

**République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de  
L'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique**

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**

**Département des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**



**Filière : Science Biotechnologique**

**Spécialité : Biotechnologie et Valorisation des Plantes**

Mémoire de fin de cycle

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

### *Thème*

**Contribution à l'étude de la variation saisonnière des teneurs en polyphénols totaux d'une solution foliaire aqueuse de l'espèce *Quercus suber* L. dans la forêt de Zekri région de Tizi Ouzou**

**Présenté par :**

**M<sup>elle</sup> MOBAREK Sabrina**

**&**

**M<sup>elle</sup> MOKRI Siham**

**Devant le jury composé de :**

**Mme BOUDIAF NAIT KACI M.**

**MCA UMMTO**

**Présidente**

**Mme MESTAR GUECHAOU N.**

**MCB UMMTO**

**Promotrice**

**M<sup>elle</sup> HOCEINI M.**

**Doctorante**

**Co-promotrice**

**Mr LHADJ MOHEND GH.**

**MAA UMMTO**

**Examineur**

Année universitaire : 2019/2020

## *Dédicace*

*Je profite de cette honorable occasion pour dédier ce mémoire :*

*À mes chers parents*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés*

*À mes deux frères « Mourad et Larbi »*

*À ma très chère amie qui est mon binôme « Sabrina »*

*Ainsi qu'aux personnes qui ont attribué à mon aide que ce soit de près ou de loin.*

**Siham**

*Je dédie ce travail,*

*En hommages à mes chers grands parents « Jedi Saïd » qui ma choyé et  
transmit l'amour du savoir*

*À « Jedi Lounes » que je ne pourrais remercier assez, qui ma élevé et toujours  
soutenu et chuchotée*

*À mes grandes mères Sadia et Khedoudja que j'aime énormément*

*À ma raison de vivre ma mère*

*Au premier homme qui m'a aimé et que j'ai aimé mon père*

*À mes précieux frères Ghiles et Rayane*

*À toutes mes tantes et oncles*

*À ma sœur ma binôme Siham avec qui j'ai passé mes meilleures années*

*À Sabrina K et Amina H et Hamza B que je considère comme mes grands frères  
et sœurs*

*À mes meilleurs Amis Yasmine, Linda, Samia*

*À notre Promo que j'apprécie énormément*

**Sabrina**

## **REMERCIEMENT**

*Tout d'abord nous rendons grâce à Dieu le tout puissant qui nous a donné la force, le courage, la patience d'accomplir ce travail.*

*Ces pages sont l'occasion pour nous de remercier chaleureusement toutes personnes qui nous ont aidées et encourager pour le bon déroulement de notre mémoire.*

*Nous remercions en premier lieu, notre promotrice Mme MESTAR GUECHAOUI N. Qui a suivi notre travail, qu'elle trouve ici l'expression de notre profond respect, sa grande sympathie, son soutien et ses idées Cela a été un plaisir aussi bien qu'un enrichissement intellectuel et de travailler avec elle.*

*Nous exprimons nos remerciements pour notre Co-promotrice Mme HOUCIENI M. pour ces précieux conseils ainsi que son aide et orientations.*

*Nous remercions Mme NAIT KACI M. d'avoir accepté de présider le jury de notre mémoire et de nous avoir partagé son savoir et de nous avoir fait découvrir le monde de la pédologie.*

*Nous remercions également Mr LHADJ MOHEND GH. De nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.*

*Nous remercions profondément le professeur HOUALI pour sa gentillesse et son accueil dans son laboratoire de recherche pour accomplir notre pratique.*

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

## Liste des Figures

<b>Figure 1.</b> Schéma de la classification du genre <i>Quercus</i> de Loudon jusqu'à Nixon (Denk et al., 2017) .....	4
<b>Figure 2.</b> Arbres de <i>Quercus suber</i> L. (Mokri et Mobarek, 2020) .....	6
<b>Figure 3.</b> Racines de <i>Quercus suber</i> L. (Mokri et Mobarek, 2020) .....	7
<b>Figure 4.</b> Tronc de <i>Quercus suber</i> L. (Mokri et Mobarek, 2020).....	8
<b>Figure 5.</b> Ecorce de <i>Quercus suber</i> L. (Mokri et Mobarek, 2020).....	9
<b>Figure 6.</b> Rameaux de <i>Quercus suber</i> L. (Mokri et Mobarek, 2020).....	9
<b>Figure 7.</b> Feuille de <i>Quercus suber</i> L. (A) face supérieure, (B) face inférieure (Mokri et Mobarek, 2020).....	10
<b>Figure 8.</b> Fleurs de <i>Quercus suber</i> L. A : chatons males ; B : inflorescences femelles (Mokri et Mobarek, 2020).....	11
<b>Figure 9.</b> Gland de <i>Quercus suber</i> L. (Mokri et Mobarek, 2020).....	12
<b>Figure 10.</b> Carte de l'aire de répartition géographique dans le bassin méditerranéen du chêne liège ( <i>Quercus suber</i> L.). (Quézel et Médail, 2003).....	13
<b>Figure 11.</b> Air de Répartition géographique en Algérie du chêne liège ( <i>Quercus suber</i> L.) (Quézel, 1956, modifiée).....	14
<b>Figure 12.</b> Chêne-liège repoussant 2 mois après l'incendie (Bouakkaz, 2017).....	15
<b>Figure 13.</b> Quelques pathogènes du chêne liège. A : <i>Kermes vermilio</i> Planchon (Jordi Clavell, 2015) ; B : <i>Phylloxera quercus</i> Boyer de Fonscolombe (Claude Pilon ; 2009) ; C : <i>Diplodia mutila</i> Fr (Jafar Abdollahzadeh, 2014) ; D : <i>Ciboria batschiana</i> (Jean pierre Dechaume, 2009) ; E : <i>Lymantria dispar</i> L. (Messiaoudene, 2018) ; F : <i>Cydia fagiglandana</i> (Ben Sale, 2016) ; G : <i>Cydia splendana</i> (Vitaly Gumenuk) ; H : <i>Prinobius myardi</i> (Duborget Robin, 2014) ; I : <i>Platypus cylindrus</i> (P. Deschamps, 2011).....	18
<b>Figure 14.</b> La balance du stress oxydant (Burg, 2017).....	20
<b>Figure 15.</b> Sites de production des ERO (Sharma et al, 2012, modifié).....	21
<b>Figure 16.</b> Les différents cybles des ERO (Das et Roychoudhury, 2014, modifié).....	23
<b>Figure 17.</b> Le stress biotique ou/ et abiotique (Borges et al., 2017, modifié).....	25
<b>Figure 18.</b> Réponses des plantes aux stress de la sécheresse (Kumar et al., 2018, modifié).....	26

<b>Figure 19.</b> Les protéines inductibles de la tolérance en réponses a la sécheresse (Vats, 2018, modifié).....	27
<b>Figure 20.</b> Représentation schématique du comportement du rayonnement solaire incident impactant la surface d'une feuille (Ben Abdallah et al., 2015).....	29
<b>Figure 21.</b> Schéma général sur la tolérance des plantes aux stress salin (Singh et al., 2015, modifié).....	32
<b>Figure 22.</b> La régulation de la fermeture et de l'ouverture stomatiques pendant le stress hydrique (Vats, 2018).....	33
<b>Figure 23.</b> Structure de base des flavonoides (Bruneton, 2009).....	35
<b>Figure 24.</b> Structures génériques des principaux flavonoides (Crozier et al., 2006).....	36
<b>Figure 25.</b> Les hydroxycinnamates les plus courants (Shahidi et Chandrasekar, 2010).....	37
<b>Figure 26.</b> Structures chimiques des stilbènes végétaux communs (Dubrovina et Kiselev, 2017).....	37
<b>Figure 27.</b> Structures chimiques de tanins condensé et hydrolysable (Hassanpour et al., 2011).....	38
<b>Figure 28.</b> Exemples de terpènes (Singh, 2017).....	39
<b>Figure 29.</b> Certains alcaloides (Bribi, 2018).....	40
<b>Figure 30.</b> Voies de biosynthétiques des composés phénoliques (Hoffmann et al., 2004 ; Fowler et Koffas, 2009).....	41
<b>Figure 31.</b> Quelques implications des métabolites secondaires (Macheix et al., 2005).....	42
<b>Figure 32.</b> Structures des composés identifiés dans les extraits de liège de <i>Quercus suber</i> L. (Sonia et al., 2010).....	43
<b>Figure 33.</b> Carte géographique de localisation de la zone d'étude (Google earth, 2020).....	44
<b>Figure 34.</b> Structure du peuplement de la station d'étude (Mokri et Mobarek, 2020).....	45
<b>Figure 35.</b> Quelques espèces du peuplement de <i>Quercus suber</i> L. (Mokri et Mobarek, 2020).....	46
<b>Figure 36.</b> Échantillonnage des feuilles (Mokri et Mobarek, 2020).....	47
<b>Figure 37.</b> Séchage des feuilles (Mokri et Mobarek, 2020).....	47
<b>Figure 38.</b> Broyage des feuilles (Mokri et Mobarek, 2020).....	48

<b>Figure 39.</b> Protocole d'extraction des feuilles du chêne liège.....	49
<b>Figure 40.</b> Protocole de dosage des phénols totaux.....	51
<b>Figure 41.</b> Variation saisonnière des teneurs en polyphénols totaux (mg/g).....	52

## Liste des Tableaux

<b>Tableau I</b> : principales propriétés du sol imposant des contraintes aux plantes. (Freschet et <i>al.</i> , 2018).....	30
<b>Tableau II</b> : structure des squelettes des polyphénols (Crozier et <i>al.</i> , 2006).....	35
<b>Tableau III</b> : Situation géographique de la zone d'étude.....	44
<b>Tableau IV</b> : teneurs en PPT des solutions foliaires aqueuses de <i>Quercus suber</i> L.....	52
<b>Tableau V</b> : rendements d'extraction et teneurs phénoliques totales de <i>Quercus suber</i> L. (Touati et <i>al.</i> , 2015).....	53
<b>Tableau VI</b> : tableau récapitulatif des espèces comparées.....	55

## Liste des Abréviations

**AA** : Acide Aminé

**ABA** : Acide Abscissique

**ADN** : Acide Désoxyribonucléique

**Ca<sup>2++</sup>** : Calcium

**CAT** : Catalase

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone

**DO** : Densité optique

**EAG** : Equivalent d'Acide Gallique

**ED** : eau distillé

**ERO** : espèces réactives d'oxygènes

**GPx** : la glutathion Peroxydase

**GSH** : Glutathion

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

**HO** : Hydroxyde

**HPAE** : Hiver Printemps Automne Eté

**K<sup>+</sup>** : Potassium

**N** : Azote

**Na<sup>+</sup>** : Sodium

**Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** : Carbonate de sodium

**O<sub>2</sub><sup>-</sup>** : L'ion Superoxyde

**O<sub>2</sub>** : Oxygène

**PPT** : Polyphénols Totaux

**PSII** : Photosystème

**PV** : Poudre végétale

**QS** : Quercus suber L

**UV** : ultras violet

**Sommaire**

**INTRODUCTION GENERALE.....1**

**CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'ESPECE ET LES  
METABOLITES SECONDAIRES**

**I. Première partie : Synthèse bibliographique sur l'espèce du chêne liège..... 3**

1. Historique ..... 3

2. Présentation de l'espèce *Quercus suber* L. .... 5

    2.1. Systématique..... 5

3. Description botanique ..... 6

    3.1 Système racinaire..... 6

    3.2. Tronc..... 7

    3.3. Ecorce ..... 8

    3.4. Rameaux ..... 9

    3.5. Feuilles..... 10

    3.6 Floraison ..... 10

    3.7. Fruit ..... 11

4. Exigences écologiques de *Quercus suber* L. .... 12

5. Aire de répartition géographique..... 13

    5.1. Dans le bassin méditerranéen ..... 13

    5.2. En Algérie..... 14

6. Importance socio-économique de *Quercus suber* L. .... 14

7. Etat de la subéraie en Algérie..... 15

8. Facteurs de menaces ..... 15

    8.1. Incendies ..... 15

    8.2. Pathogènes du chêne liège ..... 16

**II. Deuxième partie : Synthèse bibliographique sur les métabolites secondaires..... 19**

1. Introduction ..... 19

2. Stress oxydatif ..... 19

3. Définition des ERO ..... 20

    3.1. Sites de production d'ERO ..... 20

    3.2. Cibles d'ERO..... 21

    3.3. Les antioxydants ..... 23

## Sommaire

---

3.3.1. Types d'antioxydants .....	24
3.3.2. Mécanisme d'action des antioxydants .....	24
4. Facteurs agissant sur les métabolites secondaires .....	25
4.1. Facteurs Abiotiques .....	26
4.1.1. Facteurs climatiques.....	26
4.1.2. Facteurs édaphiques .....	30
4.2. Facteurs Biotiques .....	32
5. Effet du stress sur la production des phytohormones.....	33
6. Définition des métabolites secondaires .....	34
6.1. Classification des métabolites secondaires.....	34
6.1.1. Composés phénoliques.....	34
6.1.1.1. Flavonoïdes .....	35
6.1.1.2. Autres composés phénoliques (non flavonoïdes).....	36
6.1.2. Terpènes .....	38
6.1.3. Alcaloïdes .....	39
7. Biosynthèse des métabolites secondaires.....	40
8. Rôles des métabolites secondaires .....	41
9. Composés chimiques de <i>Quercus suber</i> L. ....	42

## CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES

1. Présentation de la zone d'étude .....	44
1.1. Situation géographique .....	44
1.2. Description du site d'étude .....	45
2. Échantillonnages des feuilles .....	46
3. Préparation des extraits .....	48
4. Dosage des polyphénols totaux (PPT) .....	50
5. Analyse statistique.....	51

## CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats .....	52
1.1 Détermination des teneurs en polyphénols totaux (PPT) .....	52
2. Discussion .....	53

## Sommaire

---

<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>58</b>

## RESUME

La plante au cours de son évolution rencontre des stress biotiques et abiotiques qui peuvent présenter des changements, dans la production de différentes classes de métabolites en particulier dans les écosystèmes méditerranéens. Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est une espèce méditerranéenne sclérophylle qui appartient à la famille des Fagacées. Elle présente une grande importance socio-économique et écologique. Etant considérée comme une espèce xérophyte, elle permet une meilleure résistance et adaptation aux stress environnementaux. De plus ces feuilles persistantes sont principalement isohydriques, ce qui leur permet une meilleure adaptation aux conditions estivales, ainsi qu'une richesse en métabolites secondaires. C'est dans cette optique la que nous avons préparé une solution aqueuse de feuilles de *Quercus suber* L. Dans le but de mettre en évidence, la variation saisonnière de la teneur en polyphénols par la méthode spectrophotométrique adapté avec le réactif de Folin-Ciocalteu. Les résultats obtenus en mg EAG/ g PV révèlent un taux plus élevé en été de l'ordre de  $89,48 \pm 0.61$  mg EAG/ g PV comparativement à celle de l'hiver  $45,65 \pm 0.56$  mg EAG/ g PV ce qui est dû à l'influence de facteurs abiotiques (chaleur, température, sécheresse) sur la production de métabolites de la plante.

**Mots clés :** *Quercus suber* L. Stress environnementaux, polyphénols, variation saisonnière

## ABSTRACT

During its evolution, the plant encounters biotic and abiotic stresses that can present changes, in the production of different classes of metabolites, in particular in Mediterranean ecosystems. The cork oak (*Quercus suber* L.) is a Mediterranean sclerophyll species that belongs to the Fagaceae family. It is of great socio-economic and ecological importance. Being considered as a xerophytic species, it allows a better resistance and adaptation to environmental stresses. In addition, these evergreen leaves are mainly isohydric, which allows them to adapt better to summer conditions, as well as being rich in secondary metabolites. It is with this in mind that we prepared an aqueous solution of the leaves of *Quercus suber* L. In order to demonstrate the seasonal variation in the polyphenol content by the spectrophotometric method adapted with the Folin-Ciocalteu reagent. The results obtained in mg EAG / g PV reveal a higher rate in summer of the order of  $89.48 \pm 0.61$  mg EAG / g PV compared to that of winter  $45.65 \pm 0.56$  mg EAG / g PV which is due to the influence of abiotic factors (heat, temperature, drought) on the production of plant metabolites.

**Key words:** *Quercus suber* L. Environmental stress, polyphenols, seasonal variation

## ملخص

خلال تطوره ، يواجه النبات ضغوطاً حيوية وغير حيوية يمكن أن تحدث تغيرات، في إنتاج فئات مختلفة من المستقبلات، لا سيما في النظم البيئية المتوسطة. بلوط الفلين (*Quercus suber* L.) هو نوع من فصيلة التصلب المتوسطة ينتمي إلى عائلة Fagaceae. ذات أهمية اجتماعية واقتصادية وبيئية كبيرة. نظراً لكونه من الأنواع الجافة، فإنه يسمح بمقاومة أفضل والتكيف مع الضغوطات البيئية. بالإضافة إلى ذلك، أوراقه دائمة الخضرة هي في الأساس متساوية الماء، مما يسمح لها بالتكيف بشكل أفضل مع ظروف الصيف، فضلاً عن كونها غنية بالمستقبلات الثانوية. ومن هذا المنطلق، قمنا بإعداد محلول مائي لأوراق *Quercus suber* L. لإظهار الاختلاف الموسمي في محتوى البوليفينول بواسطة طريقة القياس الطيفي المتوافقة مع كاشف Folin-Ciocalteu. النتائج التي تم الحصول عليها في mg EAG / g PV تكشف عن معدل أعلى في الصيف بترتيب  $89.48 \pm 0.61$  mg EAG / g PV مقارنةً بفصل الشتاء  $45.65 \pm 0.56$  mg EAG / g PV الذي بسبب تأثير العوامل اللاأحيائية (الحرارة، درجة الحرارة، الجفاف) على إنتاج المستقبلات النباتية.

**الكلمات المفتاحية:** *Quercus suber* L. الإجهاد البيئي، البوليفينول، التغيرات الموسمي

# **Introduction Générale**

## Introduction

Les espèces végétales existent depuis plus de 400 millions d'années (Hagg et *al.*, 2013). Elles constituent un pilier de la chaîne alimentaire en tant que producteurs primaires de la matière organique (Rahantaniaina, 2018), et utilisent l'oxygène, via le métabolisme aérobie, pour fournir l'énergie nécessaire à leur croissance et à leur développement (Parent et *al.*, 2008). Cependant, elles rencontrent des stress environnementaux, constituant des stimulations biotiques et abiotiques (Borges et *al.*, 2017 ; Al Naser, 2018).

Face à ces contraintes les plantes peuvent entraîner une réaction de stress appelée le "stress oxydatif" qui pourraient inclure l'oxydation et les dommages de l'ADN, de l'ARN, des protéines et de la membrane (Mittler, 2017). Ainsi, une altération de l'homéostasie cellulaire (Parent et *al.*, 2008) est induite par une surproduction et une accumulation des molécules contenant de l'oxygène activé appelées "espèces réactives de l'oxygène" (ERO) (Mittler, 2017).

Cependant, les plantes en tant qu'êtres vivants sessiles et pérennes (Usié et *al.*, 2017), doivent faire face à tous types de contraintes, pour développer des stratégies d'adaptation (Calatayud et *al.*, 2013), et faire appel à des systèmes de défense via des métabolites secondaires (Halliwell, 2007).

Ces derniers jouent un rôle principal chez les plantes pour les protéger dans des conditions défavorables, contre les stress biotiques et abiotiques (Lincoln et Zeiger, 2006), provoquant une variation dans leurs teneurs au sein de l'organisme d'une manière significative (Borges et *al.*, 2017).

Les polyphénols sont des métabolites secondaires et composés naturels largement répandus dans le règne végétal et présentent un rôle important (Bougandoura et Bendimerad, 2012). Ils sont considérés comme un système de défense chimique chez les espèces végétales (Calatayud et *al.*, 2013). De plus, ils ont une activité antioxydante en raison de leurs propriétés à réduire l'oxygène singulet (Al Naser, 2018).

Les écosystèmes de type méditerranéen ont évolué à travers les changements géologiques et climatiques majeurs qui ont eu lieu au cours du Pliocène et du début du Pléistocène (il y a 3,2 à 2,3 millions d'années) (Acacio et *al.*, 2014). L'Algérie est soumise à un climat de transition, entre la zone tempérée et la zone tropicale. Cette position la met sous l'influence directe du climat méditerranéen au Nord et du climat désertique au Sud, Avec un

été très chaud et très sec, tempéré seulement en bordure de la mer. L'hiver est très frais et plus humide, ce climat est qualifié de xérothermique (Benabadji et Bouazza, 2000).

