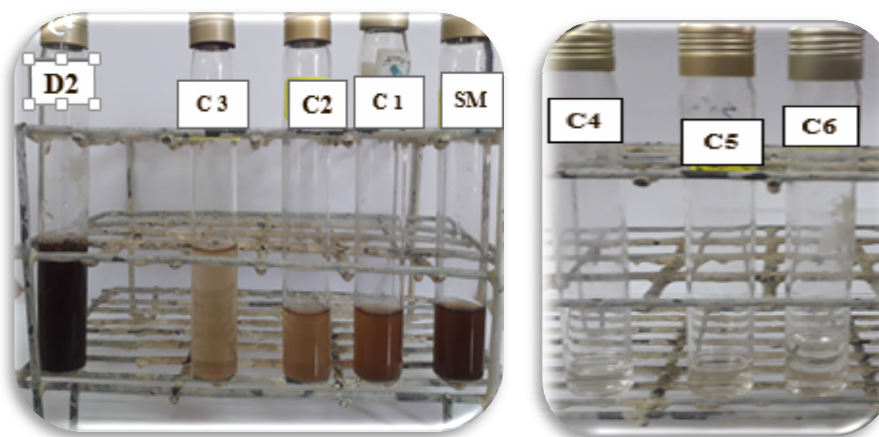


Figure 25. Protocole de dilutions (Mestar, 2019).

III.2. Dosage

III.2.1. Détermination des teneurs en polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué selon une méthode colorimétrique en utilisant le réactif Folin-Ciocalteu (FC), suivant le protocole décrit par Amezouar et *al.* (2013) avec quelques modifications. Une quantité de 200 μl de solution aqueuse (1 mg/ml) est mélangée avec 1 ml de Folin-Ciocalteu (dilué dix fois avec de l'eau distillée), après quelques minutes de réaction, 800 μl de carbonate de sodium Na_2CO_3 (75mg/ml) ont été ajoutés au mélange précédent. Trois (3) répétitions ont été effectuées. Le blanc constitué d'eau distillée plus 1 ml de Folin-Ciocalteu + 800 μl de Na_2CO_3 . L'ensemble des tubes ont été incubés pendant 2 heures à une température ambiante, la mesure de l'absorbance est réalisée à 765 nm (Fig.26)

Une gamme étalon allant de 10 à 100 $\mu\text{g/ml}$ a été préparée avec de l'acide gallique et les résultats sont exprimés en mg d'acide gallique par g de poudre végétale (mg EAG/gPV) en utilisant l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage tracée de l'acide gallique (Annexe 2).

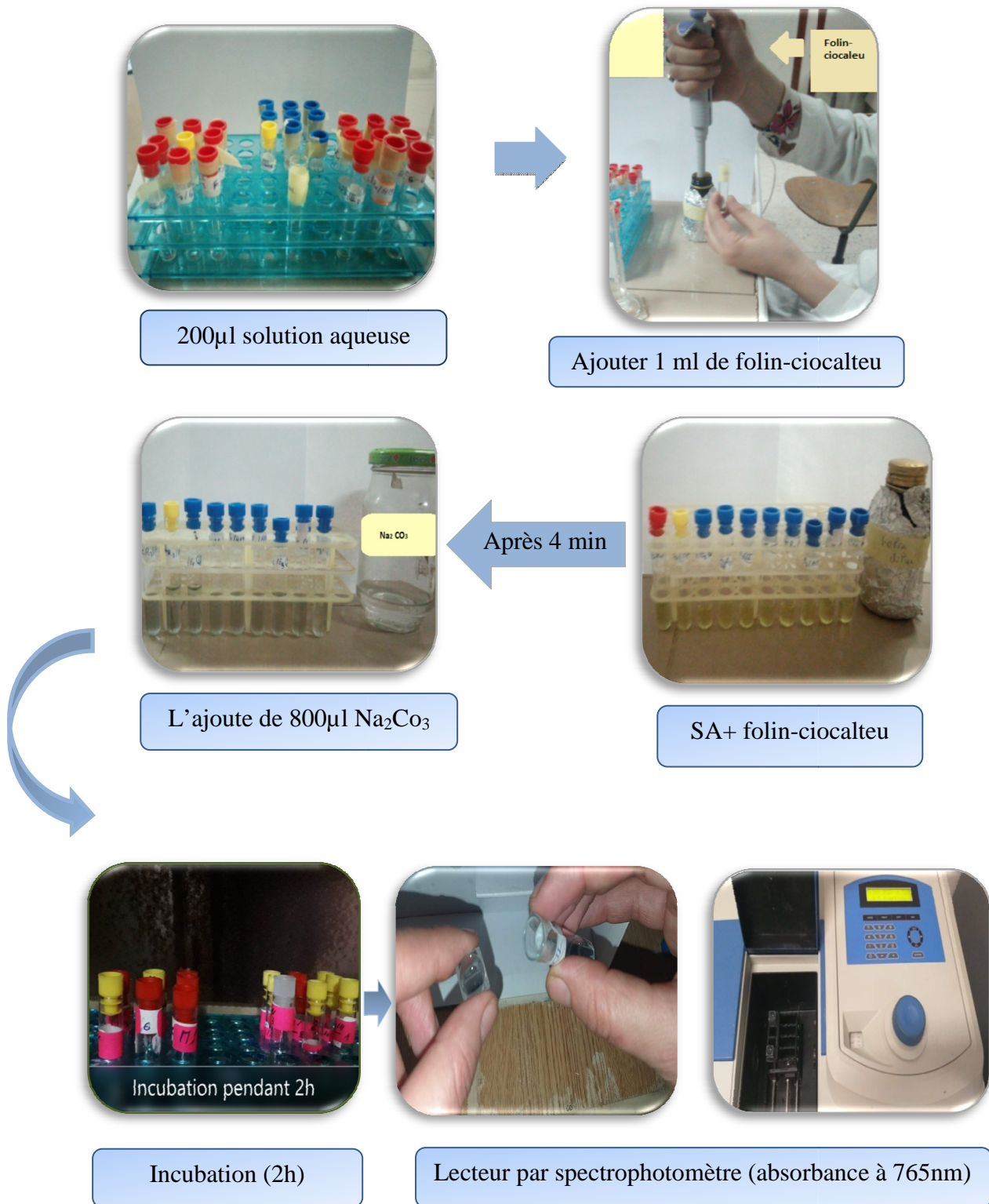


Figure 26. Protocole de dosage des polyphénols totaux (PPT).

IV. Analyse statistique

La concentration moyenne des teneurs en polyphénols d'une solution aqueuse des racines de *Quercus suber* L. est exprimée sur la base de trois mesures \pm EC. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA. Les comparaisons et la détermination des taux de signification sont faites par l'analyse du test d'ANOVA à un seul facteur. Les différences sont considérées statistiquement très hautement significatives au seuil de 5% ($p < 0,05$).

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. Détermination polyphénols totaux

L'étude phytochimique de deux solutions aqueuses (été et hiver) plus particulièrement en mois janvier et juillet, des racines de *Quercus suber* L.révèle la présence des composés phénoliques (PPT).

La figure 27 montre qu'il existe une variation saisonnière de la teneur en PPT. Les valeurs obtenues expriment une richesse de la teneur en polyphénols totaux dans les deux solutions.

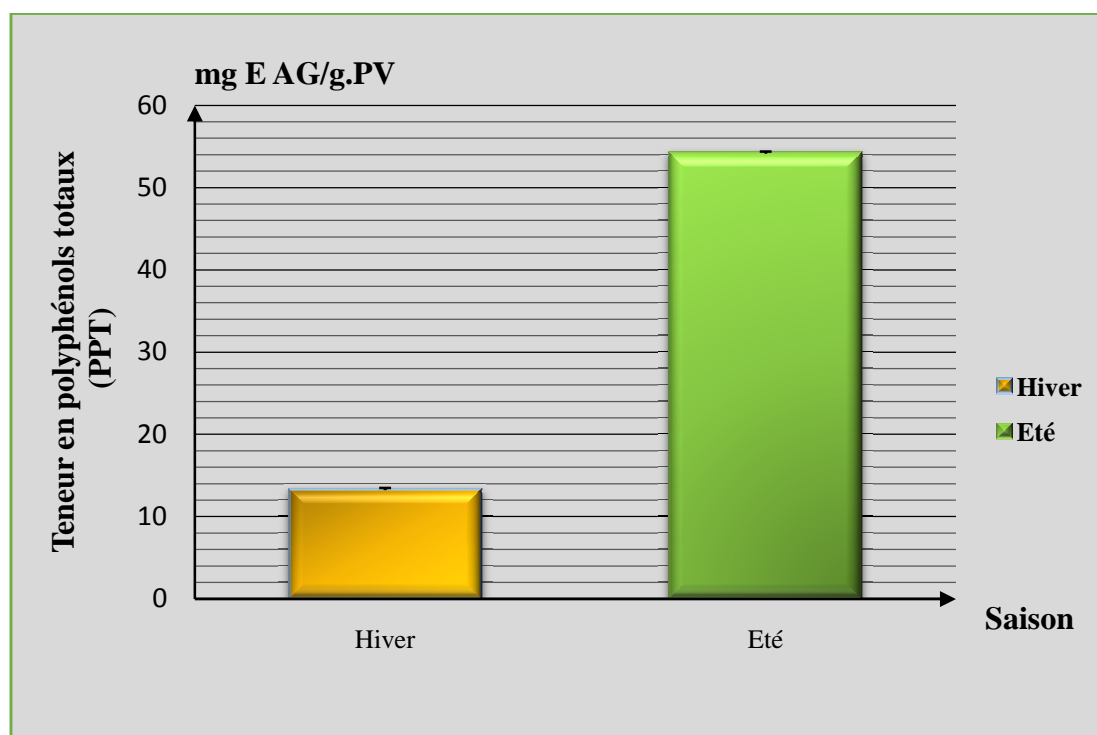


Figure27. Variation saisonnière des teneurs en polyphénols Totaux (PPT).