Au sein de ces écosystèmes, *Quercus suber* L. est l'une des essences forestières les plus importantes en raison de sa valeur écologique et socio-économique (Silva et Catry, 2006). Elle appartient à la famille des fagacées, l'un des clades les plus importants d'Angiospermes ligneux (Nixon, 2006). C'est une espèce héliophile, calcifuge stricte, avec une préférence aux sols siliceux (Younsi, 2006). Elle pousse le long des côtes atlantiques et méditerranéennes des pays d'Europe occidentale (France, Espagne et Portugal) et d'Afrique du Nord (Maroc, Algérie et Tunisie), avec des enclaves dispersées dans le Sud-Est de l'Italie et Croatie (Vessela et al., 2015).

Le chêne liège se caractérise par une formation importante de liège dans son périoderme (Costa et al., 2019), qui représente des propriétés uniques, telles que l'imperméabilité aux liquides, l'élasticité, une bonne isolation thermique et acoustique, une résistance aux maladies et aux attaques microbiennes (Touati et al., 2015).

L'Algérie a été, depuis l'Antiquité, une terre extrêmement riche en ressources naturelles et en matières premières, faisant de ce pays l'objet de nombreuses convoitises (Dehane et al., 2013). Le chêne-liège est l'une de ces richesses naturelles qui sont présentes en Méditerranée Occidentale depuis plus de 60 millions d'années (Aafi, 2006 et Piazzetta, 2005). Il constitue un élément essentiel de l'équilibre physique, climatique et surtout socio-économique dans les zones rurales (Ganaoui et al., 2020).

Par conséquent plusieurs facteurs de prédisposition (changements climatiques, incendies, sécheresses récurrentes), de déclenchement (écorçage mal conduit) et aggravants (attaques d'insectes et de champignons) sont à l'origine de dépérissement du chêne liège (Rouibah et al., 2018).

Notre travail consiste à traiter la variation saisonnière (l'été et l'hiver) des teneurs en polyphénols totaux d'une solution aqueuse foliaire de l'espèce *Quercus suber* L. dans la région de Tizi Ouzou.

Notre mémoire se divise en quatre chapitres. Le chapitre I est réservé à une synthèse bibliographique, sur l'espèce et les métabolites secondaires. Le chapitre II traite les matériels et méthodes expérimentales utilisées. Le chapitre III est consacré sur les résultats et discussions de notre travail. Et enfin une conclusion générale et des perspectives pour clôturer ce travail.

# **Chapitre I**

**Synthèse Bibliographique sur  
L'espèce et les Métabolites  
Secondaires**

## I. Première partie : Synthèse bibliographique sur l'espèce du chêne liège

### 1. Historique

Le chêne liège (*Quercus suber* L.) est une ressource naturelle particulièrement prestigieuse et représente avant tout le symbole d'une identité et d'une culture propre au bassin méditerranéen occidental (Dessain, 1992). Il a été pendant longtemps considéré comme une espèce de chêne à écorce subéreuse utilisable (Lamey, 1893).

Selon Eustaquio et *al.* (2017), Carl Von Linné a répertorié 14 espèces de chêne d'Europe et d'Amérique. Ce nombre est passé à 150 lorsque Loudon (1838, 1839) a fourni la première classification infragénérique des chênes reconnaissants, 10 sections basées sur les caractères reproductifs et foliaires. Son classement est remarquable, il a permis d'établir la subdivision fondamentale des chênes européens.

Orsted (1871) est connue pour sa contribution à la découverte d'un groupe important de chêne asiatique associé à l'origine à *Cyclobalanopsis*, reconnu 05 sous-genres avec un total de 16 sections et environ 184 espèces. Son travail est le premier à traiter les chênes dans un contexte mondial, en 1924 Trelease a fourni un traitement complet des chênes américains environ 371 espèces (Jensen, 1997).

Camus et Schwarz (1936), ont suivi Trelease en ce qui concerne la classification des chênes américains. Ils ont suivi Orsted pour ce qui est de son concept général mais un a reconnu un seul genre de *Quercus*, en érigeant un système à 2 tribus respectivement, une nouveauté dans le système de Schwarz était le sous-genre *Sclerophyllodrys* (Fig. 1). Le travail monographique le plus récent vers une nouvelle classification des chênes était celui de Menitsky en 1984. Les travaux de Trelease et Menitsky ont été confirmés par des données palynologiques et moléculaire (Denk et *al.*, 2017).

En 1993 Nixon a adopté le concept de Camus mais il a fusionné ses sections *Cerris*. Selon cette dernière modification du schéma d'Orsted vieux de plus de 150 ans, le genre *Quercus* est divisé en deux sous-genres, les chênes à cycle-coupe (*Cyclobalanopsis*) et tous les chênes restants (*Quercus*).

Un défi majeur pour les études futures sera la circonscription moléculaire et morphologique des groupes infra-sectionnels et leurs caractéristiques biogéographiques et écologiques (Oh et Manos, 2008).

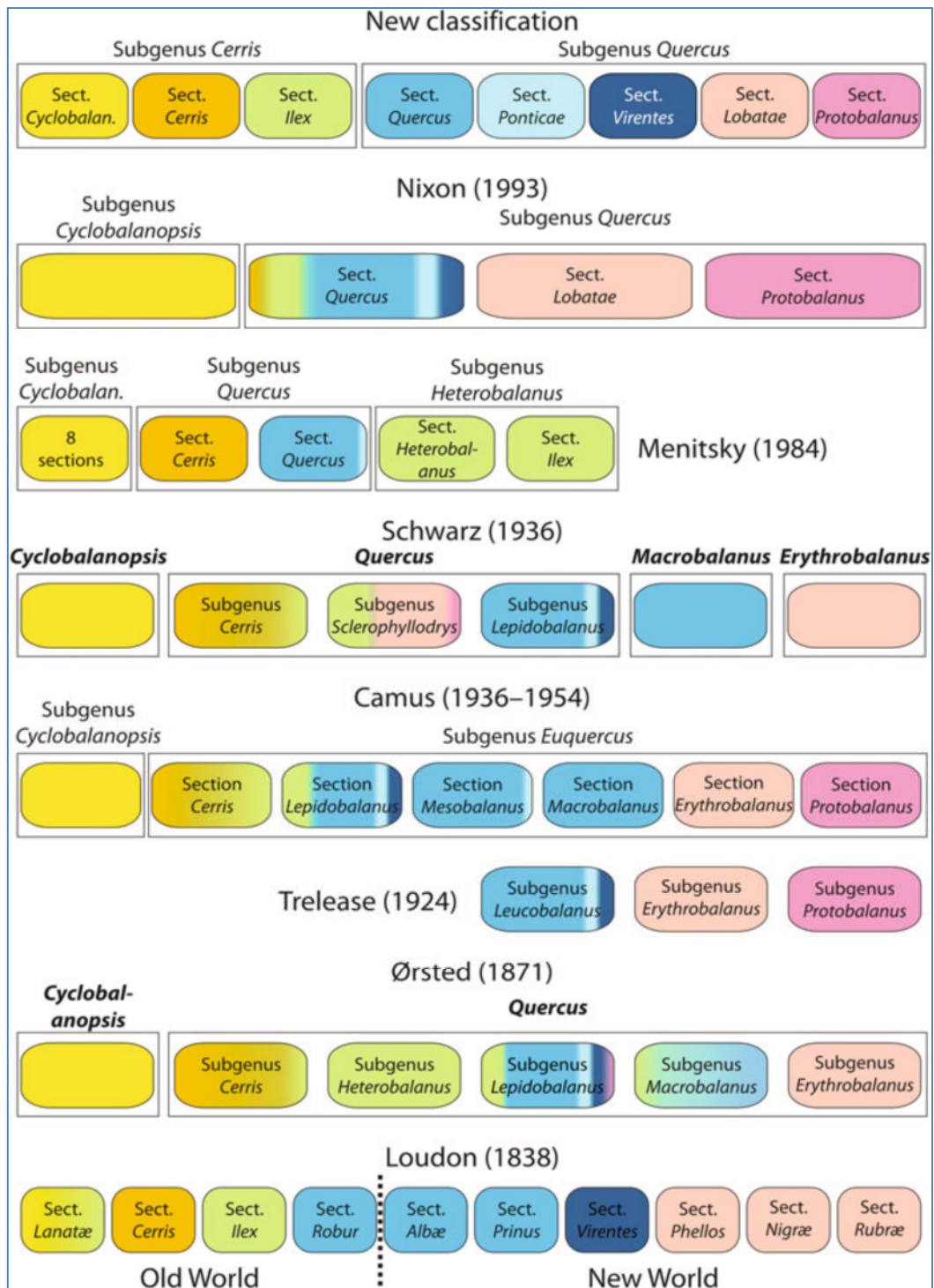


Figure 1. Schéma de la classification du genre *Quercus* de Loudon jusqu'à Nixon (Denk et al., 2017).

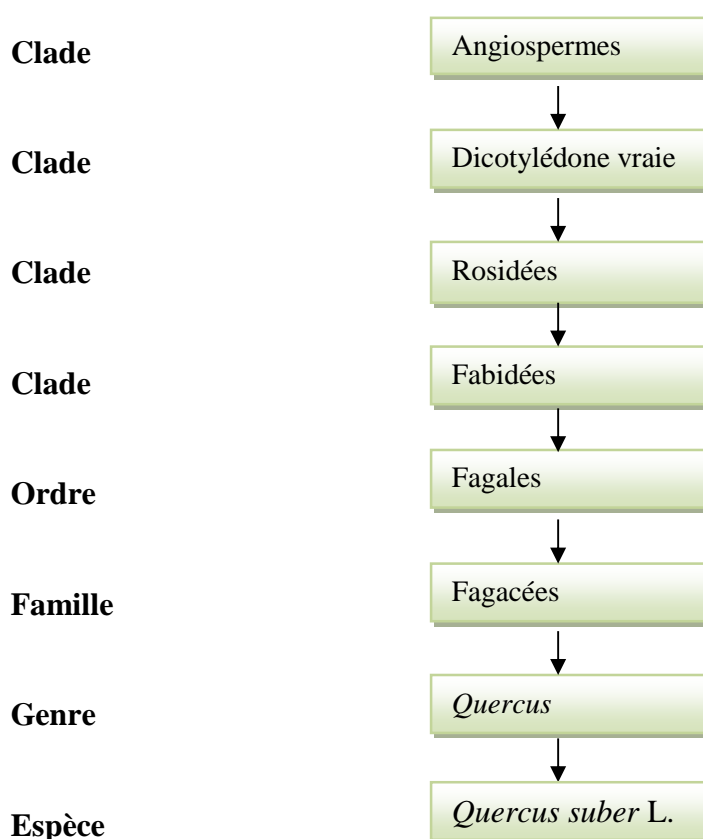
## 2. Présentation de l'espèce *Quercus suber* L.

Le chêne liège (*Quercus suber* L.) est l'une des plus importantes espèces forestières du bassin méditerranéen occidental (Souidi et al., 2015). Il comprend environ 500 espèces forestières accompagnées de nombreux hybrides (Makhlouf et al., 2018). Il participe à une

biodiversité remarquable et constituent des écosystèmes uniques reconnus pour leur valeur écologique (Silva et Catry, 2006 ; Kim et *al.*, 2017). L'originalité de cette espèce est de produire une écorce épaisse le « liège », matériau assez unique pour ses propriétés physiques, chimiques et esthétiques (Amandier, 2002).

### 2.1. Systématique

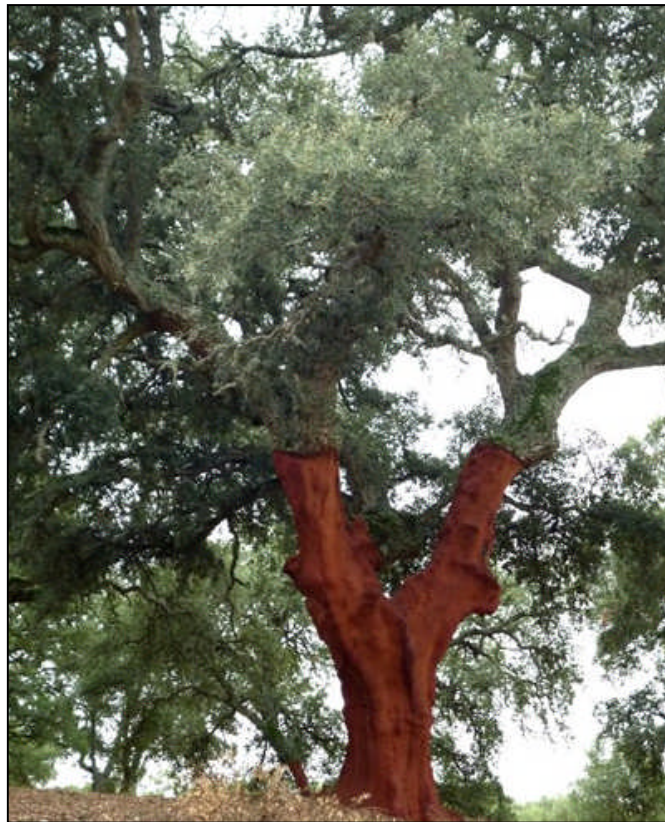
*Quercus suber* L. est une essence qui appartient à la famille des Fagacées (Aronson et *al.*, 2009 ; Vessela et *al.*, 2015). Selon la classification (APG III), Chase et Reveal., (2009), ont classé l'espèce comme suit :



### 3. Description botanique

*Quercus suber* L. est une espèce extrêmement polymorphe comme la plupart des chênes (Pereira, 2007), caractérisée par la formation subéreuse de son écorce "le liège" (Karem, 2008). C'est l'un des arbres paléo-endémique méditerranéen sclérophylle (Vessela et *al.*, 2015), avec une longévité de 150 à 200 ans (Saccardy, 1938 ; Piazzetta, 2005 ; Gil et Varela, 2008). Il pousse lentement à plus de 15 à 20 m de hauteur, il peut atteindre jusqu'à 25

m dans des conditions favorables (Gil et varela, 2008 ; Smither et *al.*, 2016 ; Kim et *al.*, 2017). (Fig. 2).



**Figure 2.** Arbres de *Quercus suber* L. (Mokri et Mobarek, 2020)

### 3.1 Système racinaire

Le chêne liège à un enracinement robuste, pivotant (Saccardy, 1938 ; Chirino et *al.*, 2008), avec des ramifications latérales puissantes. Il est connu pour être un réservoir majeur pour le stockage du carbone et d'azote, par conséquent cet organe a un rôle important pendant l'hiver et au début du printemps en fournissant du C et du N pour le métabolisme d'entretien et une nouvelle croissance (Cerasoli et *al.*, 2004) (Fig. 3).

Ce profond enracinement dans le sol peut, en outre être mycorhizées par des champignons (Genre *Boletus*, *Russela*, *Lactarius*) (Contat et Piazzetta, 2005). Autrement dit elles s'associent symbiotiquement aux racines de *Quercus suber* qui pourraient difficilement assimiler le phosphore et d'autres minéraux des sols pauvres (Aronson et *al.*, 2009).



**Figure 3. Racines de *Quercus suber* L. (Mokri et Mobarek, 2020)**

### **3.2. Tronc**

Le tronc est assez court, ramifié et pas très haut (4m environ) (Renou, 1842). Il est recouvert d'un liège épais fortement crevassé longitudinalement (Metro, 1958) (Fig. 4). Sa circonférence atteint en général 70 cm entre 30 et 40 ans selon les conditions de végétation (Yessad, 2001 ; Amandier, 2002).



**Figure 4. Tronc de *Quercus suber* L. (Mokri et Mobarek, 2020).**

### 3.3. Ecorce

L'écorce de chêne est l'un des produits forestiers non ligneux les plus importants dans de nombreux pays méditerranéens (Catry et *al.*, 2012 ; Molina et *al.*, 2018). Elle est très épaisse (Fig. 5) (jusqu'à 20 cm), poreuse et profondément sillonnée (kim et *al.*, 2017).

Elle est composée de liège (succession de cellules mortes et creuses) généré par l'assise subéro-phellodermique (Cantat et Piazzetta, 2000 ; Aronson, 2009). C'est un matériau cellulaire avec un ensemble très intéressant et unique de propriétés physiques, biologiques et chimiques (Pereira, 2007 ; Costa et *al.*, 2019). Il est sous forme de couche externe épaisse, élastique et thermiquement isolant, et peut atteindre une épaisseur de 15 cm (Touati et *al.*, 2015). Son démasclage est effectué pour la première fois lorsque l'arbre a environ 25-30 ans (Leal et *al.*, 2007; Bugalho et *al.*, 2011) (Fig. 5).

Tout au long de l'espérance de vie du chêne-liège, l'arbre conserve la capacité de régénérer la partie externe du liège après chaque récolte, tant que le cambium vasculaire n'a pas été endommagé (Oliveira et Costa, 2012).



Figure 5. Ecorce de *Quercus suber* L. (Mokri et Mobarek, 2020)

### 3.4. Rameaux

Les rameaux sont sinueux pubescents les premières années, puis bruns clairs et enfin entièrement subéreux (Piazzetta, 2005). Ils sont marqués de lentilles très saillantes et de taches brunes jusqu'à l'apparition d'une couche de liège 4 à 5 ans plus tard, la mince couche de liège rosée s'épaissit avec l'âge et devient grisâtre sous l'action des intempéries (Villement et Fravai, 1991) (Fig. 6).

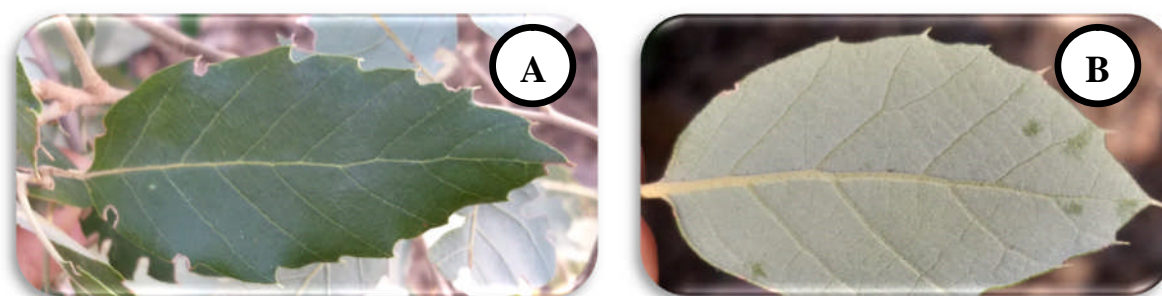


Figure 6. Rameaux de *Quercus suber* L. (Mokri et Mobarek, 2020).

### 3.5. Feuilles

Les feuilles du chêne liège sont persistantes (Saccardy, 1938 ; Piazzetta, 2005 ; Gil et Varela, 2008 ; Aronson, 2009 ; Silva et *al.*, 2012 ; kim et *al.*, 2017). Elles apportent une touche verte à la palette de couleurs sèches caractéristiques de l'été méditerranéen autrement dit pérennes (Aronson, 2009), sclérophylles (Pausas et *al.*, 2009). Elles portent 5 à 7 paires de nervures latérales peu saillantes (Piazzetta, 2005 ; Karem, 2008). Avec une taille variable mais plutôt petites, elles sont fermes, coriaces, glabres et un peu luisantes à la face supérieure, tomenteuses et blanchâtres à la face inférieure, et portées par un pétiole assez court (Saccardy, 1938) (Fig. 7).

Leur durée de vie est de 2 à 3 ans (Piazzetta, 2005). La chute des vieilles feuilles commence juste avant l'émergence des nouvelles pousses et se poursuit jusqu'à la fin du printemps, l'allongement de ces dernières s'arrête avant que l'expansion des feuilles ne se terminent tandis que des épis femelles poussent et portent 2 à 4 fleurs chacun (Oliveira, 1994 ; Caritat et *al.*, 2006).



**Figure 7. Feuille de *Quercus suber* L. (A) face supérieure, (B) face inférieure (Mokri et Mobarek, 2020).**

### 3.6 Floraison

Le chêne-liège est une espèce anémophile, allogame (Gil et Varela, 2008), et monoïque (Saccardy, 1938). Les fleurs mâles sont regroupées en grappes appelées « chatons » filiformes au bout des pousses de l'année précédente, les fleurs femelles poussent isolément à la base des feuilles de la pousse de l'année, avec une petite cupule écailleuse, surmontée d'une aigrette rouge (Cantat et Piazzetta, 2005) composée du pistil et des étamines (Lamey, 1893).

La floraison peut avoir lieu au printemps, en même temps que la feuillaison, à partir du mois d'avril et se prolonger jusqu'au mois de juin selon l'exposition et l'altitude (Jacamon, 1987 in Bouhraoua, 2003) (Fig. 8).



Figure 8. Fleur de *Quercus suber* L. A : chatons males ; B : inflorescences femelles.