La teneur en PPT est de $54,147 \pm 0,713 \mu\text{gEAG/mg de PV}$ et $13,225 \pm 0,264 \mu\text{g EAG/mg de PV}$, respectivement pour la saison estivale (juillet)et hivernale(janvier) (Tab.5).La teneur la plus importante a été enregistrée dans la saison estivale elle est quatre (04) fois plus élevée que celle de l'hiver.

Les concentrations sont représentées dans le tableau N°5.

Tableau5. Concentration des polyphénols totaux des solutions aqueuses des racines de *Q. suber* L.

Saison	Concentration des PPT µg E AG/mg de PV
Eté (juillet)	54,41± 0.713
Hiver (janvier)	13,225± 0.264

L'analyse statistique a révélé une différence très hautement significative entre les teneurs en PPT pour chaque saison, vérifié par la valeur (p value = $0.000001 < \alpha$) (Annexe.3). Cependant, la saison affecte les teneurs totales en polyphénols retrouvés dans les racines de *Quercus suber* L. contrairement à ceux de Tuominen et Salminen, (2017), qui ont prouvés que les polyphénols des échantillons de racines de *Geranium sylvaticum*ne présentent pas de variation saisonnière statistiquement significative.

La teneur en PPT de la saison estivale est plus élevée. Cela pourrait être due au climat méditerranéen caractérisé par des étés chauds ou très chauds avec l'existence d'une saison sèche, relativement longue avec de faibles précipitations voire nulles (Peñuelas et al., 1998 ; Gil-Pelegrín et al., 2017). La saison sèche peut s'étaler quelques fois sur cinq mois (de mai à octobre) en Algérie et parfois sur plusieurs années, exposant les espèces végétales à de fortes radiations solaires ce qui se traduit par un stress hydrique et thermique (Quézel et Médail, 2003).

La majorité des études se sont concentrées sur les effets de la sécheresse sur les parties aériennes de *Quercus suber* L. En raison du manque de travaux de cette espèce sur les teneurs en PPT des solutions aqueuses racinaires, nous avons abordés un éventuel rapprochement entre nos résultats et ceux enregistrés pour les solutions aqueuses d'autres espèces.

Chaves et al., (2011) et Almeida et al., (2020) ont montré que le chêne liège est vulnérable. Il est sensible à plusieurs facteurs abiotiques tels que la température. Aussi, certains métabolites totaux ont été trouvés à des concentrations plus élevées dans les exsudats racinaires de *Quercus ilex* soumises à un stress de sécheresse. Gargallo- Garriga et al., (2018) et Chemielewska et al., (2016), ont prouvé l'effet de la sécheresse sur les métabolismes des feuilles et des racines de *Hordum vulgare*, d'où l'augmentation des métabolites secondaires.

Une accumulation de composés phénoliques totaux est observée dans les racines de la vigne au moment de la sécheresse avec une valeur de 891 mg/ g. Elle est plus faible hors cette saison (222 mg/ g) (Krol et al., 2014).

Selon Kraus (2003), la concentration des PPT des racines est toujours inférieure à celle des feuilles de *Bolander Pine. Huckleberry. Labrador Tea*. Ceci était enregistré par Mokri et Moubarek, (2020) pour des solutions foliaires de *Q. suber L.* Contrairement aux travaux effectués par Petridis et al, (2012), les concentrations de PPT au niveau des feuilles et les racines d'olivier ont été similaires (tab.7).

Une comparaison de la teneur en PPT des racines durant la saison hivernale aux autres organes végétaux de *Q. suber L.* a permis de déduire que les autres parties à savoir, les glands les feuilles et le liège, présentent des teneurs plus élevées à celles des racines (tab 6).

Tableau 6. Comparaison des teneurs en PPT des organes végétaux de *Quercus suber L.*

Organe végétatif	Teneur en PPT de la solution aqueuse	Auteurs
Glands	66 – 77 mg EAG/ g de MS	Igueld et al., (2015)
Feuilles	61.2 ± 1.5 mg EAG / g d'extrait	Custódio et al., (2014)
	45.65 ± 0.56 µg E AG /g PV (Hiver)	Mokri et Moubarek, (2020)
Liège	17 ± 0.2 mg EAG/ g d'extrait	Custódio et al., (2014).
Racines	13.225 ± 0.264 µg EAG /mg de PV(Hiver)	Aissaoui et Guellal, (2020)

Nous avons constaté que *Quercus suber L* répond différemment aux changements climatiques (sécheresse et froid). Selon Gabbo-Neto et Lopes (2007) et Ncube et al. (2010), la variation est probablement liée aux caractéristiques climatiques différentes au cours des deux saisons. Car les métabolites sont influencés de plusieurs façons. Larcher, (2004) ; Taiz et Zeiger, (2004) ; Ncube et al. (2010), ont trouvé des variations dans la production des polyphénols chez les espèces *Tulbaghiaceae*, *Hypoxis hemerocallidea*, *Merwillaplumbea* et *Drimys robusta* selon les saisons. L'explication réside dans les différences climatiques.

D'autres auteurs Ma et al., (2003); Brooks et Feeny., (2004); Ercisli et al., (2008); Ruiz-Terán et al., (2008); Santos et Kaye., (2009) ; Siatka ; Kašparová., (2010) et Chavarria et al. (2011), ont également attribué la variation de la production de métabolites secondaires au niveau des fleurs à des facteurs environnementaux.

La quantification de la teneur en PPT des racines dans les deux saisons contrastées (été et hiver) nous ont permis de montrer l'influence des facteurs abiotiques dont la sécheresse et

le froidsurla teneur en PPT. Des résultats similaires ont été rapportés par Bentabet et *al.* (2014) qui ont effectué une étude phytochimique sur les racines de *Fredolia aretioides*.

Selon Soni et *al.* (2015), suite à une étude réalisée sur le contenu phénolique total des feuilles de *Cmelia sinensis* pendant deux récoltes (Mai et juillet), la teneur en composés phénoliques totaux a augmenté au mois de juillet (80,69 µg/mg d'extrait de MS) et diminué au mois de mai (59,44 µg/mg d'extrait de MS) (tab.7).

Tableau 7. Teneurs en polyphénols totaux trouvés par d'autres chercheurs

Espèce	Partie végétale	Teneur en PPT	Auteurs
Chêne liège	Feuilles	45,65 ± 0,56 µg E AG / g PV (janvier)	Mokri et Moubarek, (2020)
		98,48 ± 0,61 µg E AG / g PV (juillet)	
Olivier	Racines	18 mg E AG/g	Petridis et <i>al.</i> , (2012)
	Feuilles	25 mg E AG/g	
Bolander Pine	Racines	20%	Kraus (2003)
Huckleberry	Racines	24%	
Labrador Tea	Racines	33%	
<i>Fredolia aretioides</i>	Racines	971,05 ± 0,83 mg E AG/g (Décembre)	Bentabet, et <i>al.</i> (2014)
<i>Cmelia sinensis</i>	Feuilles	59,44 µg/mg d'extrait de MS (mai)	Soni et <i>al.</i> (2015)
		80,69 µg/mg d'extrait de MS (juillet)	
Calluna	Racines	2,2% (janvier)	Jalal et <i>al.</i> , (1982).
		2,9% (juillet)	

Gunn et Farrar, (1999), ont démontré que la température affecte la masse totale de la plante et la respiration des racines ce qui entraîne une élévation des métabolites secondaires.

Sachant que le *Quercus suber* L. est une espèce ectomycorhizienne (Daoudi et al., 2016), en effet l'augmentation de la teneur en polyphénols durant la saison estivale pourrait être due à la présence d'une population indigène de champignons mycorhiziens.

Les teneurs en PPT enregistrés avec la solution aqueuse des racines de *Quercus suber* L. sont moins importants que ceux obtenus par Benjelloun et al. (2014), qui a montré pour la première fois l'effet de l'infection mycorhiziens sur les teneurs en phénols totaux et en tanins condensés des racines de maïs en conditions de déficit hydrique. Dans les parties racinaires des plantes de maïs non stressées, le contenu en phénols totaux (PT) chez les plantes mycorhizées (M) (367 µg/g MF) est plus élevé par rapport à la teneur en PPT chez les plantes non mycorhizées (NM) (296 µg/g MF). Après deux semaines de stress hydrique, le contenu en (PPT) augmente significativement est atteint des valeurs de 729 (µg/ g MF) chez les plantes NM et de 1179 (µg/ g MF) chez les plantes mycorhizées.

Cette étude montre que la mycorhization diminue dans des conditions de sécheresse, ce qui a été prouvé par Daoudi et al, (2016) chez *Quercus suber* L, de même une variation saisonnière de la composition et la quantité des composés phénoliques des racines michoryzées de *Calluna* varient considérablement selon les saisons. Le plus petit nombre de phénols était présent en janvier (2.2% teneur en PPT), le plus grand était présenté juillet (9,5% teneur en PPT)(Jalal et al., 1982).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE

Les formations arbustives et les forêts méditerranéennes doivent faire face à une combinaison de plusieurs facteurs de stress abiotiques et biotiques. Un seul agent de stress provoque des changements dans plusieurs paramètres.

Lorsque les facteurs de stress se produisent, les plantes réagissent d'une manière plus compliquée. La capacité de la plupart des plantes à survivre dans un environnement défavorable est attribuée à des stratégies morphologiques, biochimiques, et anatomiques.

Le chêne liège est une espèce cible de choix par son intérêt économique (liège), c'est une espèce représentative de la végétation d'Algérie, très exposée aux températures extrêmes.

Les facteurs environnementaux activent des réponses qui entraînent des changements dans les métabolites secondaires de cette espèce.

C'est dans ce contexte que nous sommes intéressés à l'évaluation des teneurs en polyphénols totaux des racines de *Quercus suber* L. récoltées durant deux saisons contrastées hivernale (mois de janvier) et estivale (mois de juillet) en Algérie dans la wilaya de Tizi-Ouzou, commune Zakeri. Ce travail a été effectué afin de soulever les effets du stress climatiques sur la teneur en polyphénols totaux au niveau des racines.

L'identification des composés phénoliques des racines de *Q suber* L. durant deux mois contrastés a permis de déduire que les racines de *Q suber* L. récoltées en été sont plus riches en polyphénols totaux contrairement aux racines récoltées en hiver. En effet sous un stress abiotique on remarque une accumulation de composés phénoliques dans les racines du chêne liège.

Le stress abiotique influence la teneur en polyphénols totaux des racines de *Quercus suber* L. qui possèdent des activités biologiques intéressantes.

En conclusion, nous avons constaté qu'il existe une variation saisonnière de la teneur en polyphénols totaux en fonction de la saison dans laquelle les racines de *Quercus suber* L. ont été récoltées.

En perspective, il serait intéressant de compléter cette étude avec une analyse phytochimique plus approfondie, à fin de :

- Déterminer d'autres composés phénoliques totaux.
- Evaluer l'activité antioxydante des deux solutions aqueuses des racines de *Q suber* L.
- Etudier les possibles activités biologiques afin de mettre en évidence d'éventuelles activités : anti inflammatoire, antimicrobienne.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographique

- **Adjami, Y., Ghanem, R., Daas, H., Ouakid, M., Villar, J., & Bairi, A. (2019).** Influence of carpophagous attack on metabolites of cork oak (*Quercus suber*) acorns. *Türkiye Ormançılık Dergisi*, 17, 51-57.
- **Akula, R., & Ravishankar, G. A. (2011).** Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant signaling & behavior*, 6(11), 1720-1731.
- **Alaoui* A., Laariby S. Ab (2017).** Etude ethnobotanique et floristique dans les communes rurales Sehoul et Sidi-Abderrazak (cas de la Maamora-Maroc Septentrional). *Nature & Technology. Vol. B : Agronomic & Biological Sciences*, 15-24.
- **Almeida, T., Pinto, G., Correia, B., Gonçalves, S., Meijón, M., & Escandón, M. (2020).** In-depth analysis of the *Quercus suber* metabolome under drought stress and recovery reveals potential key metabolic players. *Plant Science*, 299, 110606.
- **Amezouar F., Badri W., Hsaine M., Bourhim N. & Fougrach H. (2013).** Évaluation des activités antioxydante et anti-inflammatoire d'*Erica arborea* L. du Maroc. *Pathologie Biologie*, 61(6): 254-258.
- **Ammar H., S. Lopez, S., Gonzalez, J.S (2005).** Assessment of the digestibility of some Mediterranean shrubs by in vitro techniques. *Animal Feed Science and Technology*. ; 119: 323–331.
- **Apel K, Hirt H (2004)** Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu Rev Plant Biol* 55: 373–399.
- **Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., et Hayat, S. (2020).** Changements physiologiques et biochimiques induits par la salinité chez les plantes: une approche omique de la tolérance au stress salin. *Physiologie végétale et biochimie*, 156, 64-77.
- **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.
- **Awasthi R, Kaushal N, Vadez V, Turner NC, Berger J, Siddique KHM, Nayyar H (2014)** Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. *Funct Plant Biol* 41: 1148–1167.
- **Aziz, E.E., Hendawi, E. & Omer E.A. (2008).** Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield and constituents of *Thymus vulgaris* plant. *American-Eurasian J Agr & Env Sci* 4:443-450.
- **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 scenarios. *Mycorrhiza* 20 (2), 73–88. doi:10.1007/s00572-009-0261-2
- **Azzi, A., Davies, K. J. A., Kelly, F. (2004).** Free radical biology- terminology and critical thinking. *FEBS Letters*. 558: 3–6.
- **Baba, S. A., & Malik, S. A. (2015).** Determination of total phenolic and flavonoid content, antimicrobial and antioxidant activity of a root extract of *Arisaema jacquemontii* Blume. *Journal of Taibah University for Science*, 9(4), 449-454.

Références bibliographique

- **Babenko, L. M., Romanenko, K. O., Kosakivska, I. V., Smirnov, O. E., & Trunova, O. K. (2019).** Phenolic compounds in plants: Biogenesis and functions. *The Ukrainian Biochemical Journal*, 91(3), 5-18.
- **Barberis, A., Dettori, S., Filigheddu, M.R., (2003).** Management problems in Mediterranean cork oak forests: post fire recovery. *Journal of Arid Environments* 54, 565–569.
- **Bellakhdar J (2006)** Plantes médicinales au Maghreb et soins de base (Précis de phytothérapie moderne). Éditions Le Fennec, Casablanca (Maroc), ISBN: 9954-415-31-9, p. 386
- **Bennick, A. (2002).** Interaction des polyphénols végétaux avec les protéines salivaires. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 13 (2), 184-196.
- **Bentabet, N., Boucherit-Otmani, Z., & Boucherit, K. (2014).** Composition chimique et activité antioxydante d'extraits organiques des racines de *Fredolia aretioides* de la région de Béchar en Algérie. *Phytothérapie*, 12(6), 364-371.
- **Bekdouche, F. (2010).** Evolution après feu de l'écosystème subéraie de kabylienne (nord algérien) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Bekrarchouch H et Bendahmane Y, (2009)-** Contribution à l'étude de l'effet de l'embroussaillage sur l'état sanitaire du chêne liège (*Quercus suber* L). Dans la forêt domaniale de M'Sila (w Oran). Mémoire d'ingénieur d'état en écologie végétale et environnement, Djilali Liabès Sidi-Bel-Abbès. 73 p
- **Boavida, L.C., Varela, M.C., Feijó, J.A (1999).** Sexual reproduction in the cork oak (*Quercus suber* L.). I. The progametic phase. *Sexual Plant Reproduction* 11, 347–353.
- **Boizot N., and Charpentier .J.P. (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre fougère. Le cahier des techniques de l'Inra. (cited in Djemai Zoueglache S, 2008). pp79-82.
- **Bonneau M. (1988).** Le diagnostic foliaire. *Revue Française Forestière*. XL- n°sp : 19-28.
- **Bouhraoua, R. T., Piazzetta, R., & Berriah, A. (2014).** Les reboisements en chêne-liège en Algérie, entre contraintes écologiques et exigences techniques. *Forêt méditerranéenne*.
- **Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., & Gontier, E. (2001).** Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. *Plant science*, 161(5), 839-851.
- **Brooks JS, Feeny P (2004).** Seasonal variation in *Daucus carota* leaf-surface and leaf-tissue chemical profiles. *Biochem. Systemat. Ecol.* 32:769–782.
- **Broussaud-le-strat .F, 2002.** Chênes à glands doux .Synthèse du réseau Tela Botanica, 2001.
- **Bruneton, J. (1993).** Pharmacognosie : phytochimie plantes médicinales (No. 581.634 B7).
- **Brzozowska, J., Hanower, P., & Tanguy, J. (1973).** Polyphenols des feuilles de cotonniers et influence sur leur composition d'un choc hydrique ou nutritionnel. *Phytochemistry*, 12(10), 2353-2357