### 3.7. Fruit

Le fruit du chêne appelé communément « gland », court et large, circulaire au sommet. Sa longueur varie entre 2,5 et 3 cm (Saccardy, 1938 ; Karem, 2008) (Fig. 9).

Cette espèce produit à la fois des glands annuels et bisannuels de 2 à 3 cm de long : les glands annuels mûrissent la même année que les fleurs qui les ont produits, tandis que les glands bisannuels poussent et mûrissent à l'automne de l'année suivante (Bugalho et *al.*, 2011 ; Kim et *al.* 2017).

La cupule est allongée, conique inférieurement ; les écailles sont légèrement saillantes, de longueur croissante à partir de la base et se terminent en lanières molles assez allongée (Lamey, 1893).

L'arbre fructifie à partir de 15 à 20ans et se poursuit au-delà de 100ans (Saccardy, 1938 ; Pereira, 2007 ; karem, 2008). Les bonnes fructifications se répètent tous les 2 ou 3 ans (Saccardy, 1937).

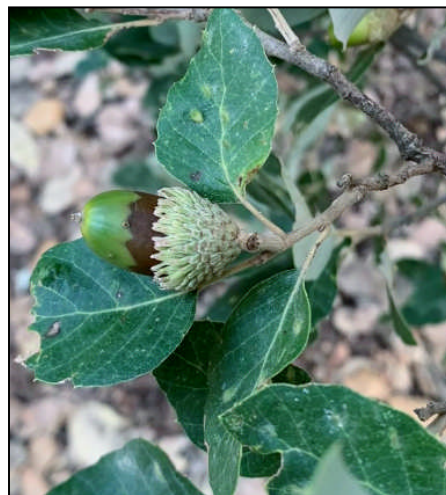


Figure 9. Gland de *Quercus suber* L. (Mokri et Mobarek, 2020).

#### 4. Exigences écologiques de *Quercus suber* L.

*Quercus suber* est une essence avec un tempérament généralement calcifuge, se plaisant surtout le substrat siliceux et acide (schistes et grés) (Saccardy, 1937 ; Bertrand, 2007), le chêne liège préfère des sols meubles, à textures légères, bien aérées et riches en matière organique, profonds au PH acide ou proche de la neutralité (Pereira, 2007).

C'est une espèce relativement thermophile (Adouane, 2011 ; Catry et *al.*, 2012) avec une température annuelle moyenne près de 15 ° C (Aronson et *al.*, 2009), et des maximales atteignant 35 à 40 °C (Passarinho et *al.*, 2006), ne tolère pas les températures à -10°C (Gil et Valera, 2008). Il est lié aux variantes non froides des bioclimats humides et subhumides (Tiberi et *al.*, 2016), voire semi-aride en cas de compensation hydrique telle que la nappe phréatique ou une forte humidité de l'air (Adouane, 2011).

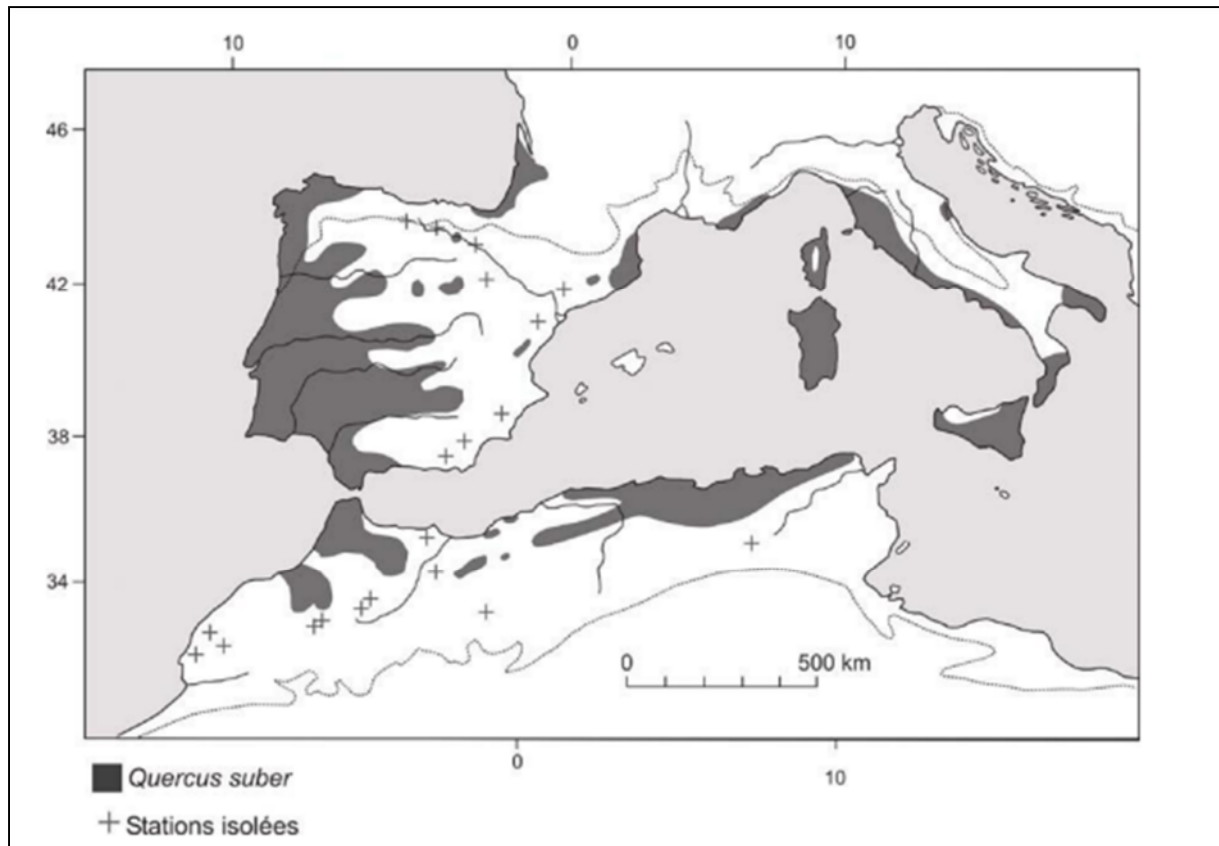
Il lui faut en outre une humidité atmosphérique constamment élevée, de l'ordre de 60% dans la saison la plus sèche (Saccardy, 1938). Avec des hivers humides et des étés à haute température, des précipitations annuelles moyennes qui ne doivent pas dépasser 900 mm, il est communément distribué à 300 et 600 m d'altitude et peut pousser jusqu'à 1000 m (Kim et *al.*, 2017).

#### 5. Aire de répartition géographique

##### 5.1. Dans le bassin méditerranéen

Les forêts du chêne liège (*Quercus suber*) sont réparties dans toute la méditerranée occidentale (Costa et *al.*, 2019). Dans les régions côtières du sud-ouest de l'Europe (la France, l'Italie, le Portugal et l'Espagne) (Pio et *al.*, 2005 ; Kim et *al.*, 2017) et le nord-ouest de l'Afrique (Maroc, Algérie et Tunisie, (Touati et *al.*, 2015 ; Kim et *al.*, 2017). De tout cet habitat, la tache la plus dense et la plus détendu est situé en Algérie et en Tunisie (Saccardy, 1938).

Les peuplements de chêne liège couvrent près de 2,5 millions d'hectares de terres dans le bassin méditerranéen occidental (Carty et *al.*, 2012), soit plus d'un million et demi d'hectares en Europe et près d'un million d'hectares en Afrique du nord (Pausas et *al.*, 2009) (Fig. 10).



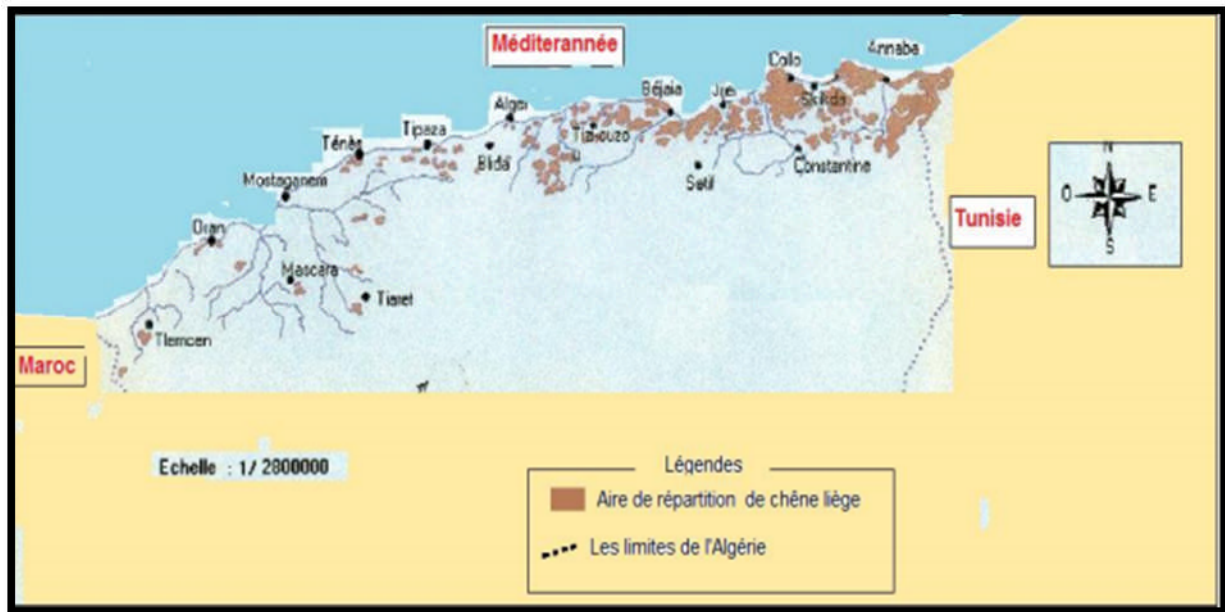
**Figure 10. Carte de l'aire de répartition géographique dans le bassin méditerranéen du chêne liège (*Quercus suber* L.) (Quézel et Médail, 2003).**

## 5.2. En Algérie

*Quercus suber* est situé dans la partie Est du pays, entre la côte et une ligne qui passe approximativement par Tizi-Ouzou, Kherrata, Jijel, El Kala, Guelma et Souk Ahras (moins de 50 km de la mer). Il est également présent dans la partie ouest du pays, dans les régions de Tlemcen et de Mascara (Touati et *al.*, 2015) (Fig. 11).

Actuellement, l'Algérie est le cinquième pays producteur de liège avec un tonnage annuel équivalent à 10000 tonnes, avec une superficie de 2910 000 ha (Rouibah et *al.*, 2018).

En Algérie, les forêts de chêne-liège revêtent un caractère particulièrement important car elles constituent un élément essentiel de l'équilibre physique, climatique et surtout socio-économique dans les zones rurales (Ganaoui et *al.*, 2020).



**Figure 11. Air naturelle de Répartition géographique de (*Quercus suber* L.) en Algérie (Quézel, 1956, modifiée).**

## 6. Importance socio-économique de *Quercus suber* L.

Le chêne-liège est associé à une biodiversité remarquable et constitue des écosystèmes uniques reconnus pour leur valeur écologique (Silva et Catry, 2006). En raison de la qualité et de la valeur de son écorce, le chêne-liège, de point de vue économique, l'essence forestière la plus importante d'Afrique du nord (Boudy, 1952).

Grâce à ses propriétés physico-chimique, le liège est utilisé dans de nombreux secteurs, principalement en agroalimentaire et plus particulièrement en œnologie dans le bouchonnage des bouteilles (Costa et *al.*, 2019), d'une multitude de produits alimentaires liquides surtout ceux d'origine viticole (Pereira, 2007).

Les applications en tant qu'isolant thermique contre la chaleur empêche la propagation du feu, le froid, le son et les vibrations (Yessad, 2000), production de bouchon à vin (Custodio et *al.*, 2013).

Les autres usages comprennent les revêtements des murs et des sols, les vêtements, les produits pour l'industrie des chaussures (semelles), les produits pour les industries chimique et pharmaceutique, ainsi qu'autres articles décoratifs (Pereira et *al.*, 2009).

Cette espèce est aussi une plante médicinale utilisée 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).

## 7. Etat de la subéraie en Algérie

L'état actuel des subéraies est préoccupant, par déficience de régénération naturelle, exploitation irrationnelle et illicite du liège (Sarmoum et *al.*, 2013), un faible rendement à l'hectare et une diminution progressive des quantités de liège récoltés annuellement (Daas et *al.*, 2014). De pâturages excessifs, d'incendies répétés, de ramassage systématique des glands et de coupes délictueuses. Ainsi que des dommages causés par divers ravageurs tels que les attaques d'insectes polyphages défoliateurs. Tous ces agents sont conditionnés par les changements climatiques, aggravent ainsi l'état des peuplements (Morsli, 2014).

## 8. Facteurs de menaces

### 8.1. Incendies

Devant le facteur "feu de forêt", le chêne-liège et la subéraie ont un comportement particulièrement exceptionnel. Le liège est capable de défendre le chêne-liège contre des feux assez intenses, qui ont toujours existé, en forêt méditerranéenne, sur terrains siliceux. En effet, il constitue un bon isolant thermique naturel, étant donné sa structure alvéolaire (cellules pleines d'air), son faible contenu en eau, et sa composition chimique. Sa conductivité thermique (0,0427 W/m°C) est 30 fois plus faible que celle du béton, protège les parties vitales de l'arbre lors du passage du feu (Letreuch- Belarouci et *al.*, 2009).

Le rôle des incendies de forêts mérite d'être souligné. La Direction générale des forêts (DGF) avance en effet le chiffre de 200 000 ha de forêts de chênes-lièges ravagées par le feu sur la période 1985-2012, soit une surface moyenne annuelle de près de 7 400 ha, avec trois pics notables en 1994 (63 000 ha), 1990 (15 000 ha) et 2012 (17 000 ha) (Bouhraoua et *al.*, 2014).



**Figure 12. Chêne-liège repoussant 2 mois après l'incendie (Bouakkaz, 2017).**

## **8.2. Pathogènes du chêne liège**

Les insectes suceurs de sève causant principalement des dommages esthétiques, tels que *Phylloxera quercus* Boyer de Fonscolombe et *Kermes vermilio* Planchon, cependant, cette dernière espèce mérite plus d'attention car elle se présente comme un vecteur possible du champignon pathogène *Diplodia mutila* Fr (Tiberi et al., 2017).

En ce qui concerne les mangeurs de glands, la pourriture des glands est due au parasite le plus dommageable, qui est le champignon *Ciboria batschiana* (Djabeur et al., 2011).

Les défoliations sévères et répétées par des insectes sont considérées comme un facteur causal important du déclin du chêne, si non de la mortalité du chêne, car elles prédisposent davantage les arbres à l'attaque d'autres organismes tels que les agents pathogènes et les insectes xylophages (Thomas, 2008). Certains papillons défoliateurs sont signalés comme ravageurs du chêne-liège dans tout le bassin méditerranéen, comme *Lymantria dispar* L. qui provoque une défoliation induisant une réduction de production de gland. (Alonso, 2008).

Les insectes associés à l'écorce et au bois jouent un rôle majeur dans le déclin du chêne en Europe ils creusent des galeries sous l'écorce et dans le bois des arbres fragilisés, provoquant fréquemment la mort des arbres, de plus, ils jouent un rôle majeur dans la propagation fongique pathogène, comme *P. cylindrus* et *C. welensii* et *P. myardi* (Tiberi et al., 2017).

Les insectes évoluant à l'intérieur des glands du Nord Est Algérien dans la région d'El Kala sont des Lépidoptères de la famille des Tortricidae (*Cydia fagiglandana* et *Cydia splendana*), et un coléoptère ce derniers est un important ravageur des glands de *Quercus* (Aldjami, 2016).



Figure 13. Quelques pathogènes du chêne liège. A : *Kermes vermilio* Planchon (Jordi Clavell, 2015) ; B : *Phylloxera quercus* Boyer de Fonscolombe (Claude Pilon ; 2009) ; C : *Diplodia mutila* Fr (Jafar Abdollahzadeh, 2014) ; D : *Ciboria batschiana* (Jean pierre Dechaume, 2009) ; E : *Lymantria dispar* L. (Messaudene, 2018) ; F : *Cydia fagiglandana* (Ben Sale, 2016) ; G : *Cydia splendana* (Vitaly Gumenuk) ; H : *Prinobius myardi* (Duborget Robin, 2014) ; I : *Platypus cylindrus* (P. Deschamps, 2011).

## II. Deuxième partie : Synthèse bibliographique sur les métabolites secondaires

### 1. Introduction

Les plantes sont généralement soumises à des stress biotiques (champignons, bactéries, virus...) (Léger, 2010) et abiotiques (blessures, pollution, salinité, sécheresse, températures extrêmes...) (Gómez et *al.*, 2005). Ce stress se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et de sa productivité (Wang et *al.*, 2001). Une modification de l'homéostasie cellulaire est provoquée par la production de formes réactives de l'oxygène (Parent et *al.*, 2008).

Des quantités excessives d'Espèce réactif de l'oxygène (ERO) peuvent provoquer un déséquilibre cellulaire dans les réactions de réduction-oxydation et perturber les fonctions biologiques normales, entraînant un stress oxydatif, une condition connue pour être responsable du développement de plusieurs maladies (Agidigbi et Kim, 2019).

Contre ces attaques pathogènes et les stress environnementaux les plantes produisent des métabolites secondaires qui sont une partie importante du système de défense des plantes avec des activités biologiques remarquables (Yang et *al.*, 2018).

### 2. Stress oxydatif

Le stress oxydatif survient en raison d'un déséquilibre entre la génération de ERO et les capacités de la plante à les détoxifier avec son système antioxydant ou en raison de la réaction de la plante à un facteur de stress et à une explosion oxydative contrôlée à l'intérieur de la cellule (Fig. 14) (Greene, 2002).

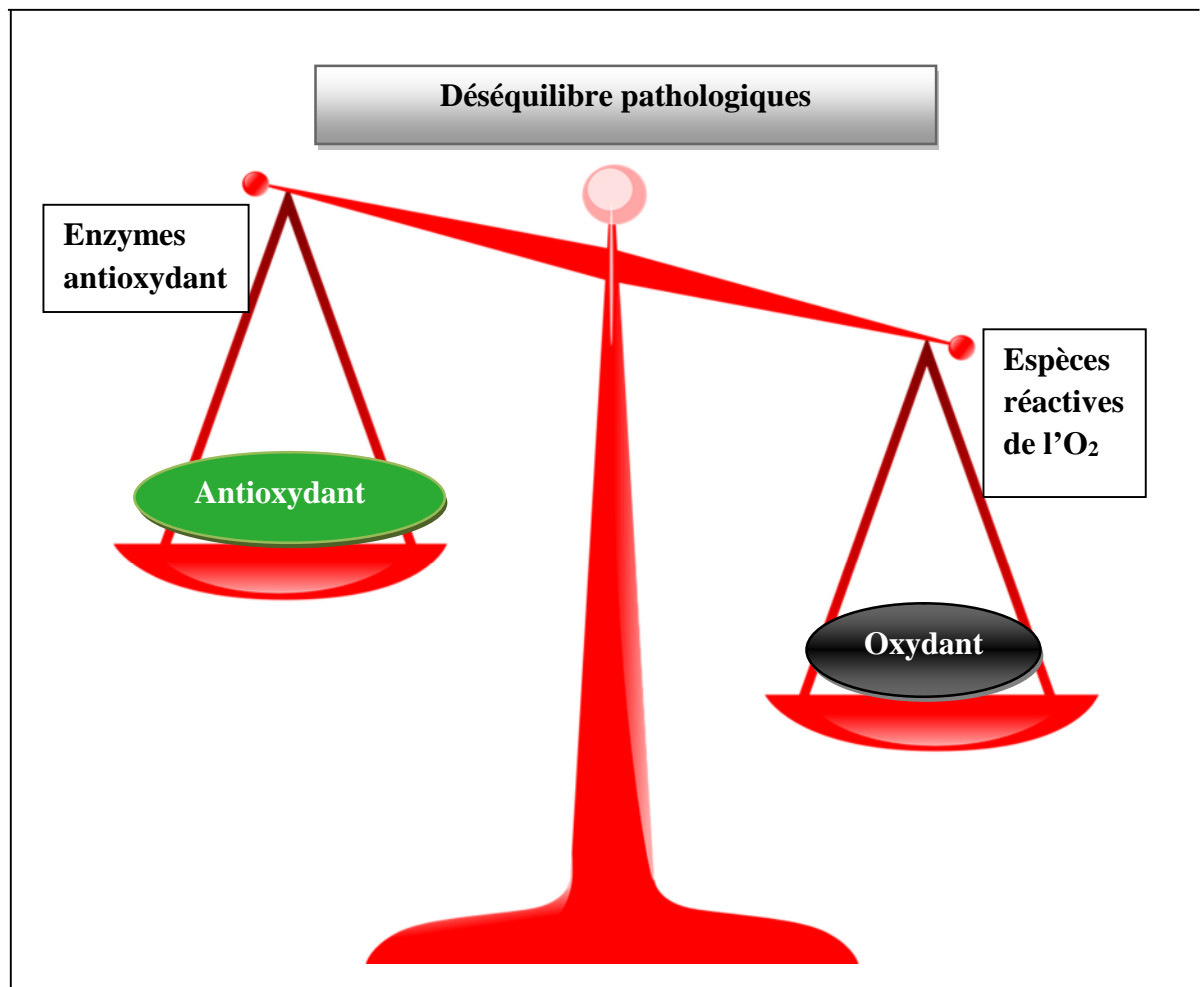


Figure 14. Balance du stress oxydant (Burg, 2017).