Références bibliographique

- **Bugalho, M. N., Caldeira, M. C., Pereira, J. S., Aronson, J., & Pausas, J. G. (2011).** Mediterranean cork oak savannas require human use to sustain biodiversity and ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(5), 278-286.
- **Boudy, P., (1955)** Economie forestière nord-africaine. Tome 4 : Description forestière de l'Algérie et la Tunisie. Larose, Paris, 483p.
- **Cvender-Bares, J., Cortes, P., Rambal, S., Joffre, R., Miles, B., Rocheteau, A., (2005).** Summer and winter sensitivity of leaves and xylem to minimum freezing temperatures: a comparison of co-occurring Mediterranean oaks that differ in leaf lifespan. *New Phytologist* 168, 597–61.
- **Canelo, T., Gaytan, A., GONZÁLEZ BORNAY, G., & Bonal, R. (2018).** Seed loss before seed predation: experimental evidence of the negative effects of leaf feeding insects on acorn production. *Integrative zoology*, 13(3), 238-250.
- **Camus A., 1936** – Les Chênes : Monographie du genre Quercus, I-II.P. Le chevalier ed, Paris.
- **Cantos, E., Espín, J. C., López-Bote, C., de la Hoz, L., Ordóñez, J. A., & Tomás-Barberán, F. A. (2003).** Phenolic compounds and fatty acids from acorns (*Quercus* spp.), the main dietary constituent of free-ranged Iberian pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(21), 6248-6255.
- **Carmo-Silva AE, Gore MA, Andrade-Sanchez P, French AN, Hunsaker DJ, Salvucci ME (2012)** Decreased CO₂ availability and inactivation of Rubisco limit photosynthesis in cotton plants under heat and drought stress in the field. *Environ Exp Bot* 83: 1–11.
- **Cermak, R., Follmer, U., Wolfram, S. (1998).** Dietary flavonol quercetin induces chloride secretion in rat colon. *Am J Physiol*. 275: G1166–G1172.
- **Cesarini J-P. (2004).** Le Sélénium : actualité. 2em éd. John Libbey eurotext.145p.
- **Chaouche, T. M. (2014).** Contribution à l'étude des activités antimicrobiennes des extraits de de quelques plantes médicinales (Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat d'état, 2014, Université de Tlemcen).
- **Chavarria G, Bergamaschi H, Silva LC, Santos HP, Mandelli F, Guerra CC, Flores CA, Tonietto J (2011).** Water relations, yield and phenolic compounds of grapevines cv. Cabernet Sauvignon in three soil types. *Bragantia* 70:481-487.
- **Chaves, I., Passarinho, J. A. P., Capitão, C., Chaves, M. M., Fevereiro, P., & Ricardo, C. P. (2011).** Temperature stress effects in *Quercus suber* leaf metabolism. *Journal of plant physiology*, 168(15), 1729-1734.
- **Chmielewska, K., Rodziewicz, P., Swarczewicz, B., Sawikowska, A., Krajewski, P., Marczak, Ł., ...& Stobiecki, M. (2016).** Analysis of drought-induced proteomic and metabolomic changes in barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves and roots unravels some aspects of biochemical mechanisms involved in drought tolerance. *Frontiers in plant science*, 7, 1108.
- **Chung K-t., Wei C-I. (2001)** Are tannins a double-edged sword in biology and health? *Trends in Food Science and Technology*, 9, 168-175.
- **Clark, R. J., & Menary, R. C. (1980).** Environmental effects on peppermint (*Mentha piperita* L.). II. Effects of temperature on photosynthesis, photorespiration

Références bibliographique

- and dark respiration in peppermint with reference to oil composition. *Functional Plant Biology*, 7(6), 693-697.
- **Clérivet, A., Alami, I., Breton, F., Garcia, D., & Sanier, C. (1996).** Les composés phénoliques et la résistance des plantes aux agents pathogènes. *Acta botanica gallica*, 143(6), 531-538.
 - **Collier (P.D.), Mallows (R.) (1971).** The estimation of flavanols in tea by gas chromatography of their trimethylsilyl derivatives. In : *Journal of Chromatography*, 57, 1971, pp. 29-45.
 - **Conde E., Cadahia E., Garcia-Vallejo M.C., Fernandez de Simon B(1998).** Polyphenolic Composition of *QuercusSuber* Cork from Different Spanish Provenances. *J. Agric. Food Chem.*; 46: 3166-3171.
 - **Costa, R., Lourenço, A., Oliveira, V., & Pereira, H. (2019).** Chemical characterization of cork, phloem and wood from different *Quercus suber* provenances and trees. *Heliyon*, 5(12), e02910.
 - **Cowan M.M. (1999).** Plant products as antimicrobial agents. *ClinicalMicrobiologyReviews*. 12: 564-582.
 - **Crozier, A., Clifford, M.N., Ashihara, H. (2006).** *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet.* Edt Blackwell Publishing Ltd.
 - **Cushnie, TT et Lamb, AJ (2005).** Activité antimicrobienne des flavonoïdes. *Revue internationale des agents antimicrobiens*, 26 (5), 343-356.
 - **Custódio, L., Patarra, J., Alberício, F., Neng, N. R., Nogueira, J. M. F., & Romano, A. (2013).** Extracts from *Quercus* sp. acorns exhibit in vitro neuroprotective features through inhibition of cholinesterase and protection of the human dopaminergic cell line SH-SY5Y from hydrogen peroxide-induced cytotoxicity. *Industrialcrops and products*, 45, 114-120.
 - **Daoudi, H., Derridj, A., Hannachi, L., & Mevy, J. P. (2016).** Growth, ectomycorrhization and biochemical parameters of *Quercus suber* L. seedlings under drought conditions. *African Journal of Biotechnology*, 15(38), 2082-2090.
 - **Davies, K. J. (2000).** Oxidative stress, antioxidant defenses, and damage removal, repair, and replacement systems. *IUBMB Life*. 50: 279-89.
 - **De Bruyne T., Pieters ., Deelstra H., Vlietink A. (1999)** Condensed vegetable tannins : Biodiversity and biological activities. *Biochemical Systematics and Ecology*, 27 ,445-459.
 - **De Groot, H., Rauen, U. (1998).** Tissue injury by reactive oxygen species and the protective effects of flavonoids. *FundamClin Pharm.* 12: 249-255.
 - **Deaton C-M. et Marlin D-J. (2003).** Exercise-Associated Oxidative Stress. *Clinical Techniques in Equine Practice*. Vol 2. 3: 278-291.
 - **Demoffarts B., Kirschvink N., Pincemail J. et Lekeux P. (2005).** Impact physiologique et pathologique du stress oxydant chez le cheval. *Annales de médecine vétérinaire*. 149: 1-9.
 - **Dewick, PM (1995).** La biosynthèse des métabolites du shikimate. *Rapports sur les produits naturels*, 12 (2), 101-133
 - **DGF. (2003).** Direction Générale des Forêts de la Wilaya de Tizi Ouzou.

Références bibliographique

- **Díaz-Fernandez, P. M., J. Climent, and L. Gil. (2004)** Biennial acorn maturation and its relationship with flowering phenology in Iberian populations of *Quercus suber*. *Trees Structure and Function* 18 :615–621.
- **DICKIE, I. A. N., & Reich, P. B. (2005).** Ectomycorrhizal fungal communities at forest edges. *Journal of Ecology*, 93(2), 244-255.
- **Dixon RA, Paiva N (1995).** Stressed induced phenyl propanoid metabolism. *Plant Cell*; 7:1085-97; PMID: 12242399; DOI: 10.1105/tpc.7.7.1085.
- **DOAT (J.) (1978)** - Les tannins des bois tropicaux. In : Bois et forêts tropiques, 182, Nov.Déc. pp.38-57.
- **El Ghazali, G.E.B., (2020).** *Suaeda vermiculata* Forssk. ex J.F. Gmel.: structural characteristics and adaptations to salinity and drought: a review. *Intermt. J. Sci.* 9, pp28–33.
- **Elena-Roselló, J. A., R. Lumaret, E. Cabrera, and H. Michaud.(1992)** Evidence for hybridization between sympatric holm-oak and cork-oak in Spain based on diagnostic enzyme markers. *Vegetatio* 99–100:115–118.
- **Ercisli S, Orhan E, Ozdemir O, Sengul M, Gungor N (2008).** Seasonal variation of Total Phenolic, Antioxidant Activity, Plant Nutrition Elements, and Fatty Acids in Tea Leaves (*Camellia sinensis* var *sinensis* clone Derepazari 7) Grown in Turkey. *Pharm. Biol.* 26:683-687.
- **Escudero, A. Delarco, J.M., Sanz, I.C., Ayala, J., (1992).** Effects of leaf longevity and retranslocation efficiency on the retention time of nutrients in the leaf biomass of different woody species. *Oecologia* 90, 80–87.
- **FAO, (2013).** Etats des forets méditerranéennes 2013 (WWW.Fao.org/Publications)
- **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.
- **Fernandes, A., Fernandes, I., Cruz, L., Mateus, N., Cabral, M., & de Freitas, V. (2009).** Antioxidant and biological properties of bioactive phenolic compounds from *Quercus suber* L. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(23), 11154-11160.
- **Fleeger, J. L., & Flipse, R. J. (1964).** Metabolism of bovine semen. XIII. Malonic acid metabolism by bovine spermatozoa. *Journal of Dairy Science*, 47(5), 535-538.
- **Forests. Soil Science & Plant Nutrition Florestais e Aquícolas, Lisboa 24, ~233-243.**
- **Forkmann, G. et Martens, S. (2001).** Ingénierie métabolique et applications des flavonoïdes. *Opinion actuelle en biotechnologie*, 12 (2), 155-160.
- **Gargallo-Garriga, A., Preece, C., Sardans, J., Oravec, M., Urban, O., & Peñuelas, J. (2018).** Root exudate metabolites change under drought and show limited capacity for recovery. *Scientific reports*, 8(1), 1-15.
- **Ghasemzadeh, A., & Ghasemzadeh, N. (2011).** Flavonoids and phenolic acids: Role and biochemical activity in plants and human. *Journal of medicinal plants research*, 5(31), 6697-6703.
- **Ghouil, H., Montpied, P., Epron, D., Ksontini, M., Hanchi, B., Dreyer, E. (2003).** Thermal optima of photosynthetic functions and thermostability of photochemistry in cork oak seedlings. *Tree Physiology* 23, 1031–1039.