### 3. Définition des ERO

Les espèces réactives à oxygène (ERO) ; telles que  $O_2$ ,  $H_2O_2$ ,  $O_2^-$ ,  $HO$ , sont des molécules hautement réactives et diffusibles générées dans la cellule comme sous-produit de la respiration aérobie et du métabolisme (Arora et *al.*, 2002 ; Al-Gubory et *al.*, 2010). Elles sont capables de causer des dommages oxydatifs aux protéines, à l'ADN et aux lipides, en plus d'être des molécules toxiques (Baxter et *al.*, 2014 ; Del Río ; 2015. Zhang et *al.*, 2016).

#### 3.1. Sites de production d'ERO

Chez les eucaryotes, les ERO sont essentiellement produites par les organites cellulaires où il y a une forte activité métabolique ou un important flux d'électrons tels que les chloroplastes, les mitochondries et les peroxysomes, il existe des sites secondaires de production d'ERO tels que le réticulum endoplasmique, la membrane plasmique, la paroi cellulaire et l'apoplaste (Fig. 15) (Sharma et *al.*, 2012 ; Das et Roychoudhury, 2014).

En conditions lumineuses, les sites majeurs de production des ERO sont les chloroplastes et les peroxysomes, à l'obscurité, la majorité des ERO sont générées par les mitochondries (Choudhury et *al*, 2013).

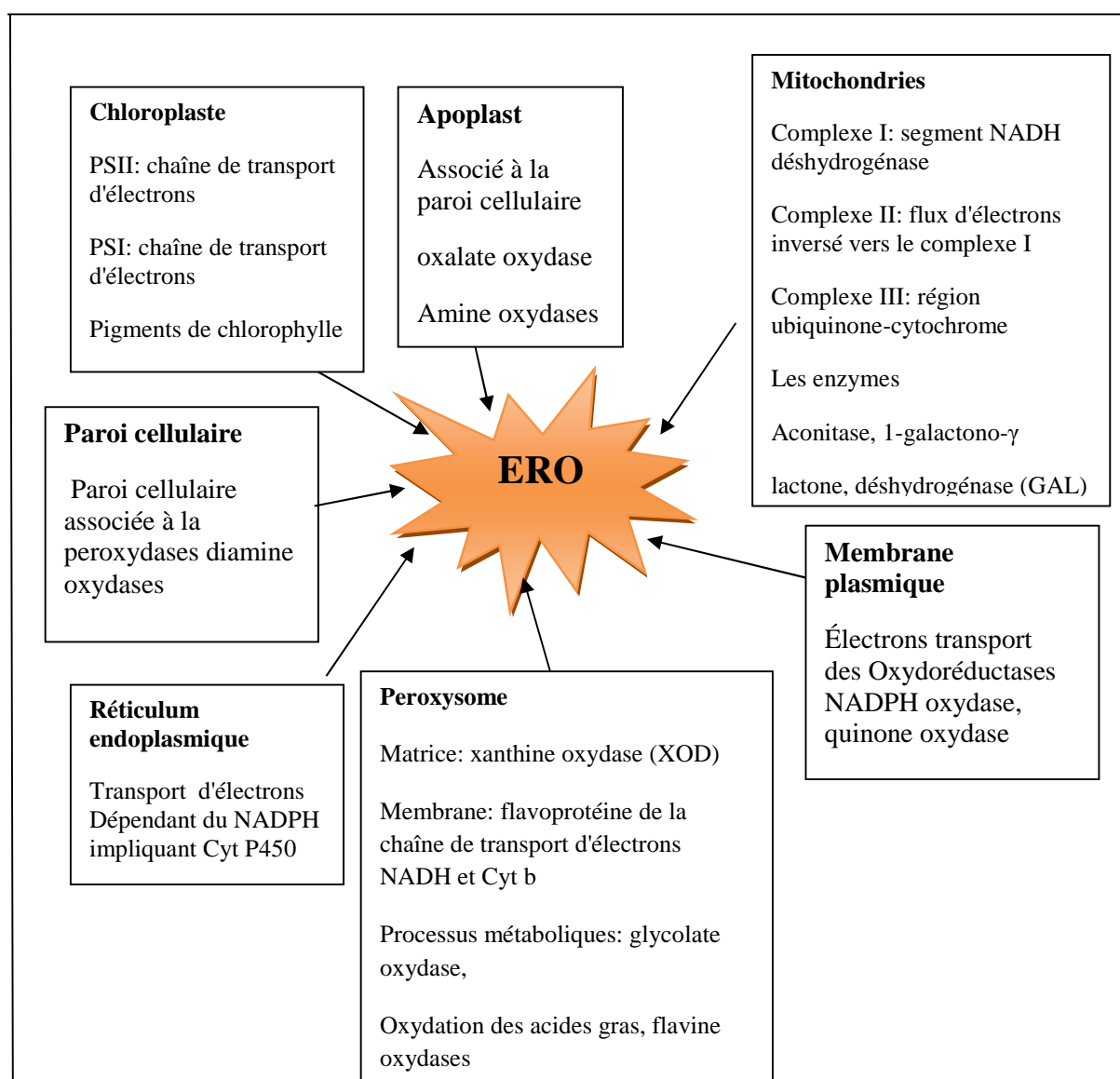


Figure 15. Sites de production des ERO (Sharma et *al*, 2012, modifié).

### 3.2. Cibles d'ERO

- Les lipides

Chez les plantes, les lipides majoritaires des membranes chloroplastiques, principal lieu de production d'ERO, sont les galactolipides tels que le monogalactosyl diacylglycérol (MGDG) et le digalactosyl diacylglycérol (DGDG) (Kobayashi et *al.*, 2007). En condition de stress, les ERO produites attaquent les lipides des membranes selon le processus de

peroxydation lipidique pour former un mélange complexe d'hydroperoxydes lipidiques (Fig. 16) (Montillet et *al.*, 2004).

- **L'ADN**

L'ADN de la plante est vulnérable aux dommages causés par les ERO soit directement soit par peroxydation lipidiques (Tujeta et *al.*, 2001). Ces dommages induisent l'oxydation des nucléobases, y compris la guanine, la réparation de ces bases modifiées peut entraîner des erreurs conduisant à une mutagenèse (Harris et De Nicola, 2020). Les ERO attaquent à la fois la base et les fragments de sucre produisant des ruptures simples et double brin dans le squelette, adduits de groupes de base et de sucre, et réticulations avec d'autres molécules, lésions qui bloquent la réplication (Català et *al.*, 2000).

- **Les protéines**

Au niveau cellulaire, lorsque les protéines sont exposées à des espèces réactives de l'oxygène, des modifications des chaînes latérales d'acides aminés se produisent et, par conséquent, la structure protéique est modifiée, ces modifications entraînent des changements fonctionnels qui perturbent le métabolisme cellulaire (Català et *al.*, 2000).

L'ensemble des composés issus de l'action des ERO sur les protéines sont regroupés sous le terme d'advanced oxidation protein products (AOPP), parmi lesquels la méthionine sulfoxyde, la dityrosine et la 3-nitrotyrosine (Jaisson et *al.*, 2017).

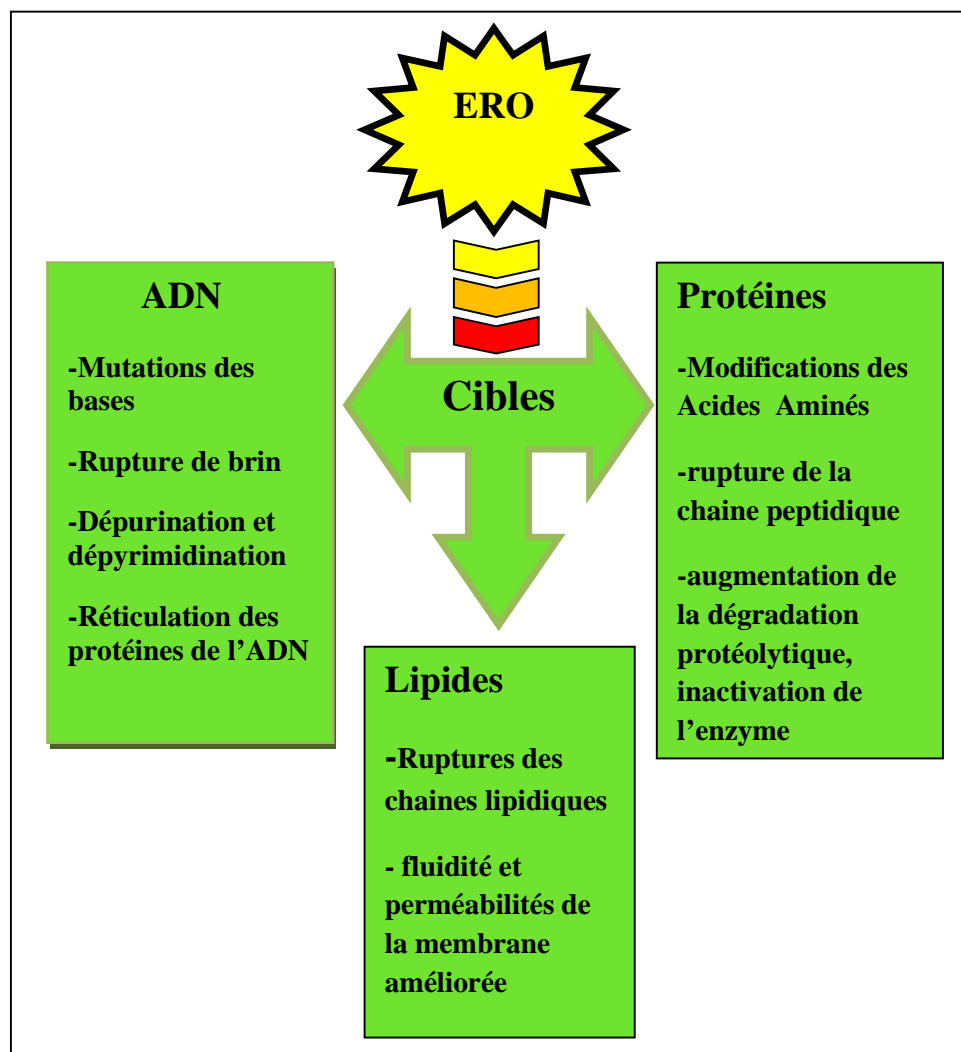


Figure 16. Les différentes cibles des ERO (Das et Roychoudhury, 2014, modifié).

### 3.3. Les antioxydants

Ils sont des composants interagissent les uns avec les autres pour contrôler la production de ERO, assurant ainsi des défenses adéquates contre le stress oxydatif (Al-Gubory et *al.*, 2010), les seules molécules pouvant protéger l'organisme vivant des dommages cellulaires (Ahama et *al.*, 2010).

Leur rôle d'antioxydants naturels suscite de plus en plus d'intérêt pour la prévention et le traitement du cancer, des maladies inflammatoires et cardiovasculaires, ils sont également utilisés comme additifs en industrie agroalimentaire, pharmaceutique et cosmétique (Bougandoura et Bendimerad, 2012 ; Bouras, 2015).

### 3.3.1. Types d'antioxydants

Le système antioxydant est constitué de composants enzymatiques et non enzymatiques (Nouman et *al.*, 2018)

- **Antioxydants enzymatiques**

Les enzymes localisées dans les différents compartiments subcellulaires et comprenant la machinerie antioxydante comprennent la Superoxyde Dismutase (SOD), la Catalase (CAT), l'Ascorbate Peroxidase (APX), la Monodehydroascorbate réductase (MDHAR), la Déhydroascorbate réductase (DHAR), la Glutath Reductase (GR) et la glutathion Peroxydase (GPX) (Das et Roychoudhury, 2014).

- **Antioxydants non-enzymatiques**

Les antioxydants non enzymatiques forment l'autre moitié de la machinerie antioxydante, comprenant Acide aminés, GSH,  $\alpha$ -tocophérol, caroténoïdes, phénoliques, flavonoïdes et acide aminé, proline. Protègent non seulement les différents composants de la cellule contre les dommages, mais jouent également un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes en modifiant les processus cellulaires comme la mitose, l'élongation cellulaire, la sénescence et la mort cellulaire (De Pinto et De Gara, 2004).

### 3.3.2. Mécanisme d'action des antioxydants

Selon (Cillard et Cillard, 2006) les mécanismes d'action des antioxydants sont les suivant :

- Mécanismes d'action des antioxydants « chain breaking » Cette catégorie d'antioxydants va réagir le plus souvent avec les radicaux peroxydes ou alcoxydes, interrompant ainsi la réaction de propagation de la peroxydation, ces antioxydants peuvent agir selon deux mécanismes :
  1. Les donneurs d'hydrogène, ces antioxydants sont principalement des composés phénoliques mono- ou polyhydroxylés d'hydrogène, ces antioxydants sont principalement des composés phénoliques mono- ou polyhydroxylés
  2. Les antioxydants « sacrifiés ». Le qualificatif de « chain breaking antioxidant sacrificial » employé par Buettner concerne des molécules, elles mêmes radicalaires, qui réagissent avec les radicaux peroxydes ou alcoxydes pour donner des produits non radicalaires interrompant ainsi la propagation de la peroxydation. Deux radicaux sont connus pour se combiner avec les radicaux peroxydes : le monoxyde d'azote (NO) et l'anion superoxyde ( $O_2^-$ ).

- Mécanismes d'action mixtes En fait de nombreux antioxydants ont des modes d'action mixtes ce qui complique leur classification. Deux exemples peuvent illustrer ces mécanismes multiples :
  - L'acide ascorbique est un désactivateur de l'oxygène singulet ;
  - Les flavonoïdes sont chélateurs de métaux, piègeurs d'anions superoxyde et donneurs d'hydrogène.
- L'élimination des hydroperoxydes générateurs de radicaux libres est une autre voie de prévention des oxydations. Les hydroperoxydes peuvent être réduits par des enzymes La glutathion peroxydase (GPx) et la catalase (CAT).

#### 4. Facteurs agissant sur les métabolites secondaires

Les plantes interagissent avec l'environnement pour leur survie, sont influencées par les facteurs du milieu incluant des stimulants biotiques et abiotiques qui régulent la biosynthèse des métabolites secondaire (Fig. 17). (Zhi-lin et *al.*, 2007)

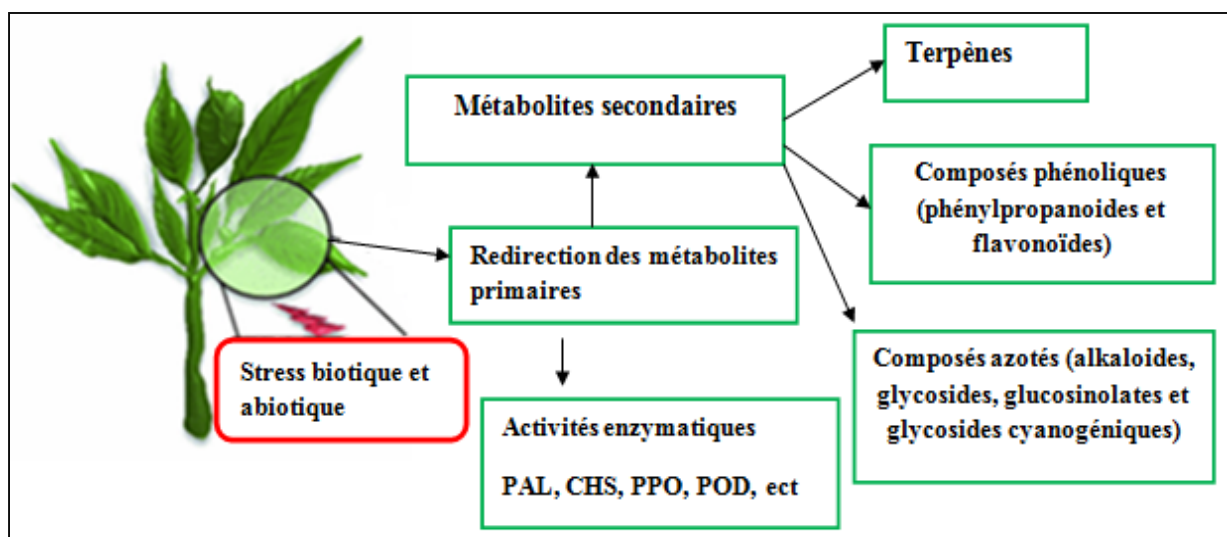


Figure 17. Le stress biotique et / ou abiotique (Borges et *al.*, 2017, modifié).

#### 4.1. Facteurs Abiotiques

Le stress abiotique causé par la lumière, la température, l'humidité, la disponibilité de l'eau et des nutriments, les métaux lourds et la salinité dans le sol, affectent de manière significative la teneur en MS des plantes (Borges *et al.*, 2017).

##### 4.1.1. Facteurs climatiques

###### a. Sècheresse

La sécheresse est une forme physiologique de déficit hydrique où l'eau du sol disponible pour la plante est en quantité insuffisante, ce qui nuit au métabolisme de la plante (Kumar *et al.*, 2018). Cependant, elle entraîne chez les végétaux des réponses morphologiques (surface foliaire réduite, longueur de tige réduite, moulage des feuilles...etc), physiologiques (transpiration, efficacité de l'utilisation de l'eau...etc). Les réponses biochimiques (accumulation de proline, polyamine, tréhalose...etc) sous stress de sécheresse, ce qui en fait un phénomène plus complexe à élucider (Fig. 18) (Kumar *et al.*, 2018).

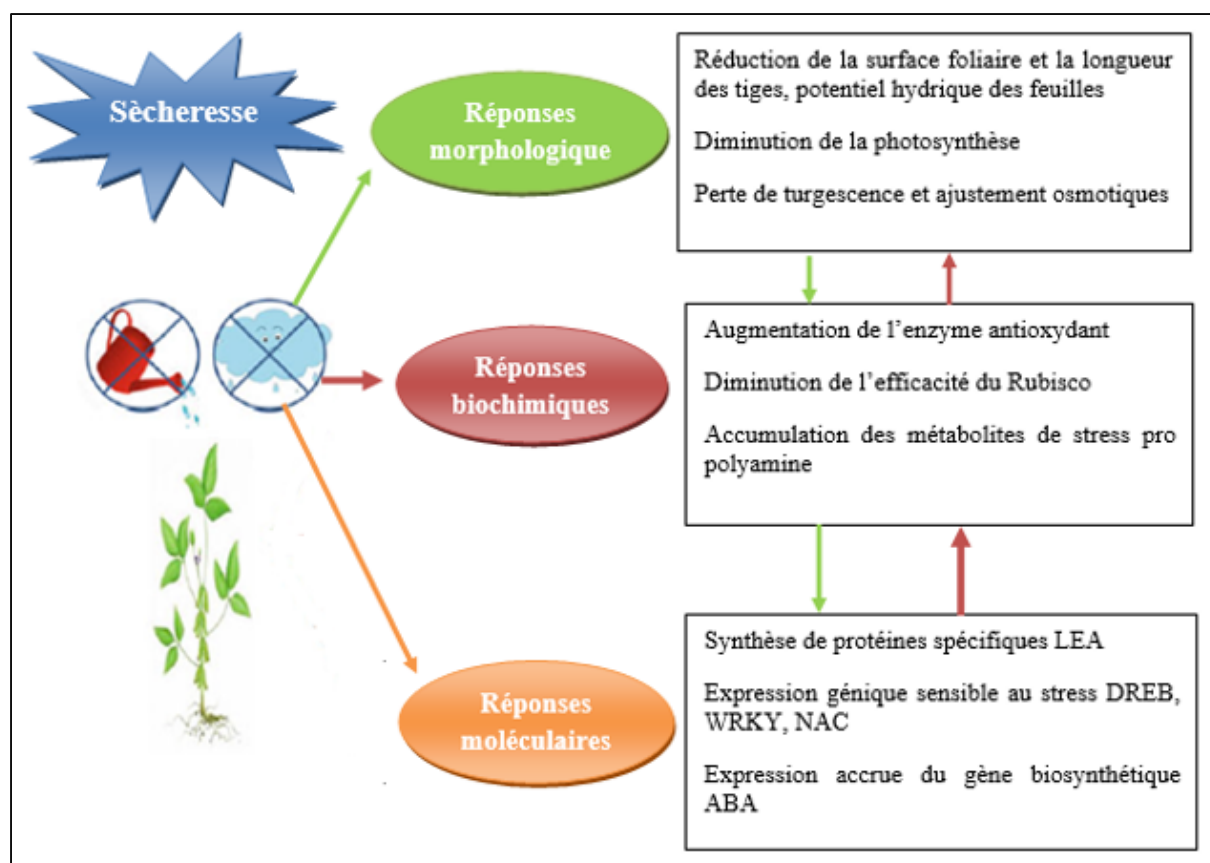
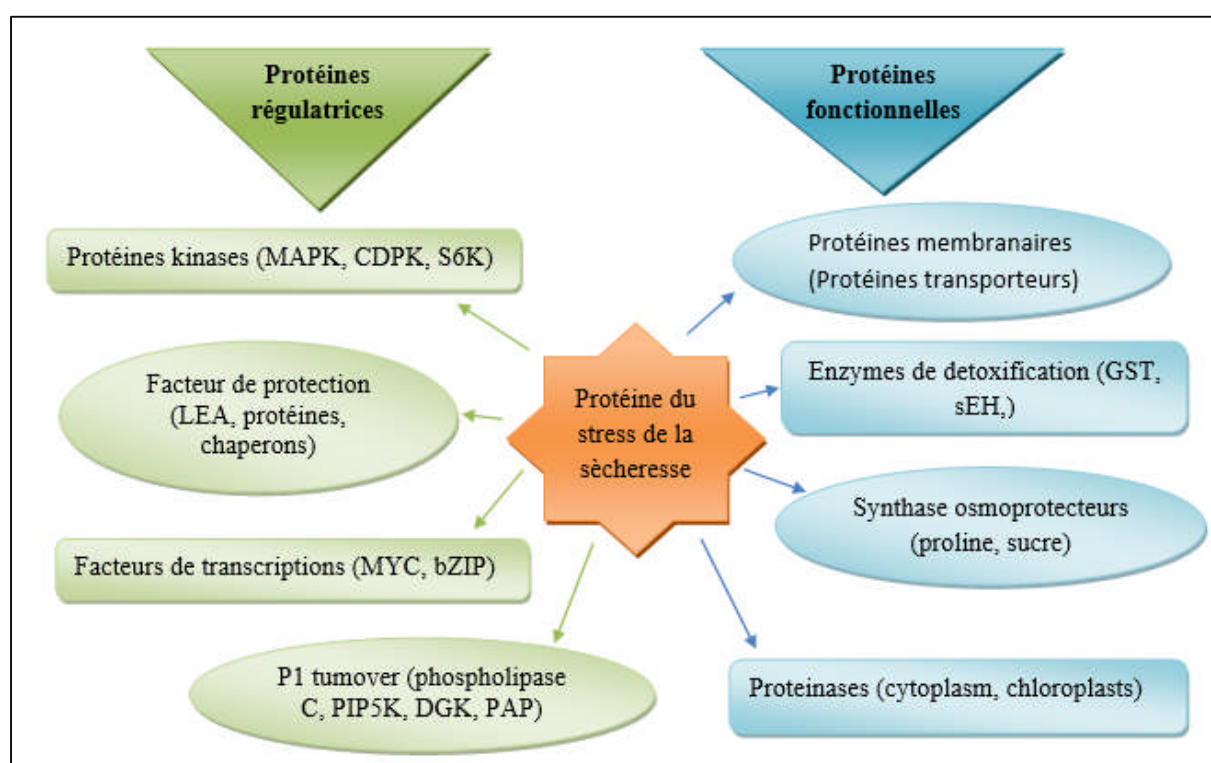


Figure 18. Réponses des plantes au stress de la sécheresse (Kumar *et al.*, 2018, modifié).

La sécheresse engendre des réponses moléculaires sur une série de gènes et de voies de transduction du signal qui sont hautement régulées et permettent aux plantes de survivre aux conditions de stress (Luo et *al.*, 2012). Les gènes fonctionnels comprennent la protection cellulaire (enzymes pour générer des métabolites et protéines protecteurs) et des gènes régulateurs qui régulent la réponse au stress (comme les protéines kinases et les facteurs de transcription). Ces gènes ont été classés en tant que protéines fonctionnelles et protéines régulatrices. Les protéines fonctionnelles fonctionnent dans la tolérance au stress et les protéines régulatrices fonctionnent dans la transduction du signal et l'expression génique à la réponse au stress (Fig. 19) (Kumar et *al.*, 2018).



**Figure 19. Les protéines inductibles de la tolérance en réponses à la sécheresse (Vats, 2018, modifié).**

La sécheresse induit une diminution de la photosynthèse, principalement attribuée à la diminution de la conductivité  $\text{CO}_2$  à travers les stomates et les cellules mésophiles, la fermeture des stomates en réponse aux conditions de sécheresse empêche la perte d'eau augmentant ainsi l'efficacité d'utilisation de l'eau des plantes et diminuant le taux de transpiration (Ashraf et Harris, 2013).

**b. Polluants**

Les polluants pénétrant dans la plante par l'intermédiaire des stomates entraînent d'une part, par leur caractère agressif, un stress de type oxydatif (production de radicaux hydroxyles et des ERO), d'autre part un stress spécifique lié à ses caractéristiques propres (perturbation du métabolisme du  $\text{Ca}^{++}$ , perturbation de l'équilibre oxydoréduction des cellules...) (Calatayud et *al.*, 2013).

**c. Ultraviolets**

Chez les plantes, des niveaux d'UV élevés atteignant la surface des feuilles peuvent entraîner des photo dommages dus à l'accumulation des ERO (Caldwell et *al.*, 2007). Ils sont capables de déclencher une oxydation non spécifique de différents composants cellulaires (endommageant les acides nucléiques, oxydant les protéines et provoquant la peroxydation lipidique) et même la destruction oxydative de la cellule (Mittler, 2002 ; Gill et Tuteja, 2010).

**d. Température**

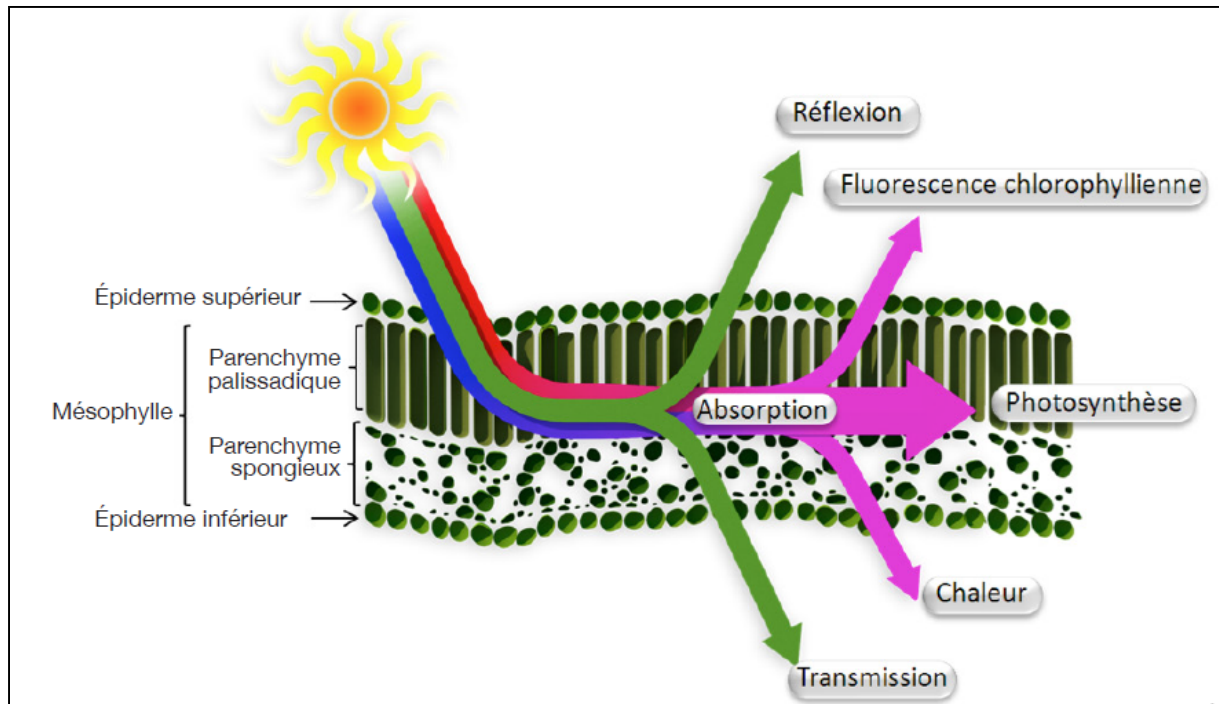
Le stress des températures élevées (= 40° C) (Stavrouta et Rahul, 2016). Peut provoquer une sénescence prématurée des feuilles (Hajiboland, 2012) ; Production de l'acide abscissique (ABA) dans la racine, est transporté vers les pousses et régule le comportement des stomates. Mais aussi des altérations de l'ultrastructure et le dépliage des membranes thylacoïdal, ainsi que l'augmentation de la conductivité des ions, qui conduit à leur dysfonctionnement, le complexe évolutif de l'oxygène (OEC) (Singh et Thakur, 2018).

Une basse température peut imposer une série de contraintes sur les plantes. Pendant l'hivernage, le métabolisme des plantes tempérées est redirigé vers la synthèse de molécules cryoprotectrices telles que les alcools de sucre (sorbitol, ribitol, inositol), les sucres solubles (saccharose, raffinose, stachyose, tréhalose) et des composés azotés de faible poids moléculaire (proline, glycine bêtaïne) (Akula, 2011).

Les plantes survivent à des températures glaciales soit par évitement, principalement par super refroidissement d'eau tissulaire, ou par tolérance au gel. Plusieurs espèces végétales ont la capacité d'augmenter leur tolérance de congélation (FT) en réponse à une faible température non-congelant (inférieures à 10°C), dans une photopériode courte, un phénomène connu sous le nom de froid acclimatation (Mantri et *al.*, 2012).

### e. Lumière

Le devenir d'une lumière incidente naturelle ou artificielle lorsqu'elle impacte le végétal, présente différentes possibilités d'évolution. Comme l'illustre la figure 20, pour le rayonnement solaire, une part importante de la lumière est absorbée par la chlorophylle contenue dans les chloroplastes, une autre est transmise et une troisième est réfléchiée (Ben Abdallah *et al.*, 2015).



**Figure 20. Représentation schématique du comportement du rayonnement solaire incident impactant la surface d'une feuille (Ben Abdallah *et al.*, 2015).**

Les intensités lumineuses au-dessus du point de saturation lumineuse de la photosynthèse sont nuisibles aux plantes et ont un stress lumineux élevé, la lumière induit la baisse du taux de photosynthèse est généralement appelée photo-inhibition, si elle est élevée elle altère principalement le complexe PSII, qui est le site d'initiation de flux linéaire d'électron et du dégagement d'oxygène de l'eau (Singh et Thakur, 2018).

### f. L'ozone O<sub>3</sub>

L'O<sub>3</sub> est phytotoxique et réduit la photosynthèse et la croissance des plantes ( Li et al., 2017 ) et induit des changements substantiels dans l'activité des protéines, l'expression des gènes, les voies de signalisation et le métabolisme avant même que des lésions tissulaires ne puissent être détectées (Holopainen et al., 2018).

#### 4.1.2. Facteurs édaphiques

De très nombreux facteurs édaphiques influencent la végétation, il peut s'agir de facteurs physiques (texture, densité, structure, température, etc.), de facteurs chimiques (quantité de matière organique, potentiel redox, capacité d'échange anionique et cationique), ou de la disponibilité en ressources (eau, éléments minéraux) (Tab.I) (Freschet et al., 2018).

**Tableau I : principales propriétés du sol imposant des contraintes aux plantes. (Freschet et al., 2018)**

Contraintes abiotiques	Effets sur le fonctionnement de la plante
<b><u>Facteurs physiques</u></b>	
Faible contenu en argiles	Faible disponibilité en éléments minéraux limitant la croissance des plantes, et plus particulièrement leurs parties aériennes
Forte compaction	Forte densité de sol en profondeur et absence de pores limitant la croissance racinaire
Sols sableux et absence d'agrégation	Sols érosifs et faible ancrage des plantes
Sols âgés et/ou forte profondeur de l'interface Sol/roche-mère	Faible disponibilité en éléments minéraux, en particulier du phosphore, entraînant une forte dépendance aux associations mycorhiziennes ou à des organes racinaires spécialisés sol/roche-mère
Sol inondé	Faible disponibilité en oxygène et éléments minéraux limitant la croissance des plantes et favorisant le développement d'aérenchymes
Température	Faible et forte températures réduisant la croissance des plantes

<b><u>Facteurs chimiques</u></b>	
Faible contenu en eau Liquide	Faible disponibilité en eau et éléments minéraux en milieux arides et sols gelés limitant la croissance des plantes et peuvent entraîner un flétrissement
Faible contenu en matières organiques	Faible disponibilité en éléments minéraux, en particulier l'Azote limitant la croissance des plantes
Forte salinité Forte teneur en métaux lourds	Stress osmotiques et toxicité en sodium et chlore Toxicité des métaux lourds, en particulier de l'aluminium, notamment dans les sols acides ou ils sont présents dans la solution du sol
Sols acides	Faible disponibilité en éléments minéraux, en particulier l'Azote, phosphore et potassium limitant la croissance des plantes
Sols calcaires	Déficiences en microéléments, en particulier fer, zinc entraînant des dysfonctionnements métaboliques

Selon Boudy (1952), La mauvaise qualité pédologique du substratum des peuplements et la présence de calcaire dans le sol constituent des facteurs limitant pour l'installation des jeunes semis de chêne liège. Cependant les propriétés physico-chimiques de la litière et de l'humus, présentent un rôle très important dans la levée de semis de chêne liège en évitant, d'une part le développement et d'autre part le dessèchement précoce des glands.

#### **a. Salinité**

La salinité est un des facteurs édaphiques qui engendre un stress chez les plantes. Il conduit à un stress osmotique et un déséquilibre ionique, ce qui entraîne une accumulation ou une diminution de métabolites secondaires (Akula, 2011).

Pour répondre à ce type de stress les plantes développent de nombreuses adaptations physiologiques et biochimiques : ajustement osmotiques, compartimentation ionique, variation du rapport  $K^+/Na^+$ , modification du taux d'évaporation par réduction de la taille des

feuilles, variations des pigments photosynthétiques et stimulation des régulateurs de croissance, etc sont les adaptations importantes des plantes pour faire face au stress salin (Fig.21) (Sairam et Tyagi, 2004).

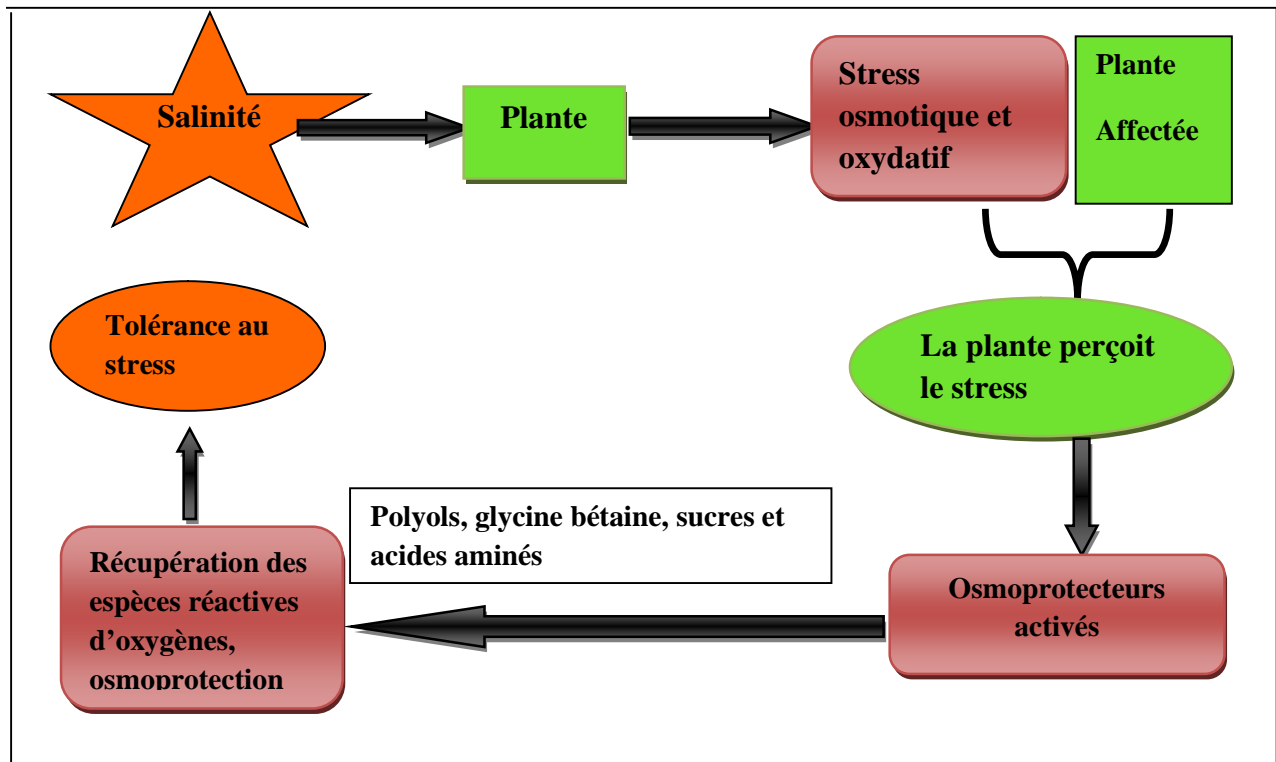


Figure 21. Schéma général sur la tolérance des plantes aux stress salin (Singh et *al.*, 2015, modifié).

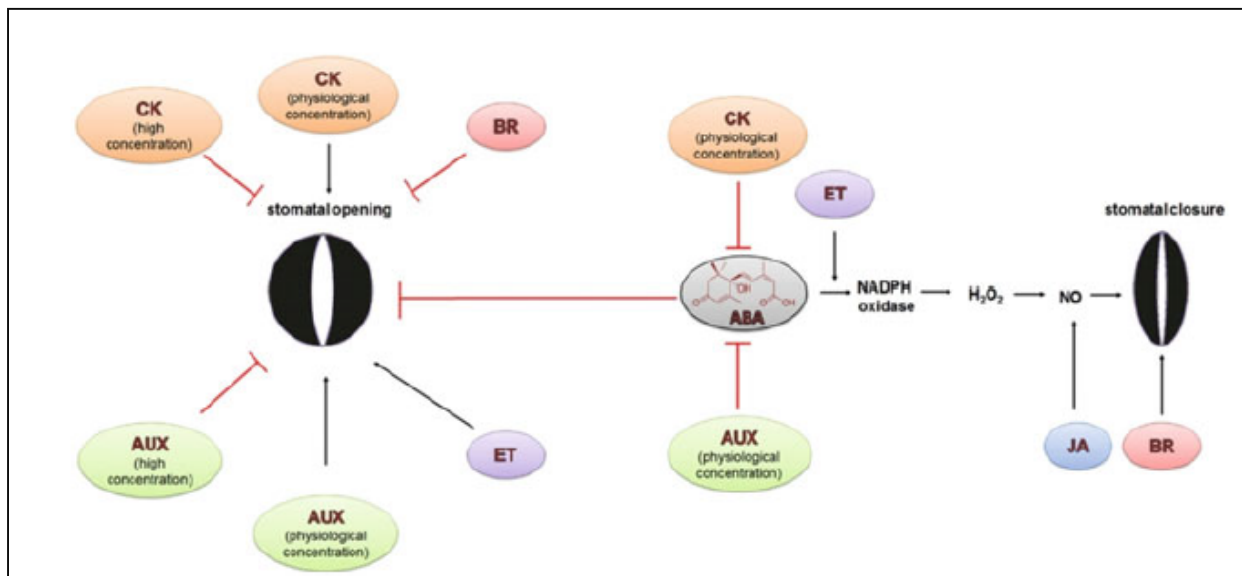
#### 4.2. Facteurs Biotiques

Le stress biotique représente les conséquences des dommages induits par des organismes vivants comme les bactéries, les virus, les champignons, les parasites et les insectes...etc. (Borges et *al.*, 2017). Certains métabolites secondaires (phytoalexines) ont des activités antimicrobiennes qui fonctionnent comme un système défensif chez les plantes contre les agents pathogènes (Lincoln et Zeiger, 2006).