Références bibliographique

- **Gil, L., & Varela, M. C. (2008).** EUFORGEN Technical guidelines for genetic conservation and use for cork oak (*Quercus suber*). Bioversity International. Rome, Italy, 6.
- **Gil-Pelegrín, E., Peguero-Pina, J. J., & Sancho-Knapik, D. (Eds.). (2017).** Oaks Physiological Ecology: Exploring the Functional Diversity of Genus *Quercus* L (Vol. 7). New York, NY: Springer.
- **Gilroy, S., Suzuki, N., Miller, G., Choi, W.-G., Toyota, M., Devireddy, A. R., and Mittler, R. (2014).** A tidal wave of signals: calcium and ROS at the forefront of rapid systemic signalling. *Trends Plant Sci.* PP 623–630.
- **Gobbo-Neto L, Lopes NP (2007).** Medicinal Plants: factors of influence on the content of secondary metabolites. *Quím. Nova.* 30:374-381.
- **Gómez L., Allona I., Ramos A., Núñez P., Ibáñez C., Casado R. and Aragoncillo C. (2005).** 127 Molecular responses to thermal stress in woody plants. *Invest Agrar: Sist. Recur. For.*, **14(3)**:307-317
- **Gunn, S. et Farrar, JF (1999).** Effets d'une augmentation de température de 4 ° C sur la répartition de la surface foliaire et de la masse sèche, la respiration des racines et les glucides. *Écologie fonctionnelle*, 13, 12-20.
- **Habellah, R. M., Karoune, S., Kechebar, M. S. A., & Bounab, H. (2016).** Etude des composés phénoliques et des activités antioxydantes de l'Acacia ehrenbergiana de la région de Tindouf. *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)* No, 13(1).
- **Halliwell, B., Aruoma, O.I. (1993).** DNA damage by oxygen-derived species: its mechanism and measurement using chromatographic methods. In *Molecular Biology of Free Radicals Scavenger System.* (JG Scandalios, ed). Cold Spring Harbor Laboratory Press. New York. 47–67.
- **Hamidi, O., Talbi, Z., Chliyah, M., Touhami, A. O., Selmaoui, K., Benkirane, R., & Douira, A. (2017).** Effect of Endomycorrhizal Inoculation on the Young Cork Oak Plants (*Quercus suber*) Growth. *Annual Research & Review in Biology*, 1-11.
- **Häring D.A. 2007.** “Determinants of tannin concentrations in forage plants. Agronomic potential of tanniferous forage plants”, dissertation ETH, Diss ETH No. 17237.
- **Hartmann, A., Niess, A. M. (2000).** Oxidative DNA damage in exercise. In: Sen CK, Packer, L. Hanninen, O., editors. *Handbook of Oxidants and Antioxidants in Exercise.* Amsterdam:Elsevier. p. 195–217.
- **Haslam (E.), Opie (C.T.), Porter (L.J.), (1977)** -Procyandin metabolism. A hypothesis. In: *Phytochemistry*, 16, pp. 99-102.
- **Haslam E. (1994).** Natural polyphenols (vegetable tannins): Gallic Acid metabolism. *Nat. Prod.*, 11: 41-66.*.
- **Havsteen, BH (2002).** La biochimie et la signification médicale des flavonoïdes. *Pharmacologie et thérapeutique*, 96 (2-3), 67-202.
- **Hayouni E-A., Abedrabba M., Bouix M. et Hamdi M. (2007).** The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian *Quercus coccifera* L. and *Juniperus phoenicea* L. Fruit extracts. *Food Chemistry*. 105: 1126–1134.

Références bibliographique

- **Heimeur, N., Idrissi Hassani, L. M., & Amine Serghini, M. (2004).** Les polyphénols de *Pyrus mammosalis* (Rosaceae). *Reviews in biology and biotechnology*, 3, 37-42
- **Heo H-J., Kim Y-J., Chung D. ET Kim D-O. (2006).** Antioxidant capacities of individual and combined phenolics in a model system. *Food Chemistry*. 104: 87–92
- **Herbert, R.B. (1989).** The biosynthesis of secondary metabolites. 2ème édition Chapman and Hall pp, 11-115.
- **Hmamouchi, M. & Agoumi, A. (1993):** Place des plantes médicinales dans le système de santé au Maroc. Premier congrès international des plantes médicinales et phytothérapie. 17 p. Tunis.
- **Hurtado-Fernández, E., Gómez-Romero, M., Carrasco-Pancorbo, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2010).** Application and potential of capillary electroseparation methods to determine antioxidant phenolic compounds from plant food material. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 53(5), 1130-1160.
- **Igueld, S. B., Abidi, H., Trabelsi-Ayadi, M., & Chérif, J. K. (2015).** Study of physicochemical characteristics and antioxidant capacity of cork oak acorns (*Quercus suber* L.) grown in three regions in Tunisia. *J. App. Pharm. Sci*, 5, 26-32.
- **Jaganath, IB et Crozier, A. (2010).** Flavonoïdes alimentaires et composés phénoliques. *Phénoliques végétales et santé humaine*, 1
- **Jalal, M. A., Read, D. J., & Haslam, E. (1982).** Phenolic composition and its seasonal variation in *Calluna vulgaris*. *Phytochemistry*, 21(6), 1397-1401.
- **James Aronson, João S. Pereira, and Juli G. Pausas (2009).** Cork Oak Woodlands on the Edge Ecology, Adaptive Management, and Restoration. 7-89 pg 1-307.
- **Janska , P. Mars̃ík.. S. Zelenkova´ & J. Ovesna (2009).** Cold stress and acclimation – what is important for metabolic adjustment? Review article. *Plant Biology* 395-405.
- **Jean-Jacques Macheix To (1996).** Les composés phénoliques des végétaux quelles perspectives à la fin du XXème siècle ? *Acta Botanica Gallica*, 473-479.
- **Jesús Rives, Ivan Fernandez-Rodriguezb, Xavier Gabarrella,c, Joan Rieradevallac,(2012)** Environmental analysis of cork granulate production in Catalonia – Northern Spain.
- **Jouyban, Z., Hasanzade, R., Sharafi, S. 2013.** Chilling stress in plants. *Int. J. Agric. Crop Sci.* 5:2961.
- **Khoddami, A., Wilkes, MA et Roberts, TH (2013).** Techniques d'analyse des composés phénoliques végétaux. *Molecules*, 18 (2), 2328-2375.
- **Knaggs, A. R. (2003).** The biosynthesis of shikimate metabolites. *Natural product reports*, 20(1), 119-136.
- **Koehler-Ramonatxo, C. (2006).** Oxygen, oxidative stress and anti-oxidant supplementation, or another way for nutrition in respiratory diseases. *Nutrition clinique et métabolisme*. 20: 165– 177.
- **Kosier I-J., Lapornik B., Andrenšek S., Wondra A., Vrhovšek U et Kidric J. (2004).** Identification of anthocyanins in wines by liquid chromatography, liquid