### 5. Effet du stress sur la production des phytohormones

Des études récentes indiquent que la morphogenèse est étroitement liée à l'homéostasie hormonale, L'ABA joue un rôle important dans un certain nombre de processus physiologiques, tels que le développement, les réponses aux stress abiotiques et la réglementation de la fonction stomatique. L'ABA peut être synthétisé dans les deux racines et les pousses, et en particulier dans les veines, les graines et les cellules de garde. Un déficit hydrique et un stress de salinité élevé induisent l'accumulation des niveaux d'ABA dans les plantes. L'accumulation d'ABA favorise un changements dans l'expression des gènes et fermeture des stomates avec la réduction de la transpiration et de la perte d'eau. C'est la conséquence de fermeture stomatique, il y a une diminution des échanges gazeux entraînant la réduction de l'activité photosynthétique (Mittler et Blumwald, 2015).

L'auxine (acide indole-3-acétique IAA) et ses gradients sont étroitement associés à la formation de racines latérales et à la ramification axillaire, deux composantes clés des réponses SIMR (réponses morphogénique induites par le stress) des plantes exposées au stress abiotique (Potters et *al.*, 2007). L'éthylène lui aussi impliqué dans les réponses de plusieurs espèces végétales à la chaleur, sécheresse, ou l'ozone (Rao et *al.*, 2002). Cependant, la plupart des données suggèrent une mineur contribution du l'éthylène dans les SIMR, par la variance de la sensibilité auxiliaires des plantes (Fig. 22) (Takahashi et *al.*, 2003).



**Figure 22. La régulation de la fermeture et de l'ouverture stomatiques pendant le stress hydrique (Vtas, 2018).**

## 6. Définition des métabolites secondaires

Les plantes produisent divers composés organiques, dont la grande majorité ne semble pas participer directement à leurs croissance et développement (Fang et *al.*, 2011). Ces substances, traditionnellement appelées métabolites secondaires, sont souvent distribuées différemment parmi des groupes taxonomiques limités dans le règne végétal (Hanson, 2003). Dans le passé, ils étaient considérés comme des déchets résultant d'erreurs du métabolisme primaire (Bennett et Wallsgrov, 1994).

### 6.1. Classification des métabolites secondaires

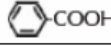
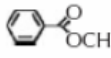
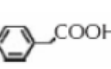
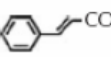
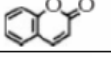
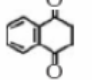
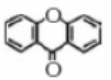
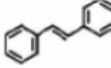
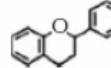
Sur la base de leurs origines biosynthétiques, les métabolites secondaires des plantes peuvent être divisés en trois grands groupes (Crozier et *al.*, 2006) : les composés phénoliques, les terpènes et les composés azotés (les alcaloïdes) (Fang et *al.*, 2011).

#### 6.1.1. Composés phénoliques

Les composés phénoliques ou polyphénols sont des constituants répandus dans des aliments végétaux (fruits, légumes, céréales...etc.) et dans les boissons (thé, café, bière, vin...etc.) et sont partiellement responsables des propriétés organoleptiques globales des aliments végétaux (Jin et *al.*, 2010).

Ce sont des substances qui contiennent au moins un cycle aromatique à 6 carbones, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles (OH) (Hennebelle et *al.*, 2004), Ils peuvent être classés en fonction du nombre et de l'agencement de leurs atomes de carbone et sont communément substitués par des sucres et des acides organiques. Ces composés phénoliques peuvent être divisés en deux groupes : les flavonoïdes et les non-flavonoïdes (Crozier et *al.*, 2006) (Tab.II).

Tableau II : structure des squelettes des polyphénols (Crozier et *al.*, 2006).

Nombre de carbones	Squelette	Classification	Exemple	Structure de base
7	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub>	Acides phénols	Acide gallique	
8	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub>	acétophénonnes	Gallacetophénone	
8	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub>	Acide phénylacétique	Acide p-hydroxyphénylacétique	
9	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub>	Acides hydroxycinamiques	Acide p-coumarique	
9	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub>	Coumarines	Esculetine	
10	C <sub>6</sub> -C <sub>4</sub>	Naphthoquinones	Juglone	
13	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>6</sub>	Xanthones	Mangiférine	
14	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub>	Stilbènes	Resveratrol	
15	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub>	Flavonoïdes	Naringénine	

### 6.1.1.1. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des structures phénoliques qui sont présentes en abondance dans les cellules photo-synthétisantes (Compean et *al.*, 2014). Et qu'en fortes concentrations dans l'épiderme des feuilles et la peau des fruits (Crozier et *al.*, 2006). On les trouve également sous forme de mélanges de composants colorés oligomères / polymères dans divers bois de cœur et écorces (Rodney et *al.*, 2000).

La structure flavonoïde de base est le noyau flavan, contenant 15 atomes de carbone disposés en trois cycles (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>), qui sont étiquetés A, B et C (Fig. 23), les flavonoïdes sont eux-mêmes divisés en six sous-groupes (Jin et *al.*, 2010).

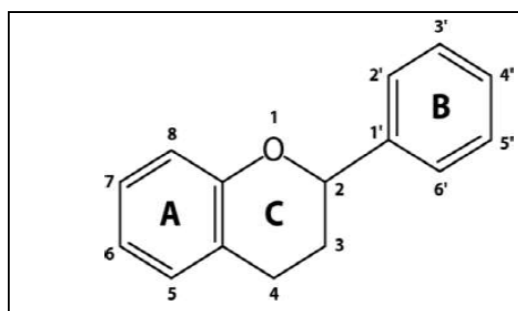


Figure 23. Structures de base des flavonoïdes (Bruneton, 2009).

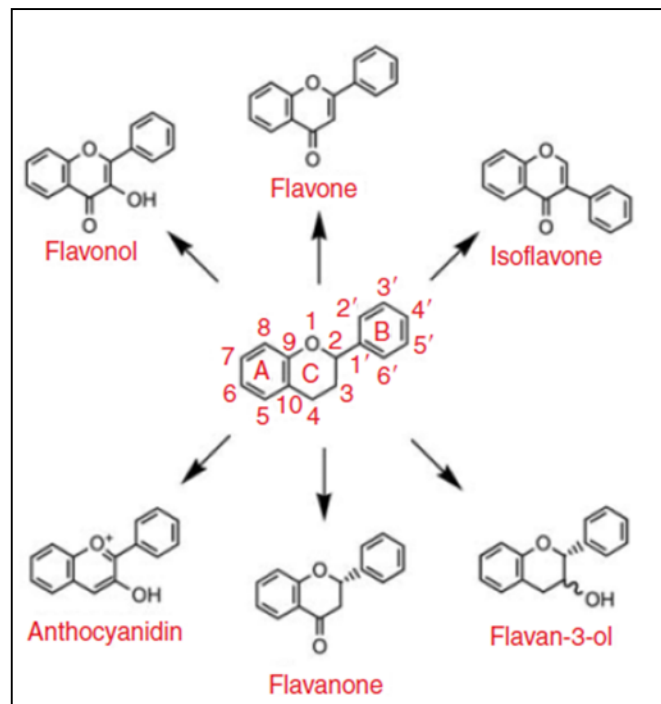


Figure 24. Structures génériques des principaux flavonoïdes (Crozier et *al.*, 2006).

### 6.1.2.2. Autres composés phénoliques (non-flavonoïdes)

#### a. Acide phénolique (phénols simples)

Ce sont les formes les plus simples présentant des structures chimiques allant de simple phénol en C<sub>6</sub> (Macheix et *al.*, 2005). Et d'un ou plusieurs groupements hydroxyles. Ils sont hydrosoluble dans la vacuole, et sont également connus sous le nom d'hydroxybenzoates, dont le composant principal étant l'acide gallique qui est un élément constitutif des tannins hydrolysables (Crozier et *al.*, 2006).

#### b. Hydroxycinnamates

L'acide cinnamique est un composé de C<sub>6</sub> – C<sub>3</sub> qui est converti en une gamme d'hydroxycinnamates qui, sont en effet des produits de la voie phénylpropanoïde, alors ils sont appelés collectivement phénylpropanoïdes (Crozier et *al.*, 2006).

Les hydroxycinnamates les plus courants sont les acides p-coumarique, caféique, férulique et sinapique (Fig. 25) (Macheix et *al.*, 2005).

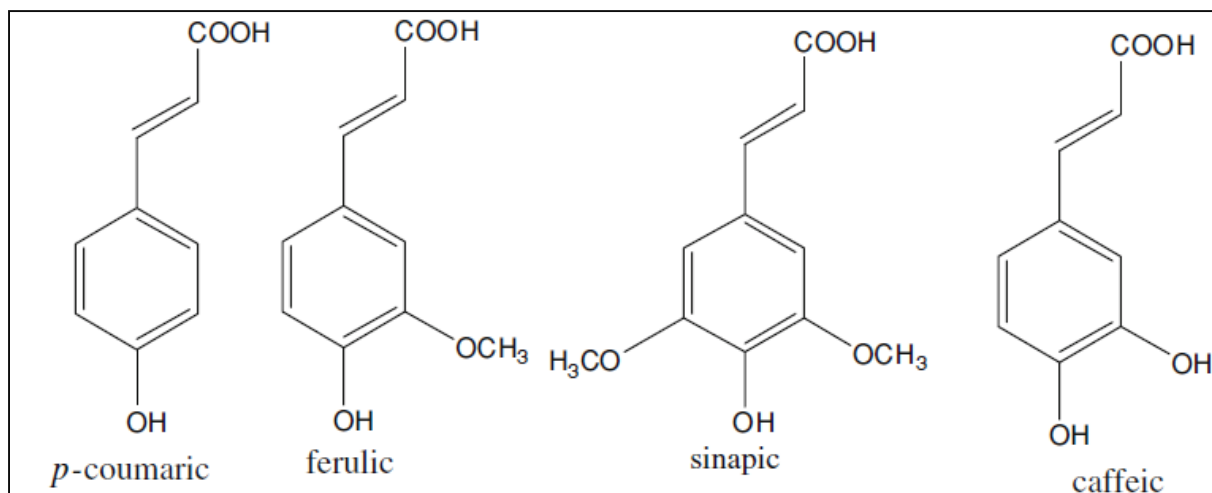


Figure 25. Les hydroxycinnamates les plus courants (Shahidi et Chandrasekar, 2010).

### c. Les stilbènes

Les stilbènes possèdent une structure C6-C2-C6 commune aux flavonoïdes avec les deux carbones du milieu possédant une double liaison. Ce sont des phytoalexines, produites par les plantes en réponse à une attaque par les microbes pathogènes fongiques, bactériens et viraux, les sources principales des stilbènes sont les raisins, les vins, le soja et les arachides (Fig. 26). (Crozier et *al.*, 2006)

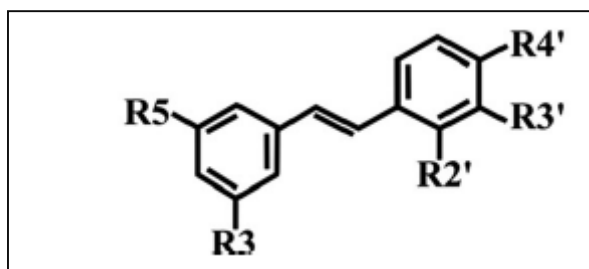
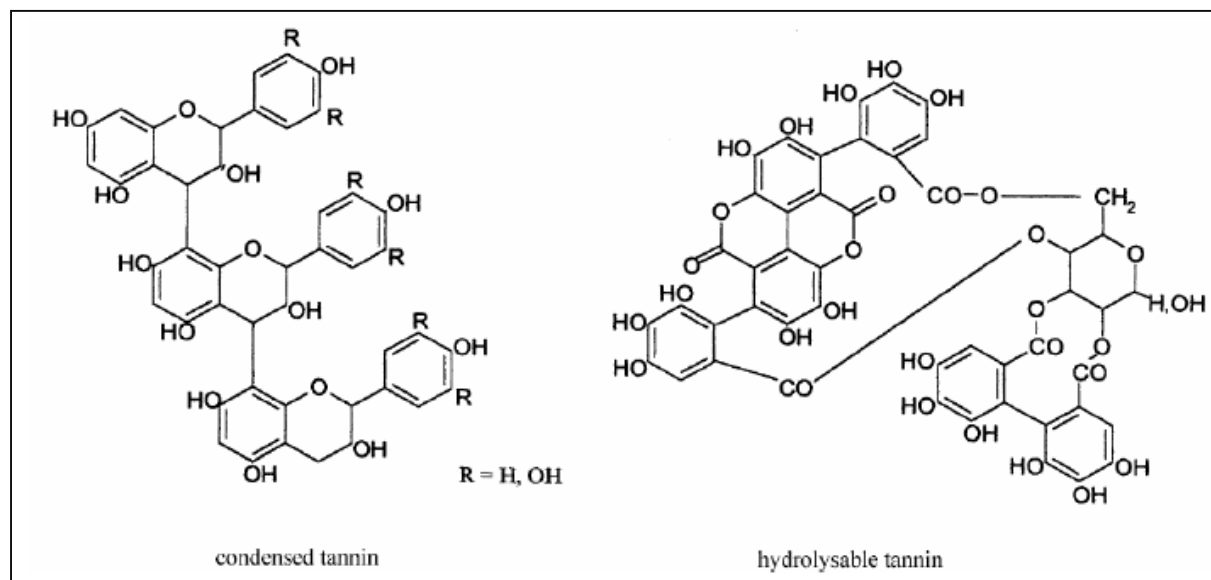


Figure 26. Structures chimiques des stilbènes végétaux communs O-Glu—O-b- D-glucopyranoside (Dubrovina et Kiselev, 2017).

### d. Les tannins

Les tanins sont des substances phénoliques polymériques présentes dans presque toutes les parties de la plante (Compean et *al.*, 2014). Le terme était à l'origine utilisé pour décrire les composants végétaux qui sont responsables de la conversion des peaux d'animaux en cuir dans le processus de tannage en formant des complexes stables avec le collagène cutané (Bennick, 2002).

Ils sont généralement classés en deux grands groupes : Les tanins hydrolysables constituent un noyau central de glucide auquel les acides carboxyliques phénoliques sont liés par une liaison ester. Des tanins condensés ou des proanthocyanidines, sont constituées d'oligomères de deux ou plusieurs flavan-3-ols, tels que la catéchine, l'épicatéchine ou la gallocatéchine (Fig. 27) (Harinder et *al.*, 2007).



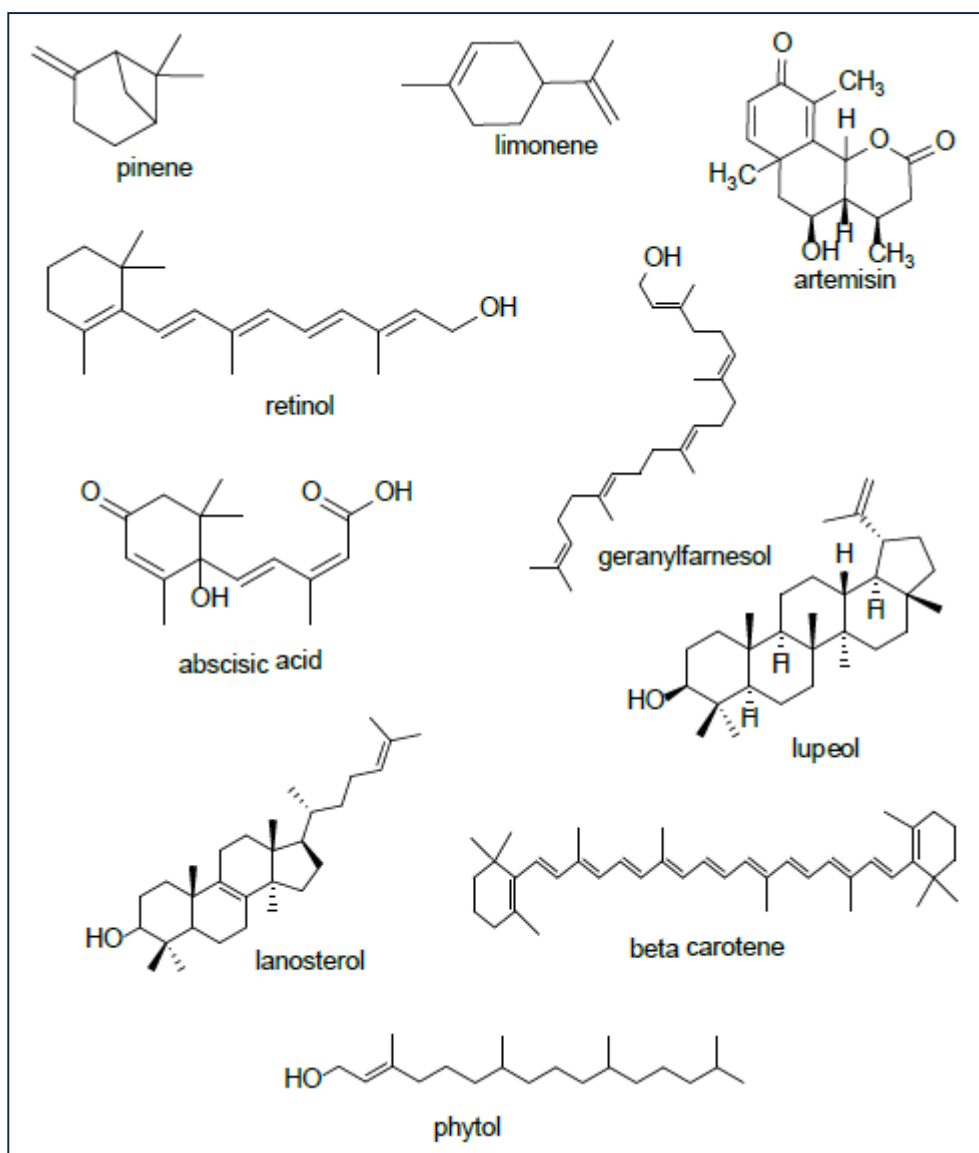
**Figure 27. Structure chimique de tannin condensé et hydrolysable (Hassanpour et *al.*, 2011).**

### 6.1.2. Terpènes

Les terpènes constituent la plus grande classe de métabolites secondaires (Mazid et *al.*, 2011). Ce sont des arômes et des parfums, des antibiotiques, des hormones végétales et animales, des lipides membranaires, des attracteurs d'insectes, des antis alimentaires et des médiateurs des processus essentiels de transport d'électrons (Crozier et *al.*, 2006).

Leur squelette carboné est constitué d'unités isopréniques reliées, c'est ce que l'on appelle la règle de l'isoprène. Ces squelettes peuvent être arrangés de façon linéaire ou bien former des cycles. (Briemann et *al.*, 2006).

Tous les terpénoïdes sont dérivés par fusion répétée d'unités ramifiées à cinq carbones basés sur le squelette isopentane. Ainsi, les terpènes peuvent être classés en hémiterpènes (C5), monoterpènes (C10), sesquiterpènes (C15), diterpènes (C20), sesterpènes (C25), triterpènes (C30), tétraterpènes (C40) (Fig.28) (Rodney et *al.*, 2010).



**Figure 28.** Exemples de terpènes - pinène et limonène (monoterpènes), acide abscisique et artémisine (sesquiterpènes), rétinol et phytol (diterpènes), géranylfarnésol (sesterterpène), lanostérol et lupéol (triterpènes) et bêta-carotène (tétraterpène) (Singh, 2017).

### 6.1.3. Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont un groupe diversifié de composés azotés de faible poids moléculaire dérivé principalement d'acides aminés et trouvé dans environ 20% des espèces végétales (Crozier et *al.*, 2006 ; Harinder et *al.*, 2007).

Comme métabolites secondaires, les alcaloïdes joueraient un rôle défensif dans la plante contre les herbivores et agents pathogènes ; ils sont actuellement utilisés en clinique comprennent les analgésiques morphine et la codéine, l'agent antinéoplasique vinblastine, la colchicine antigoutteuse (Fig.29) (Crozier et *al.*, 2006).