Références bibliographique

- chromatography-mass spectrometry and nuclear magnetic resonance. *AnalyticaChimicaActa*. 513: 277-282.
- **Kraus, T. E. C., Zasoski, R. J., & Dahlgren, R. A. (2004).** Fertility and pH effects on polyphenol and condensed tannin concentrations in foliage and roots. *Plant and Soil*, 262(1-2), 95-109.
 - **KRIEF.S, 2003** Métabolites secondaires des plantes et comportement animal :
 - **Król, A., Amarowicz, R., & Weidner, S. (2014).** Changes in the composition of phenolic compounds and antioxidant properties of grapevine roots and leaves (*Vitisvinifera* L.) under continuous of long-term drought stress. *ActaPhysiologiaePlantarum*, 36(6), 1491-1499.
 - **Laaribya S.,** Il faut sauver la forêt de la Maamora (Maroc), *Revue de la forêt méditerranéenne TXXVII* (1) (2006) 65-72.
 - **Lahsissene, H., & Kahouadji, A. (2010).** Usages thérapeutiques traditionnels des plantes médicinales dans le Maroc occidental : cas de la région de Zaër. *Phytothérapie*, 8(4), 210-217.
 - **Larcher W (2004). Ecofisiologia vegetal. RiMa, São Carlos, SP, Brazil. Leal AJB, Dantas IC, Chaves TP, Felismino DC, Vieira KVM (2011).** Phytochemical and antimicrobial studies of *Ceiba glaziovii* Kuntze K. *Schum. Biofar*. 5:73-77.
 - **Léger A. (2010).** Analyse fonctionnelle d'AtMYB30, un régulateur transcriptionnel impliqué dans la mort cellulaire hypersensible chez *Arabidopsisthaliana*. *Doc.Univ., Université III – Paul Sabatier, Toulouse* 302
 - **Lepoutre B. (1965) :** Régénération artificielle du chêne liège et équilibre climatique de la subéraies en forêt de Mamora. *Ann. Rech. For, Maroc*, 279p.
 - **Leroy (1968).** Variations saisonnières des teneurs en eau et éléments minéraux des feuilles de chêne (*Quercus pedunculata*). *Ann. Sci. Forest.*, 25(2) : 83-117.
 - **Loik ME, Still CJ, Huxman TE, Harte J (2004)** In situ photosynthetic freezing tolerance for plants exposed to a global warming manipulation in the Rocky Mountains, Colorado, and USA. *New Phytol* 162:331–341
 - **Lopes G-C ., Sanches A-C-C., Nakamura C-V., Dias Filho B-P., Hernandez L., Carlos P deMello J. (2005)_** Influence of extracts of *Stryphnodendronpolyphyllum*Mart.and*StryphnodendronObovatum*Benth. on the cicatrisation of cutaneous wounds in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 99, 265-272.
 - **Lugasi A., Hovari J., SagiK., and Biro L. (2003).** The role of antioxidant phytonutrients in the prevention of diseases. *J. Acta. biologica. szegediensis*. 47 (1-4) :119-125. (Cited in (Mohammedi Z, 2005)
 - **Ma, H. W., & Zeng, A. P. (2003).**The connectivity structure, giant strong component and centrality of metabolic networks. *Bioinformatics*, 19(11), 1423-1430.
 - **Maarouf A .2000.** Dictionnaire botanique Pp 129.
 - **Machado, A., Pereira, H., & Teixeira, R. T. (2013).** Anatomy and development of the endodermis and phellem of *Quercus suber* L. roots. *Microscopy and Microanalysis*, 19(3), 525.

Références bibliographique

- **Macheix, J. J. (1996).** Les composés phénoliques des végétaux : quelles perspectives à la fin du XXème siècle?. *Acta botanica gallica*, 143(6), 473-479.
- **Macheix, J.J., Fleuriet. A. et Jay-Allemand. C (2005).** Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Ed Presses polytechnologiques et universitaires romandes, 4-54.
- **Madar M., F.V. Amberg ; (1982)** *Plant Physiol* 70. 1128–1131
- **Madlung, A., & Comai, L. (2004).** The effect of stress on genome regulation and structure. *Annals of Botany*, 94(4), 481-495.
- **Mahajan S, Tuteja N. Cold (2005)** salinity and drought stresses an overview. *Arch BiochemBiophys* 2005 444:139-58; PMID: 16309626; DOI: 10.1016/j.abb.2005.10.018.
- **Manchanda, G., & Garg, N. (2009).** *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology: Official Journal of the Societa Botanica Italiana.*
- **Manos PS, Cannon CH, Oh S-H (2008)** Phylogenetic relationships and taxonomic status of the paleoendemic Fagaceae of Western North America: recognition of a new genus, *Notholithocarpus*. *Madroño* 55:181–190
- **Mansour, A.** Extraction et caractérisation des métabolites secondaires de plantes médicinales du genre *Juniprus phoencea*. Thèse de doctorat en chimie Université Houari Boumediene PP 1-198.
- **Mario E. G., Andreas L., (2008).** Reactive species: a cell damaging rout assisting to chemical carcinogens. *Cancer Lett.*, 266, 73-83.
- **Mazid, M., Khan, T. A., & Mohammad, F. (2011).** Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. *Biology and medicine*, 3(2), 232-249.
- **Mehansho, H., Butler, L. G., & Carlson, D. M. (1987).** Dietary tannins and salivary proline-rich proteins: interactions, induction, and defense mechanisms. *Annual review of nutrition*, 7(1), 423-440.
- **Mehansho, H., Butler, L. G., & Carlson, D. M. (1987).** Dietary tannins and salivary proline-rich proteins: interactions, induction, and defense mechanisms. *Annual review of nutrition*, 7(1), 423-440.
- **Mehrotra, S., Verma, S., Kumar, S., Kumari, S., & Mishra, B. N. (2020).** Transcriptional regulation and signalling of cold stress response in plants: an overview of current understanding. *Environmental and Experimental Botany*, 104243.
- **Mendes AMSC, Graça JAR (2009)** Cork bottle stoppers and other cork products. In: Aronson J, Pereira JS, Pausas JG (eds) *Cork oak woodlands on the edge: conservation, adaptive management, and restoration*. Island Press, Washington, DC
- **Mestar Guechaoui N. (2019).** Effet des facteurs de l'environnement sur les activités antioxydant et bioinsecticide d'un extrait végétal aqueux de l'espèce *Olea europaea* subsp *sylvestris* dans la région de Tizi Ouzou. Thèse de doctorat Université Chadli Bendjedid El-Tarf pp 1-158
- **METCHE (M.), GIRARDIN (M.) (1980)** - Les tannins des végétaux. In : *Les polymères végétaux : polymères pariétaux et alimentaires non azotés*. Paris: Gauthier-Villars, 1980, pp. 252-288.

Références bibliographique

- **Mick E. Hanleya,b, Byron B. Lamontb, Meredith M. Fairbanksb, Christine M. Raffertyb. (2007)** Plant structural traits and their role in anti-herbivore defence. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. pp 1-4.
- **Mokri , S. Mobarek, S (2020)**. Contribution à l'étude de la Variation saisonnière de des teneurs en polyphénols totaux d'une solution aqueuse des feuilles du chêne liège « *Quercus suber* L. » mémoire de Master II en Biotechnologie. Université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou
- **Mooney, H.A. &Dunn, E.L. (1976)**. Convergent evolution of the mediterranean climate evergreen sclerophyll shrubs. *Evol* 24:292–303.
- **Morison JIL, Lawlor DW. (1999)** Interactions between increasing CO2 concentration and temperature on plant growth. *Plant Cell Environ*; 22:659-82.
- **Murota, K., Mitsukuni, Y., Ichikawa, M., Tsushida, T., Miyamoto, S., &Terao, J. (2004)**. Quercetin-4 '-glucoside is more potent than quercetin-3-glucoside in protection of rat intestinal mucosa homogenates against iron ion-induced lipid peroxidation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(7), 1907-1912
- **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.
- **Nabity PD, Zavala JA, DeLuciave EH (2009)**. Indirect suppression of photosynthesis on individual leaves by arthropod herbivory. *Annals of Botany* 103, 655–663
- **Navada, S., Vadstein, O., Gaumet, F., Tveten, A. K., Spanu, C., Mikkelsen, Ø.,&Kolarevic, J. (2020)**. Biofilms remember: Osmotic stress priming as a microbial management strategy for improving salinity acclimation in nitrifying biofilms. *Water Research*, 115732.
- **Navarro JM, Flores P, Garrido C, Martinez V. 2006**. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at ripening stages, as affected by salinity. *Food Chem*; 96:66-73.
- **Ncube B, Finnie JF, Van Staden J (2010)**. Seasonal variation in antimicrobial and phytochemical properties of frequently used medicinal bulbous plants from South Africa. *South Afr. J. Bot.* 79:1-10.
- **Nedjahi M (2010)**- Note synthétique sur la gestion sylvo - pastorale des forêts de chêne liège I N R F Arboretum de Bainem Alger. pp 14.
- **Nixon K.C., 1993** –Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification Of sectional names. *Ann. Sci. For.* 50 (supp. 1), 25s-40s
- **Oliver, S., Vittorio, O., Cirillo, G., & Boyer, C. (2016)**. Enhancing the therapeutic effects of polyphenols with macromolecules. *PolymerChemistry*, 7(8), 1529-1544.
- **Pagare, S., Bhatia, M., Tripathi, N., et al. (2015)**. **Secondary metabolites of plants and their role: Overview CurrTrendsBiotechn&Pharmy 9:293-304.**
- **Pan, T., Liu, M., Kreslavski, V.D., Zharmukhamedov, S.K., Nie, C., Yu, M., Kuznetsov, V. V., Allakhverdiev, S.I., Shabala,(2020)**. Non-stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 1–35

Références bibliographique

- **Park, W. H., Han, Y. W., Kim, S. H., Kim, S. Z. (2007).** A superoxide anion generator, pyrogallol induces apoptosis in As 4.1 cells through the depletion of intracellular GSH content. *Mutation*
- **Paul-André Calatayud, Jean-Pierre Garrec et Michel Nicole (2013)** Adaptation des plantes aux stress environnementaux (2015) p
- **Pausas JG. 1997.** Resprouting of *Quercus suber* in NE Spain after fire. *J VegSci* 8: 703–706.
- **Peñuelas, J., & Estiarte, M. (1998).** Can elevated CO₂ affect secondary metabolism and ecosystem function?. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(1), 20-24.
- **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
- **Peronny, S. (2005).** La perception gustative et la consommation des tannins chez le maki (*Lemur catta*) (Doctoral dissertation).
- **Petridis, A., Therios, I., Samouris, G., & Tananaki, C. (2012).** Salinity-induced changes in phenolic compounds in leaves and roots of four olive cultivars (*Olea europaea* L.) and their relationship to antioxidant activity. *Environmental and Experimental Botany*, 79, 37-43.
- **Petroselli, A., Vessella, F., Cavagnuolo, L., Piovesan, G., & Schirone, B. (2013).** Ecological behavior of *Quercus suber* and *Quercus ilex* inferred by topographic wetness index (TWI). *Trees*, 27(5), 1201-1215.
- **Pincemail, J., Lecomte, J., Collart, E., Castiaux, J. P., Defraigne, J. O. (2003).** Stress oxydant, antioxydants et exercice physique. *MEDECINE INTERNE*. 6 (5) :1–3.
- **Pio, C., Silva, P., Cerqueira, M., Nunes, T. (2005).** Diurnal and seasonal emissions of volatile organic compounds from cork oak (*Quercus suber*) trees. *Atmos. Environ.* 39 (10), 1817–1827.
- **Poston L, et Raijmakers M-T-M. (2004).** Trophoblast Oxidative Stress,
- **Powers S-K., Bradley W-N. et Hudson M-B. (2011).** Exercise-induced oxidative stress in humans: Cause and consequences. *Free Radical Biology & Medicine*. 51: 942–950.
- **Prasad PV V., Pisipati SR, Momčilović I, Ristic Z (2011)** Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat. *J Agron Crop Sci* 197: 430–441.
- **Quézel, P., & Médail, F. (2003).** Que faut-il entendre par " forêts méditerranéennes. *Forêt méditerranéenne*, 24(1), 11-31.
- **R. Hassikou, H. Oulladi, M. Arahou (2014)** Activité antimycosique des extraits du chêne-liège *Quercus suber* sur *Trichophyton rubrum* et *Candida albicans*. *Pharmacognosie*. pp 6-7.

Références bibliographique

- **Rego F.C. (2006).** Les causes du dépérissement des chênes lièges et chênes verts Séminaire
- Research. Model MUT-10408. 1–12.
- **Richardin, P., Capderou, C., Flieder, F., Bonnassies, S., & Raison, D. (1988).** Analyse de Quelques Tannins Végétaux Utilisés pour la Fabrication des Cuirs. Les documents graphiques et photographiques : analyse et conservation : travaux du Centre de Recherches sur la Conservation des Documents Graphiques, 1986-1987, 151-82.
- **Rocha-Guzmán, N. E., González-Laredo, R. F., Vázquez-Cabral, B. D., Moreno-Jiménez, M. R., Gallegos-Infante, J. A., Gamboa-Gómez, C. I., & Flores-Rueda, A. G. (2019).** Oak Leaves as a New Potential Source for Functional Beverages: Their Antioxidant Capacity and Monomer Flavonoid Composition. In *Functional and Medicinal Beverages* (pp. 381-411). Academic Press.
- **Ruiz-Terán F, Medrano-Martínez A, Navarro-Ocaña A (2008).** Antioxidant and free radical scavenging activities of plant extracts used in traditional medicine in Mexico. *Afr. J. Biotechnol.* 7:1886-1893.
- **S.E. Smith, D.J. Read, (2009).** Mycorrhizal symbiosis, third ed., Elsevier/Academic Press, Amsterdam.
- **Saccardy, L. (1938).** Le Chêne-Liège et le Liège en Algérie. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 18(203), 488-497.
- **Santos AO, Kaye O (2009).** Composition and chemical-sensorial profile of 'Syrah' cultivated under transient water stress. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient* 13:272-281.
- **Sauvage C. (1961)** Recherches géobotaniques sur les subéraies marocaines. *Trav. Inst. Sci. Chérif., Bot.*, 21, 454p.
- **Schwarz O (1936)** Entwurfzueinemnatürlichen System der Cupuliferen und der gattungquercus l. *notizbl bot gart berlin-dahlem* 13(116):1–22.
- **Seigue, A. (1985).** Forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. *Maisonneuve et Larose*.
- **Sgherri, CLM, Pinzino, C., et Navari-Izzo, F. (1993).** Changements chimiques et production d'O₂– dans les membranes thylacoïdes sous stress hydrique. *PhysiologiaPlantarum*, 87 (2), 211-216.
- **Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012).** Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of botany*, 2012.
- **Siatka T, Kašparová M (2010).** Seasonal variation in total phenolic and flavonoid contents and DPPH scavenging activity of *Bellis perennis* L. flowers. *Molecules* 15:9450-9461.
- **Sijelmassi A (1993)** Les plantes médicinales du Maroc. 3e édition Fennec,
- **Silva, S. P., Sabino, M. A., Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Boesel, L. F., & Reis, R. L. (2005).** Cork: properties, capabilities and applications. *International Materials Reviews*, 50(6), 345-365.

Références bibliographique

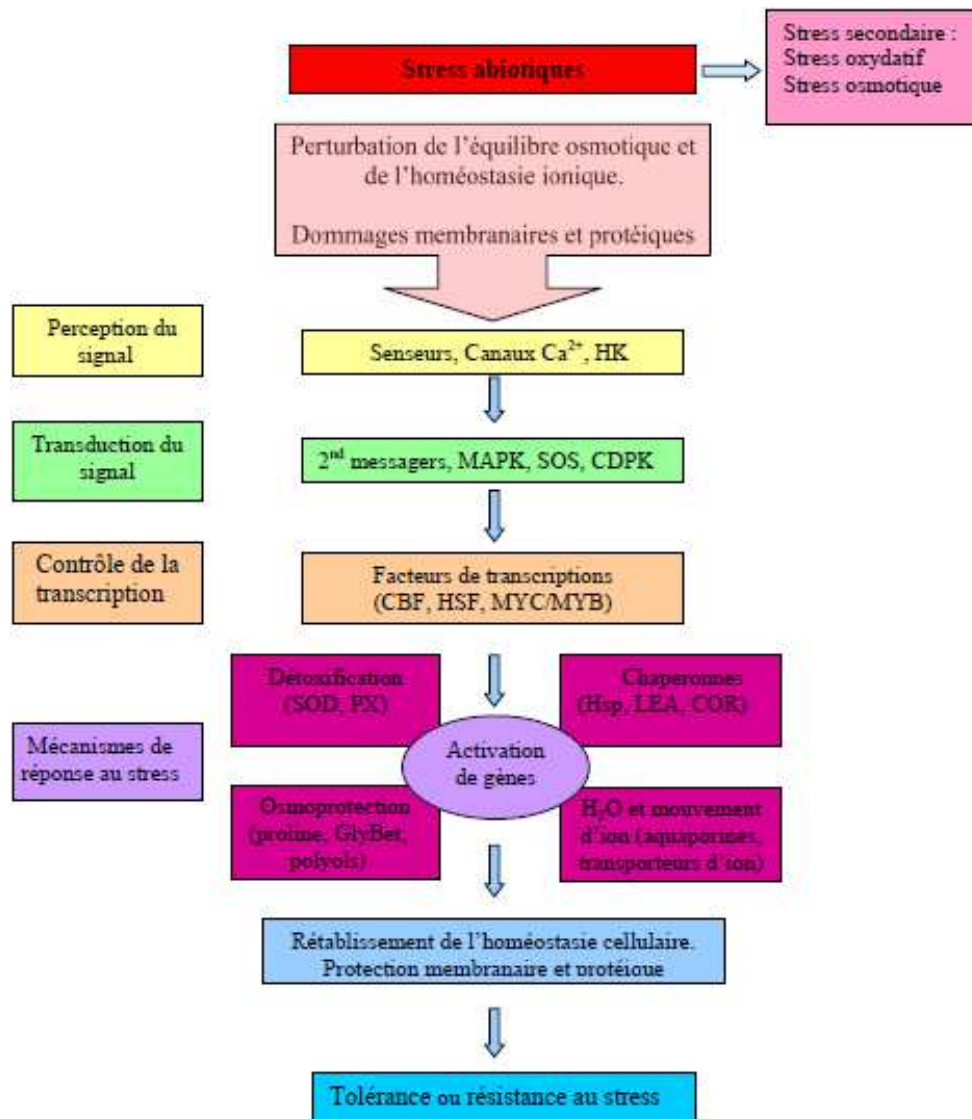
- **Sikora F.J., McBride M.B., (1990).** Aluminium complexation by protocatechuic and caffeic acids as determined by UV spectrophotometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 78-86.
- **Smetanska, I. (2008).** Production of secondary metabolites using plant cell cultures. In *Food biotechnology* (pp. 187-228). Springer, Berlin, Heidelberg.
- **Soares, A. F. (2005).** Effets Du Stress Oxydant Sur Le Fonctionnement Des Adipocytes Adiponectine et Prostaglandines. Thèse Doctorale : Biochimie. Ecole Doctorale Interdisciplinaire Science-Santé. N° : 2005-ISAL- 00123 : 35–43.
- **Soni, U., Brar, S., &Gauttam, V. K. (2015).**Effect of seasonal variation on secondary metabolites of medicinal plants. *Int J Pharm Sci Res*, 6(9), 3654-62.
- **Soto-Vaca, A., Gutierrez, A., Losso, J. N., Xu, Z., &Finley, J. W. (2012).** Evolution of phenolic compounds from color and flavor problems to health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(27), 6658-6677.
- **Stavroula, M., & Rahul, J. (2017).** Mediterranean climate affects the biosynthesis of secondary metabolites in common medicinal plants. *Int. J. Bot*, 6, 17-28.
- **Strauss SY, Zangerl AR (2002).** Plant insect interactions in terrestrial ecosystems. In: Herrera CM & Pellmyr O, eds. *Plant-Animal Interactions: An Evolutionary Ecology Approach*. Blackwell Publishing, Malden, MA, pp. 77-106
- **Suzuki, N., & Mittler, R. (2006).** Reactive oxygen species and temperature stresses: a delicate balance between signaling and destruction. *Physiologia plantarum*, 126(1), 45-51.
- **Tamimi R-M., Lagion P., Adami H-O. et Trichopoulos D. (2002).**Prospects of chemoprevention of cancer. *Journal of International Medicine*. 215: 286-300.
- **Tim Cushnie, T. P., Lamb, J. A. (2005).** Antimicrobial activity of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 26: 343–356.
- **Tison, J. M., & de Foucault, B. (2014).** *Flora gallica: flore de France*. Biotope.
- **Toribio, M., Celestino, C., &Molinas, M. (2005).** Cork Oak, *Quercussuber* L. In *Protocol for somatic embryogenesis in woody plants* (pp. 445-457). Springer, Dordrecht.
- **Touati, R., Santos, S. A., Rocha, S. M., Belhamel, K., & Silvestre, A. J. (2015).**The potential of cork from *Quercussuber* L. grown in Algeria as a source of bioactive lipophilic and phenolic compounds. *IndustrialCrops and Products*, 76, 936-945.
- **Tuominen, A., &Salminen, J. P. (2017).**Hydrolyzable tannins, flavonol glycosides, and phenolic acids show seasonal and ontogenic variation in *Geranium sylvaticum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(31), 6387-6403.
- **Ushio-Fukai M., Nakamura Y. (2008).** Reactive oxygen species and angiogenesis: NADPH oxidase as target for cancer therapy. *Cancer Lett.*, 266, 37-52.
- **Uterano C., Turpault M.P. &Bonnaud P. (2000).**Soil minerals: fine markers of the spatial and temporal variation. United Kingdom. *Journal of ConferenceAbstract*, 5(2) 1027A.