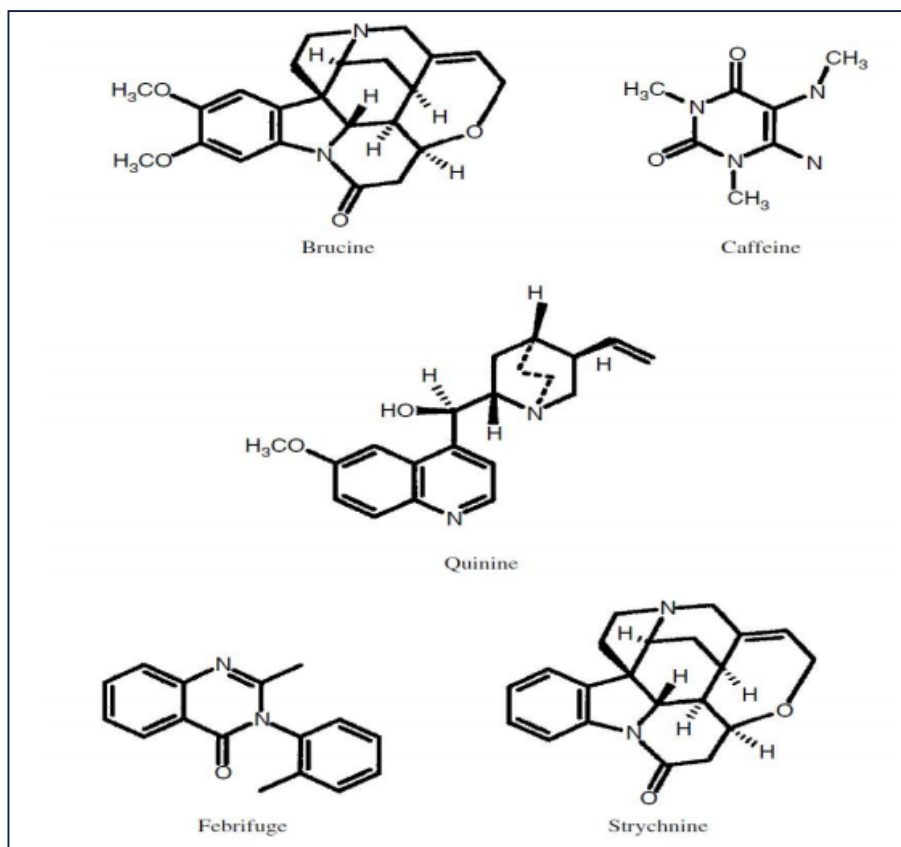


Figure 29. Certains alcaloïdes (Bribi, 2018).

## 7. Biosynthèse des métabolites secondaires

L'origine biosynthétique des composés phénoliques des végétaux est proche, tous dérivant de l'acide shikimique, cette voie shikimate conduit à la formation des oses aux acides aminés aromatiques (phénylalanine et tyrosine), puis par désamination de ces derniers, aux acides cinnamiques et à leurs très nombreux dérivés : acide benzoïques, acétophénones, lignanes et lignines, coumarines (Fig.30). (Bruneton, 1993)

La voie de l'acide shikimique, la voie du non-mévalonate (MEP) et la voie du mévalonate (MVA) forment de nombreux composés chimiques, divisés en classes, tels que les terpénoïdes, les alcaloïdes monoterpéniques indoles, les alcaloïdes isoquinoléïns, les flavonoïdes et les anthocyanes (Borges *et al.*, 2017).

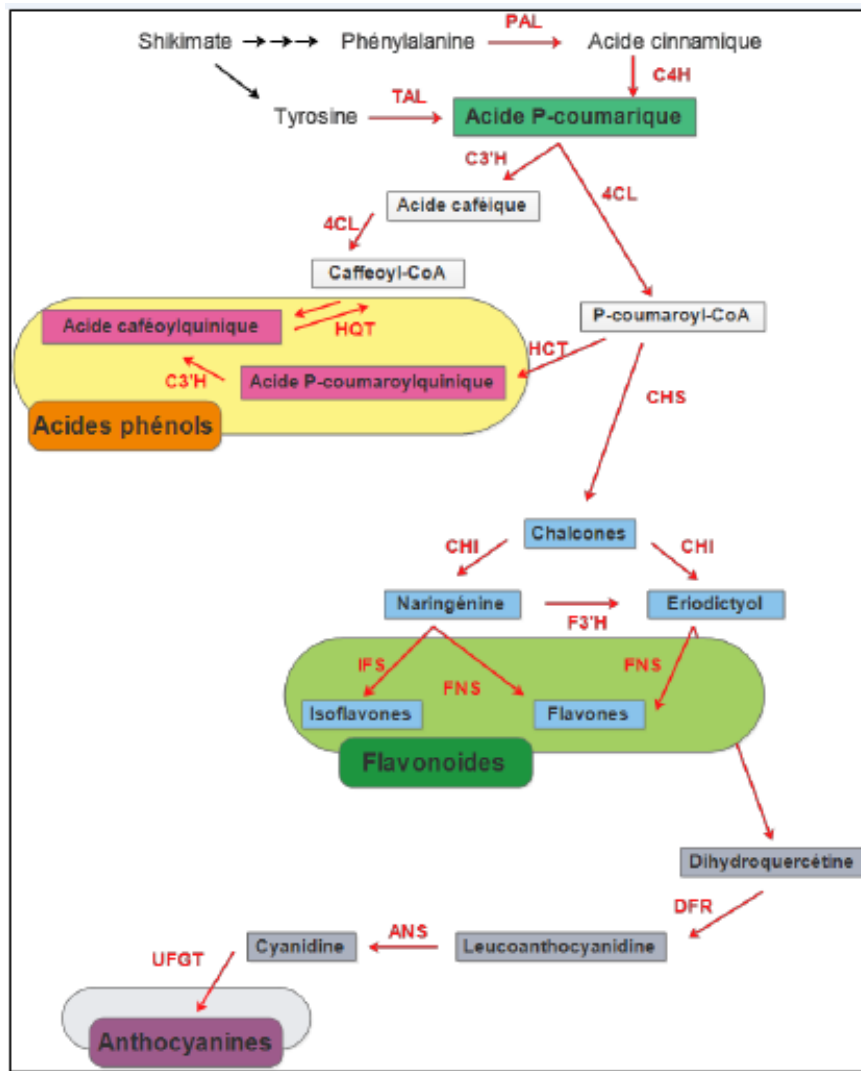


Figure 30. Voies de biosynthétiques des composés phénoliques (Fowler et Koffas, 2009).

### 8. Rôles des métabolites secondaires

Ils sont responsables des activités biologiques des plantes médicinales (Croteau et *al.*, 2000). Ils ont un rôle de protection de la plante dans des conditions défavorables, contre des pathogènes et les stress environnementaux (Lincoln et Zeiger, 2006),

Les flavonoïdes sont impliqués dans des processus aussi divers que, la pigmentation, la stimulation de la fixation de l'azote nodules et résistance aux maladies (Fig.31) (Crozier et *al.*, 2006), ainsi que la protection UV. Les flavones et les flavonols protègent les cellules des rayons UV-B, car ils s'accumulent dans les couches épidermiques de feuilles et de tiges et absorbent fortement la lumière dans la région UV-B tout en laissant les longueurs d'onde visibles partout sans interruption (Rodney et *al.*, 2000 ; Mazid et *al.*, 2011).

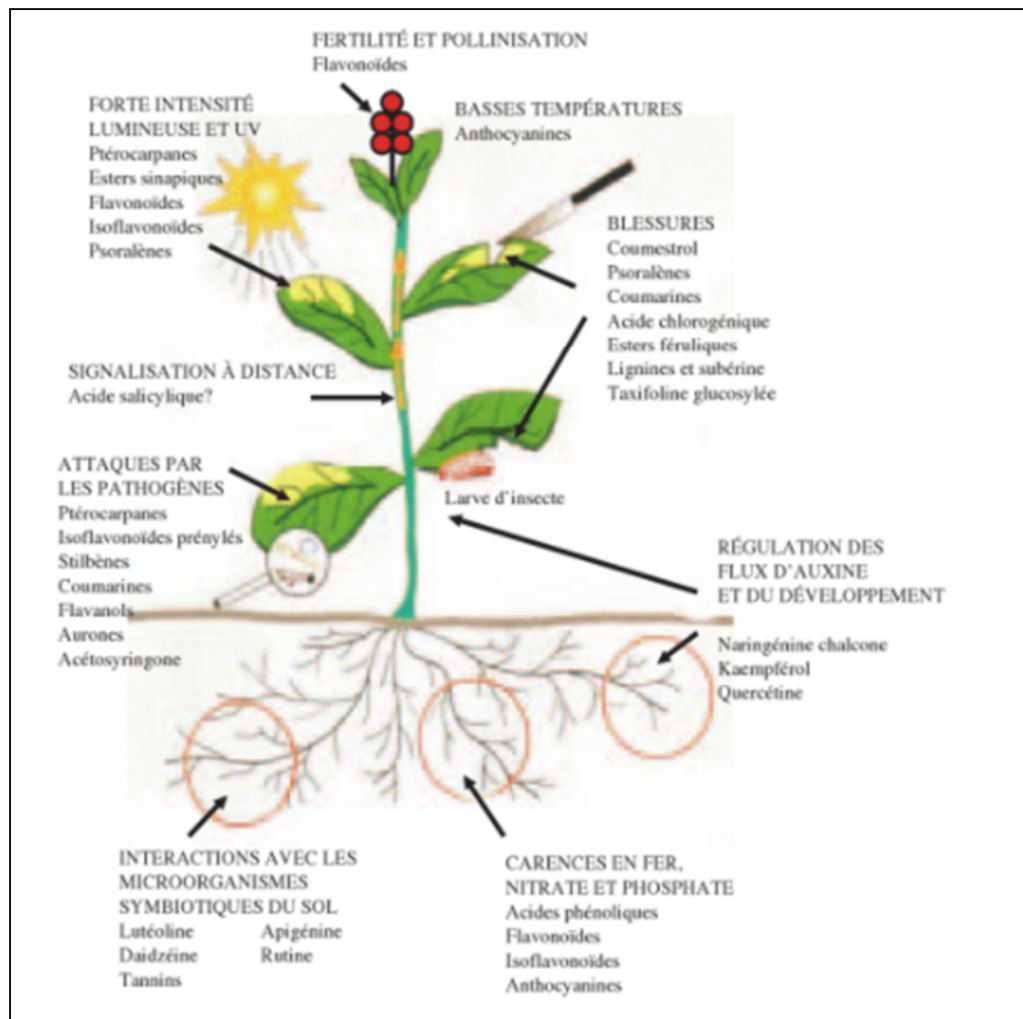


Figure 31. Quelques implications des métabolites secondaires (Macheix et al., 2005).

### 9. Composés chimiques de *Quercus suber* L.

L'analyse phytochimique réalisée par (Hassikou et al., 2014) a permis de constater que *Quercus suber* est une espèce qui renferme différents groupes chimiques tels que les composés phénoliques dont les saponines et les tanins avec une prédominance des tanins dans l'écorce. En outre, certains composés identifiés ont été signalés pour la première fois comme des composants du liège, à savoir l'acide salicylique, l'ériodictyol, la naringénine, l'acide quinique et l'acide hydroxyphényllactique (Fig. 32) (Sonia et al., 2010).

#### e. Subérine

La subérine est le principal composant structural des cellules de liège de *Quercus suber* périderm, où elle représente environ 50% du matériau total, elle est le composant chimique caractéristique des cellules de liège dans le phloème des écorces d'arbres et d'autres tissus trouvés dans les parties souterraines des plantes- (par-exemple l'épiderme, l'endoderme,

l'exoderme, le phloème des racines et le phloème des tubercules). Il est lié chimiquement et fonctionnellement à la cutine, un composant de l'épiderme des feuilles (Pereira, 2007).

#### f. Lignine

La lignine est un polymère réticulé de nature aromatique, c'est le deuxième plus important composant structurel des cellules de liège où il représente environ 20 à 25% du matériel totale, elle offre le support mécanique et la rigidité aux parois cellulaires (Pereira, 2007)

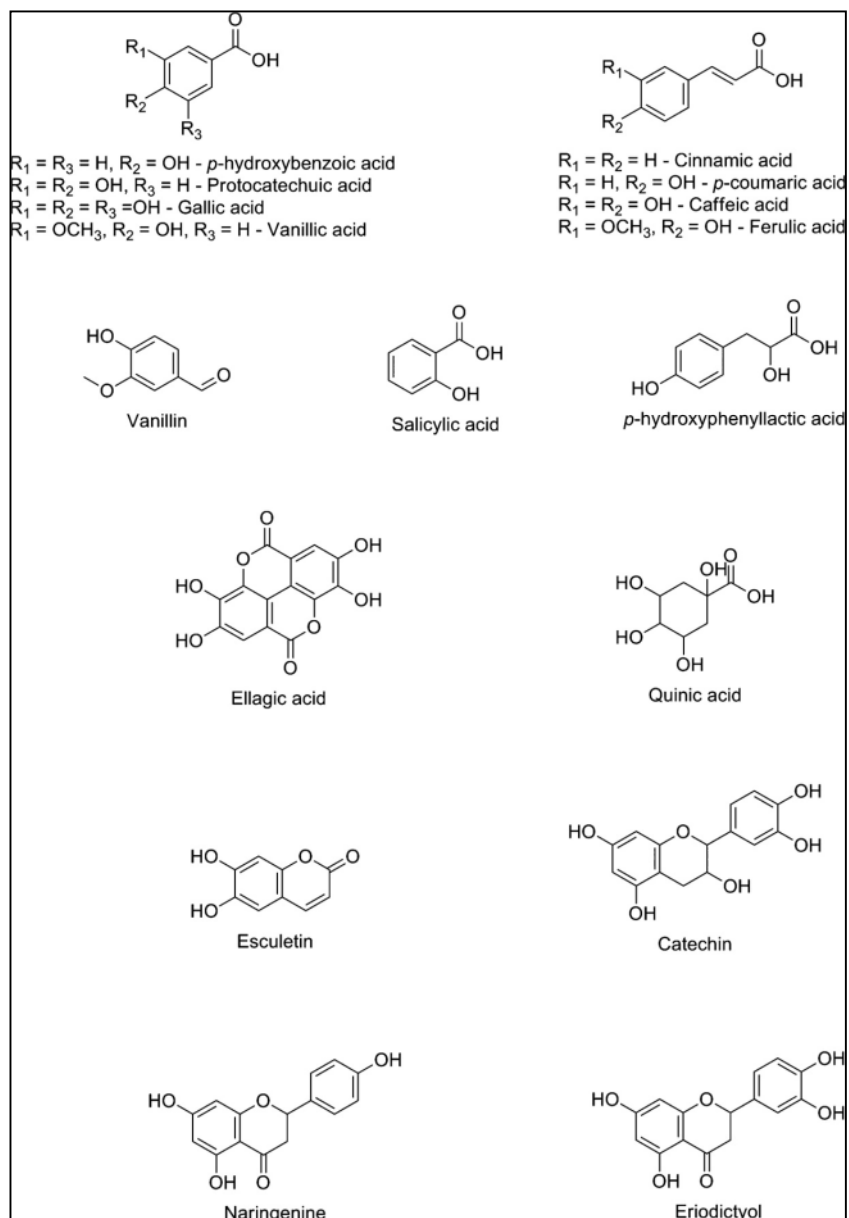


Figure 32. Structures des composés identifiés dans les extraits de liège de *Quercus suber* L. (Sonia et al., 2010).

# **Chapitre II**

## **Matériels et Méthodes**

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique

Le site d'étude expérimentale est localisé dans la forêt domaniale d'AZOUZA située dans la commune de Zekri wilaya de Tizi ousou. 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. 33).



Figure (33) : localisation géographique de la zone d'étude (Google earth, 2020).

Tableau III : Situation géographique de la zone d'étude.

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

## 1.2. Description du site d'étude

L'étude est réalisée au sein d'une jeune futaie régulière (Fig. 34), dans la forêt domaniale d'Azouza, dans le canton d'Ait Hamad à Zekri wilaya de Tizi Ouzou. Ce peuplement est située dans l'étage de végétation thermo-méditerranéen, avec un régime saisonnier de type HP AE. Elle est classée dans l'étage bioclimatique sub-humide à variante tempérée (Quézel et Medail, 2003)



**Figure 34. Structure du peuplement de la station d'étude (Mokri et Mobarek, 2020).**

La station est représentée par un peuplement de chêne-liège *Quercus suber* L. (Fig. 34) le sous-bois est dominé surtout par le cytise (*Cytisus vilous*) qui atteint une hauteur de 1,5m associé à *Rubus ulmifolius* et *Ampelodesmos mourilanicum*

La végétation qui accompagne naturellement l'espèce *Quercus suber* L. se présente souvent en formations buissonnantes hautes et denses. Il partage également l'espace avec quelques champignons trouvés au niveau de Zekri tels que *Armillaria mellea*, *Gymnapius suberis* et *Macrolepiota procera* (Fig. 35).

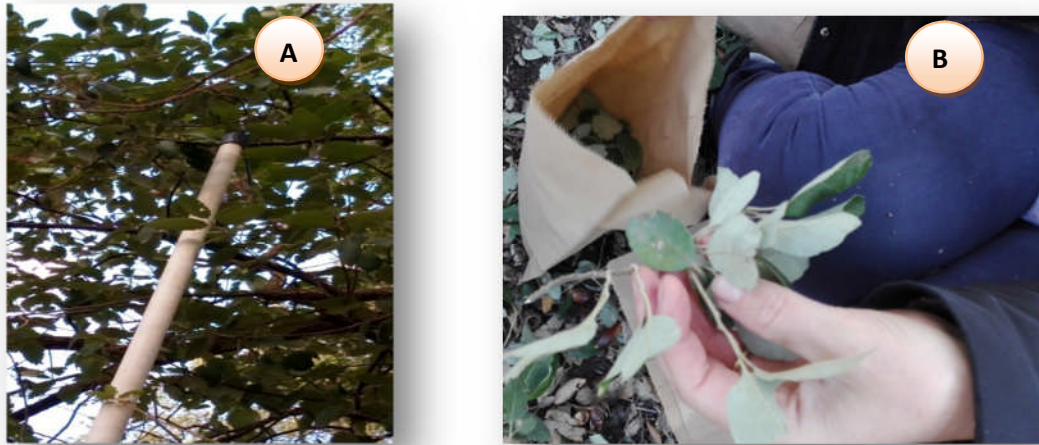
*Armillaria mellea**Gymnopus suberis**Macrolepiota procera**Chrysanthemum sp**Cytisus villosus*

**Figure 35. Quelques espèces du peuplement de *Quercus suber* L. (Mokri et Mobarek, 2020).**

## 2. Échantillonnages des feuilles

Suivant le protocole de Leroy, (1968) et Bonneau, (1988), les feuilles de *Quercus suber* L. ont été récoltées à l'aide d'un échenilloir (Fig. 36, A) sur dix (10) arbres. Choisis aléatoirement durant le mois de Février et juillet de l'année 2020 dans une parcelle de 50X50 m<sup>2</sup>.

Les feuilles ont été récoltées à mi couronne (Feeny, 1970) des arbres, au niveau des quatre points cardinaux, pour éliminer l'effet orientation. Elles ont été stockées dans des sachets en papier (Fig. 36, B).



**Figure 36. Échantillonnage des feuilles (Mokri et Mobarek, 2020).**

Les feuilles ont subi un nettoyage sans prélavage et étalées sur un carton dans un endroit aéré et sec à l'abri de la lumière pendant 10 à 15 jours pour chaque arbre (Fig. 37).



**Figure 37. Séchage des feuilles (Mokri et Mobarek, 2020).**

Après séchage les nécroses trouvées sur les feuilles ont été éliminées, suivant le protocole de **Livrelli (1993)**, une même quantité a été pesée pour chaque arbre afin d'avoir un échantillon homogène. Cette stratégie donne des résultats préférables à ceux obtenus par des analyses séparées des lots de feuilles de chacun des arbres. Par la suite le matériel végétal est réduit en poudre avec un moulin électrique (Fig. 38).



**Figure 38. Broyage des feuilles (Mokri et Mobarek, 2020).**

### **3. Préparation des extraits**

Deux concentrations ont été préparées avec C1 (1,25g) et C2 (2,5g) de poudre de feuilles qui sont par la suite dissoutes dans 20ml d'eau distillée et macérés sous agitation douce pendant 10minutes. Le mélange obtenu est ensuite centrifugé à une vitesse de 14000 rpm à température ambiante par minute pendant 1h (Fig. 39), par la suite la solution aqueuse a été récupérée par filtration, et conservée à 4°C.