Références bibliographique

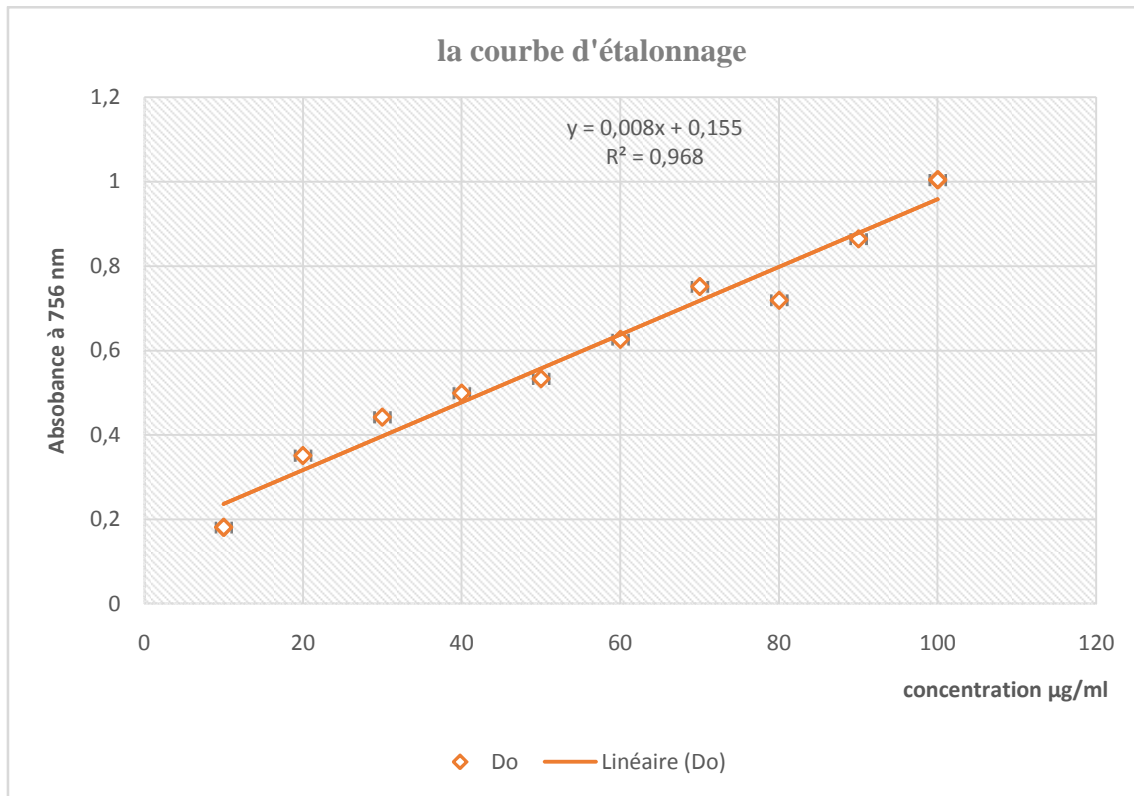
- **Vannucchi C-I., Jordao A-A. et Vannucchi H. (2007).** Antioxidant compounds and oxidative stress in female dogs during pregnancy. *Research in Veterinary Science*. 83: 188-193.
- **Velderrain-Rodríguez, G.R.; Palafox-Carlos, H.; Wall-Medrano, A.; AyalaZavala, J.F.; Chen, C.-Y.O.; Robles-Sanchez, M. ; Astiazaran-García,H.;Alvarez-Parrilla,E.;González-Aguilar,G.A. (2014).** Phenolic compounds: Their journey after intake. *Food Funct.* 2014, 5, 189–197. [CrossRef] [PubMed]
- **VenkatRatnam, D.D. Ankola, V. Bhardwaj, D.K. Sahana, M.N.V. Ravi Kumar(2006)** Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. Review. *Journal of Controlled Release* 189–207.
- **Visioli, F., Romani, A., Mulinacci, N., Zarini, S., Conte, D., Vincieri, FF et Galli, C. (1999).** Antioxydant et autres activités biologiques des eaux usées des moulins à huile. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (8), 3397-3401.
- **Wang W. X., Vinocur B. and Altman A. (2003).** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218: 1-14.
- **Wang, J., & Mazza, G. (2002).** Inhibitory effects of anthocyanins and other phenolic compounds on nitric oxide production in LPS/IFN- γ -activated RAW 264.7 macrophages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(4), 850-857.
- **War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C. (2012).** Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant signaling&behavior*, 7(10), 1306-1320.
- **Xu, L., (2004)** Diversité de l'ADN chloroplastique et relations phylogénétiques au sein des Fagacées et du genre *Quercus*. Thèse de l'Université Henri Poincaré, Nancy, France.
- **Yessad, S. A. (2000).** Le chêne-liège et le liège dans les pays de la Méditerranée occidentale. Forêt Wallonne.
- **Zaprometov, M. N., & Nikolaeva, T. N. (2003).** Chloroplasts isolated from kidney bean leaves are capable of phenolic compound biosynthesis. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50(5), 623-626.
- **Zhang, Q., Dai, W., (2019).** Plant response to salinity stress. In: Dai, W. (Ed.), *Stress Physiology of Woody Plants*. CRC Press, Boca Raton, pp. 155–173. Zorb, C., Geilfus, C.M., Dietz, K.J... Salinity and crop yield. *Plant Biol*.
- **Zörb, C., Geilfus, CM et Dietz, KJ (2019).** Salinité et rendement des cultures. *Biologie végétale*, 21, 31-38.

ANNEXE

Annexe 1. Schéma général de la réponse des plantes aux stress abiotiques majeurs (Sécheresse, froid et salinité des sols), **Ca²⁺**: Calcium, **HK**: Histidine Kinase, **MAPK**: Mitogen Activated Protein Kinase, **SOS**: Salt Overly Sensitive, **CDPK**: Calcium Dependent Protein Kinase, **CBF**: Crepeat Binding Factor, **HSF**: Heat Shock Factor, **MYC**: Myélocytomatose, **MYB**: Myéloblastose, **SOD**: Superoxyde Dismutase, **PX**: peroxydase, **Hsp**: Heat Shock Proteins, **LEA**: Late Embryogenesis- Abundant, **COR**: Cold-Responsive Protein, GlyBet: glycine betaïne (Wang *et al.*, 2003).



Annexe 2. Courbe d'étalonnage d'acide gallique



Annexe 3. Analyse statistique

STATISTICA - [Classeur3* - Tests Univariés de Significativité pour [] µg/ml (Feuille.sta)]

Fichier Edition Affichage Insertion Format Statistiques Graphiques Outils Données Classeur Fenêtre Aide

Ajouter au Classeur Ajouter au Rapport

Arial 10 G I S

Classeur3*

- ANOVA (Feuil
- ANOVA -
- Tests L

Tests Univariés de Significativité pour [] µg/ml (Feuille.sta)
Paramétrisation sigma-restreinte
Décomposition efficace de l'hypothèse

Effet	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p
ord. origine	4188,838	1	4188,838	9666,341	0,000000
saison	1553,393	1	1553,393	3584,676	0,000000
Erreur	1,733	4	0,433		