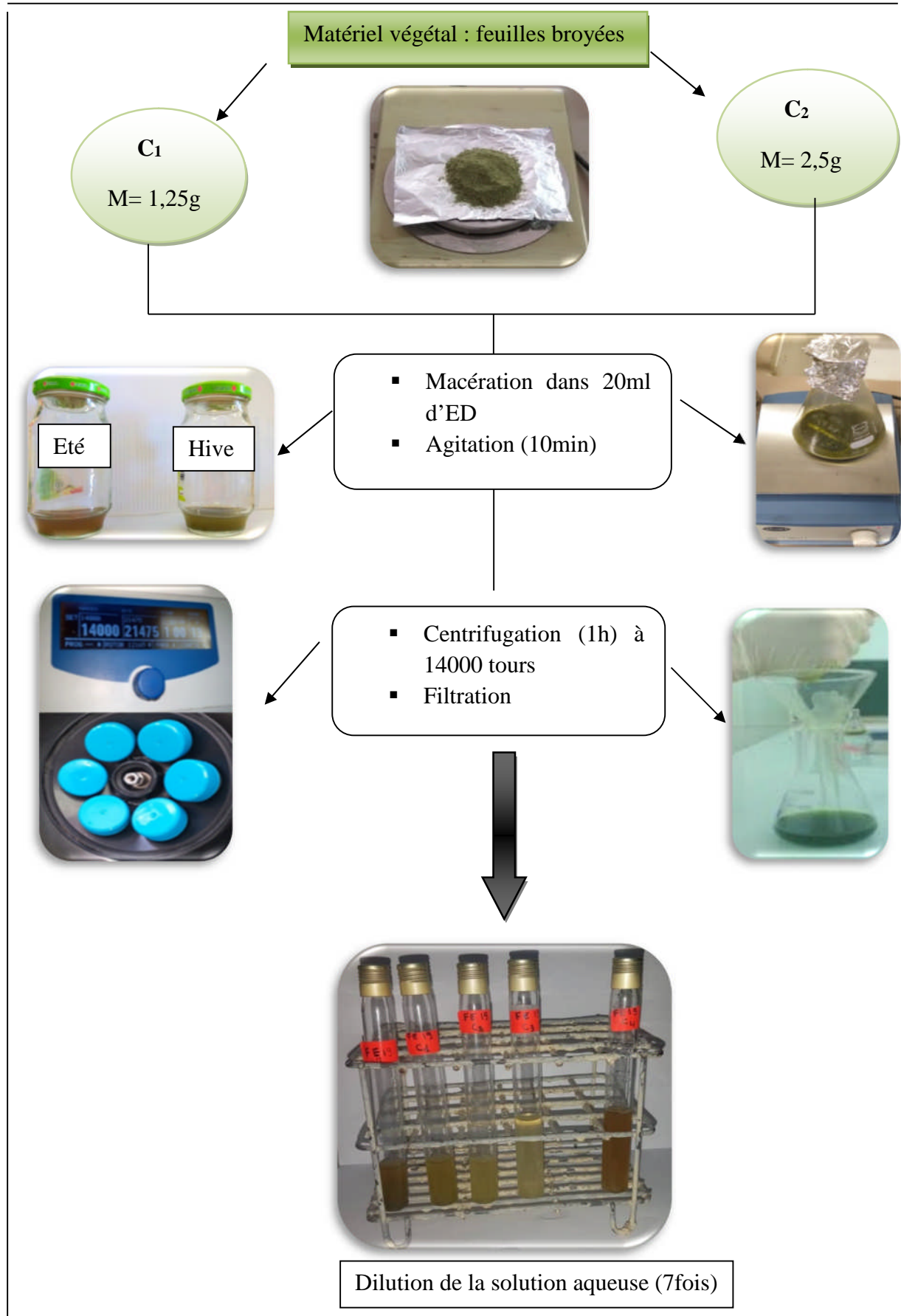


Figure 39. Protocole de préparation de la solution aqueuse foliaire de *Quercus suber*.

#### 4. Dosage des polyphénols totaux (PPT)

Une dilution de la solution aqueuse a été faite jusqu'à l'obtention d'une concentration appropriée, (au bout de la 7eme dilution). Le dosage des polyphénols totaux des feuilles est réalisé suivant la méthode décrit par Amezouar et *al.* (2013) avec modification, en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu.

Un volume de 200µl de la solution aqueuse est mélangé dans des tubes à hémolyse avec 1000 µl du réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois). Après 4 minutes, 800µl de carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) (75mg/ml) sont additionnés au milieu réactionnel, puis les solutions sont incubées à l'obscurité pendant 2h à température ambiante. La lecture des densités optiques (DO) est faite à 765 nm contre un blanc en utilisant le spectrophotomètre (Fig. 40).

La gamme d'étalon (10-100µg/ml) est préparée avec de l'acide gallique et les résultats sont exprimés en mg d'acide gallique par g de poudre végétale (mg EAG/g PV).

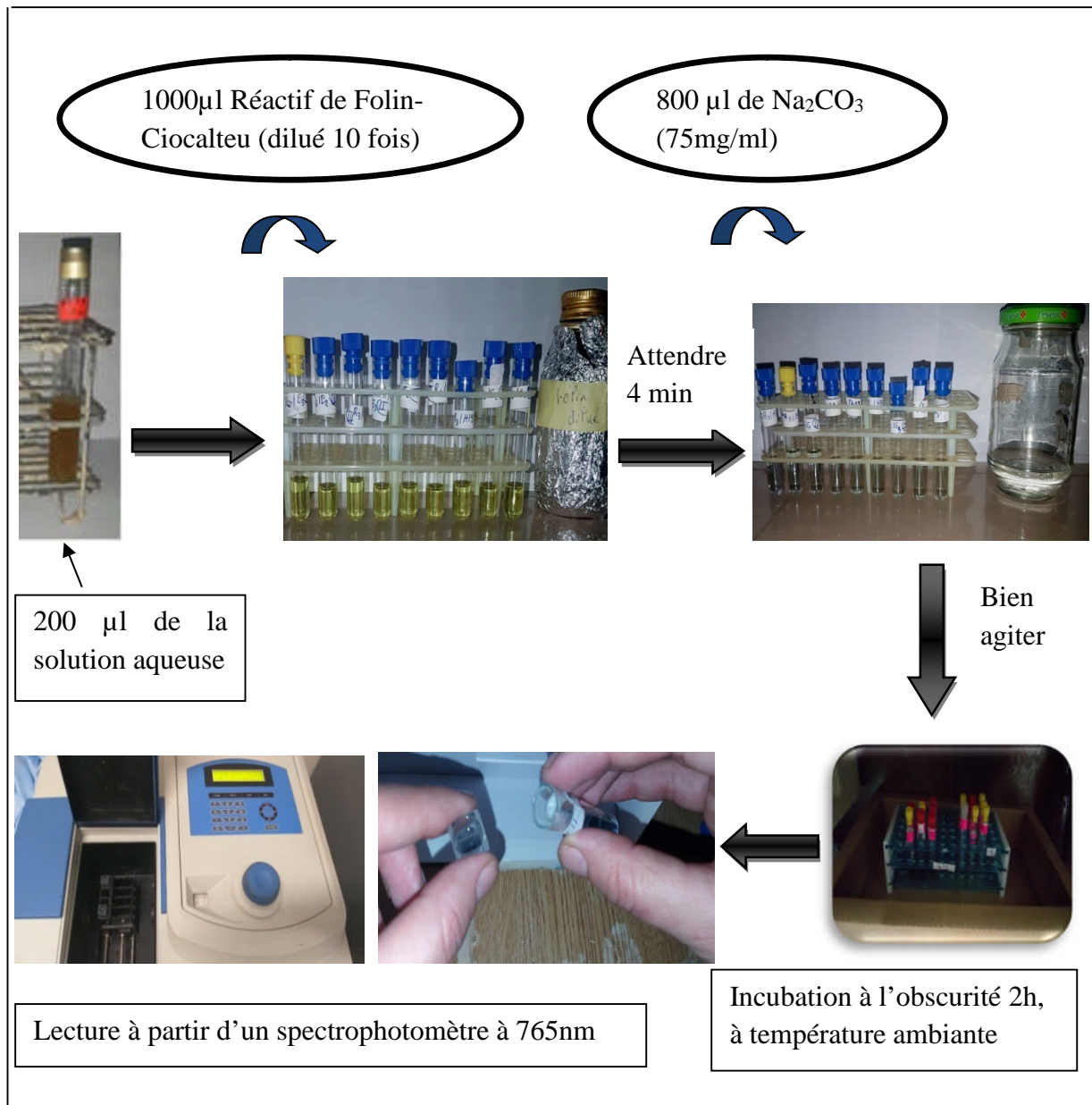


Figure 40. Protocole de dosage des phénols totaux.

### 5. Analyse statistique

Pour étudier la différence entre les concentrations des teneurs en polyphénols de la solution aqueuse foliaires de *Quercus suber* L. des deux saisons, nous avons utilisé le test de l'ANOVA à un seul facteur avec le logiciel STATISTICA.

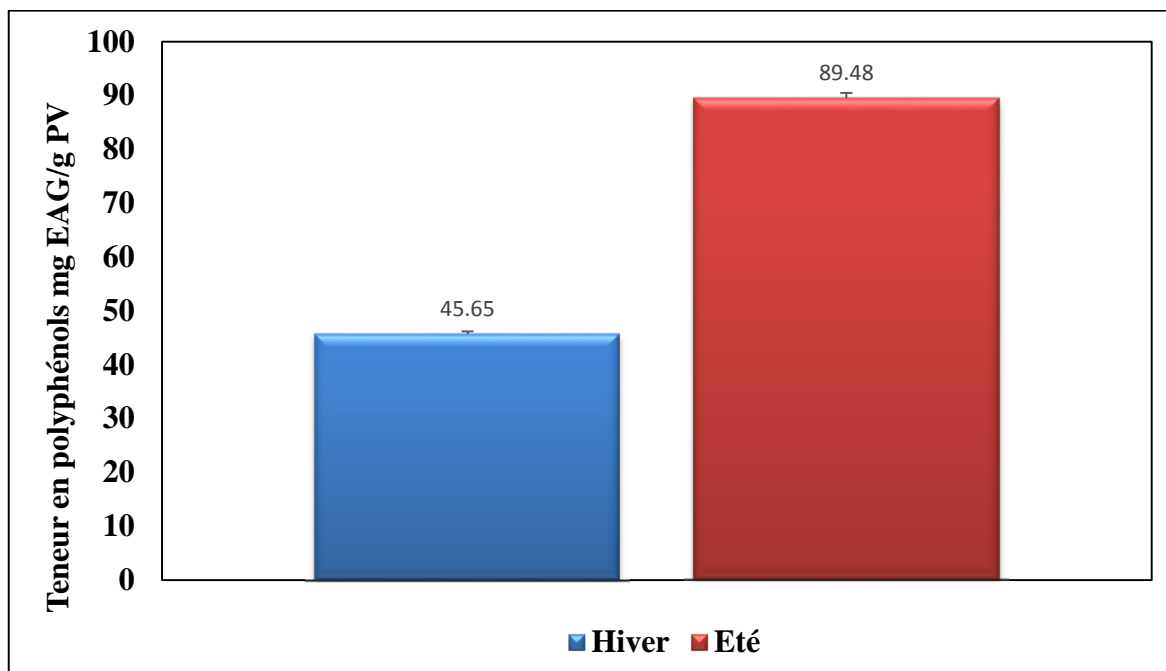
# **Chapitre III**

## **Résultats et Discussion**

## Résultats

### 1.1 Détermination des teneurs en polyphénols totaux (PPT)

L'étude phytochimique de la solution foliaire aqueuse de *Quercus suber* L. a montré la présence des composés phénoliques, notamment les (PPT) (Fig. 41). De plus une variation quantitative saisonnière a été observée.



**Figure 41. Variation saisonnière des teneurs en polyphénols totaux (mg/g).**

Les teneurs en (PPT) sont de  $89,48 \pm 0,61$  et  $45,65 \pm 0,56$  mg EAG/g PV pour l'été (Juillet) et l'hiver (Février) respectivement (Tab.IV). La valeur la plus élevée a été enregistrée durant la saison estivale. Ce qui se traduit par une différence très hautement significative qui est vérifié par la valeur ( $p$ -value = 0,000008) au risque (5 %).

**Tableau IV : teneurs en PPT des solutions foliaires aqueuses de *Quercus suber* L.**

	Hiver (Février)	Été (Juillet)
Teneur en polyphénols totaux (mg E AG/ g PV)	$45,65 \pm 0,56$	$89,48 \pm 0,61$

## 2. Discussion

Les résultats obtenus révèlent la présence de PPT dans les feuilles de chêne liège comme il a été déjà signalé par Hassikou et *al.* (2014). *Quercus suber* L. est une espèce qui

renferme différents groupes chimiques tels que les composés phénoliques, Sonia et *al.* (2010) et Touati et *al.* (2015) ont pu identifier 15 composés phénoliques dans la solution foliaire du chêne liège (Tab. V).

**Tableau V : rendements d'extraction et teneurs phénoliques totales de *Quercus suber* L. (Touati et *al.*, 2015).**

Phenolics	Phenolics content mg g <sup>-1</sup> of extract	g kg <sup>-1</sup> of cork
Total phenolics <sup>a</sup>	786.97 ± 55.47	79.80 ± 0.55
Flavonoids <sup>b</sup>	49.00 ± 2.00	4.97 ± 0.47
Flavonols <sup>c</sup>	18.48 ± 0.60	1.87 ± 0.18
Proanthocyanidins <sup>d</sup>	29.54 ± 4.00	2.99 ± 0.29

<sup>a</sup> Expressed as mg gallic acid equivalent g<sup>-1</sup> of extract.  
<sup>b</sup> Expressed as mg quercetin equivalent g<sup>-1</sup> of extract.  
<sup>c</sup> Expressed as mg quercetin equivalent g<sup>-1</sup> of extract.  
<sup>d</sup> Expressed as mg catechin equivalent g<sup>-1</sup> of extract.

Dans son compte rendu fondateur de la variation saisonnière de la qualité des feuilles de chêne, Feeny et *al.* (1970) ont signalé une augmentation générale de la teneur en PPT plus précisément en tanin des feuilles de chêne au cours de l'été. Durant le début de cette saison les changements les plus rapides dans la chimie des feuilles se produisent, à mesure que les feuilles de chêne poussaient et mûrissaient confirme Salminen et *al.* (2004). Grant et *al.* (2010) rajoutent que pendant cette saison, les conditions devenaient plus stressantes chez *Quercus suber* L. Du fait que le climat méditerranéen est constitué d'une saison estivale aride qui dure de 3 à 5 mois (Quezel et Medail, 2003).

D'après Chaves et *al.* (2003) Les feuilles ont connu un stress thermique en raison d'une fermeture stomatique partielle. Par conséquent, de faibles taux de transpiration, une diminution de la conductance du mésophylle, des températures élevées, en plus de la sécheresse, ont favorisé une réduction du taux maximal de photosynthèse (Vaz et *al.*, 2010 ; Chaves et *al.*, 2011). Une augmentation conséquente de production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), entraînent, ainsi, une augmentation de la production de métabolites secondaires (antioxydants naturels) pendant la saison sèche en tant que mécanisme de défense contre la sécheresse (Verdaguer et *al.*, 2003).

La production de composés phénoliques (tanins, anthocyanes, flavonoïdes) qui, en plus de contribuer à l'absorption et / ou dissipation de l'énergie solaire, offrent une protection contre les effets délétères des rayons UV, tels que les dommages tissulaires induits

directement par les UV-B ou la formation de radicaux libres et d'autres espèces oxydantes (Sampaio et al., 2016).

Les études menées par Mezahem (2015), sur les espèces du genre *Quercus* montrent une production élevée en (PPT) chez *Quercus suber* avec un taux de  $65,97 \pm 0,74$  mg EAG/g PV suivis de *Quercus ilex*  $48,62 \pm 0,03$  mg EAG/g PV puis *Quercus conariensis*  $39,12 \pm 0,70$  mg EAG/g PV, pour le mois de Mars à Béjaïa. Ceci dit, nous avons trouvé un taux qui est inférieur avec  $45,65 \pm 0,56$  mg EAG/g PV en mois de Février, cela pourrait être dû à la différence altitudinale (860m dans le peuplement de Zekri et 1100m dans la subéraie de la région de Béjaïa). A ce propos, Rimawi et al. (2014) ont précisé l'influence de l'origine géographique sur la composition chimique des feuilles. Ces différences peuvent être également dues aux différentes techniques de dosage utilisées d'après Boudechiche et al. (2014).

L'étude de la solution foliaire aqueuse d'autres espèces sclérophylles qui n'appartiennent pas au même genre de *Quercus*, tels que *Erica arborea* dans la région de Beni Aziz (Est algérien) a apporté une teneur en PPT de l'ordre de  $74,22 \pm 0,01$  pour le mois de Mai (Yaici et al., 2019). Ces résultats témoignent de la richesse des extraits *Quercus* en polyphénols totaux pendant la saison estivale qui est de l'ordre de  $89,48 \pm 0,61$  mg EAG/g PV comme l'a souligné Almeida et al. (2020), chez *Quercus suber* les composés phénoliques sont fortement représentés pendant la sécheresse. Tandis que la valeur la plus élevée chez *Melissa officinalis* est de l'ordre de  $120,48 \pm 20,96$  à Oued Amizour (Brahmi et al., 2015). Mestar, (2019) a trouvé que chez *Olea europea subs sylvestris* les valeurs de PPT varient entre 58,61 à 82,43 mg E AG/g PV en mois de Novembre à Tizi-ouzou, les valeurs sont supérieures à nos résultats de l'hiver qui est  $45,65 \pm 0,56$  61 mg E AG/g PV. Ces résultats viennent confirmer l'influence des différences géographique sur les PPT (Tab. VI).

Tableau VI : tableau récapitulatif des espèces comparées.

Espèce	Mois/saison	Station	Taux en PPT	Auteur
<i>Melisse officinalis</i>			120,48 ± 20,96 EAG/g PV	(Brahimi et al., 2015)
<i>Erica arborea</i>	Mai	BeniAzziz (Setif)	74,22 ± 0.01 EAG/g PV	(Yaici et al., 2019)
<i>Quercus suber</i>	Mars	Akfadou (Bejaia)	65,97 ± 0,74	(Mezahem,2015)
<i>Olea europea subs sylvestris</i>	Novembre	Tizi ouzou	58,61 à 82,43mg E AG/g PV	Mestar, (2019)
<i>Quercus ilex</i>	Mars	Akfadou (Bejaia)	48,62 ± 0,03 mg EAG/g PV	Mezahem, 2015)
<i>Quercus conariensis</i>	Mars	Akfadou (Bejaia)	39,12 ± 0,70 mg EAG/g PV	Mezahem, 2015)
<i>Quercus suber</i> L.	Février	Zekri	45.65 ± 0.56	(Mokri et Mobarek, 2020)
<i>Quercus suber</i> L.	Juillet	Zekri	89.48 ± 0.61	(Mokri et Mobarek, 2020)

Les autres études réalisées chez des espèces méditerranéennes mais non sclérophylles ont prouvés la richesse des feuilles en PPT durant l'été. C'est ce que l'expérience de Sampaio et al. (2016) a révélé. Les échantillons de feuilles de *Tithonia diversifolia* prélevées pendant les périodes les plus pluvieuses (hiver), ont tendance à se regrouper et sont riches en métabolites primaires tels que les sucres et les nucléosides, contrairement à ceux prélevés pendant les périodes plus sèches (été) étaient riches en métabolites secondaires. Ces résultats viennent appuyer l'influence de changement de saisons sur la teneur des PPT dans les extraits de feuilles de *Quercus suber* L.

Soni et al. (2015) ont trouvés chez *Chelidonium majus* que la concentration la plus élevée des composés phénoliques totaux a été obtenu à partir de plantes récoltées au printemps lorsque la plante est au stade rosace (60,96 mg GA / g). La plus haute concentration

de flavonoïdes (291,58 mg RU / g) était enregistré pendant le mois d'automne, juste avant la floraison.

Existence d'une relation étroite entre la composition des feuilles et du climat de *Quercus suber* L. (Passarinho et *al.*, 2006).

Almeida et *al.* (2020) énonce que le mécanisme impliqué dans l'influence de ces facteurs sur le métabolisme des plantes, en particulier dans les écosystèmes méditerranéens semble être lié à l'induction saisonnière de ces facteurs de stress.

# **Conclusion Générale et Perspectives**

Le travail que nous avons entrepris a pour objectif de mettre en évidence la variation saisonnière des teneurs en PPT des feuilles de *Quercus suber* L. qui est une espèce thermophile et xérophile montrant de grandes performances d'adaptabilité et de résistance aux différents facteurs de stress.

En tenant compte des résultats obtenus, nous constatons une différence significative entre les deux saisons. Le taux le plus élevé des PPT était enregistré en été avec une valeur de  $89,48 \pm 0,61$  mg EAG/ g PV, contrairement à l'hiver avec  $45,65 \pm 0,56$ . Ce qui se traduit par l'existence d'une variation saisonnière, le stress estival est plus influençant que le stress hivernal c'est une preuve d'adaptation aux changements climatiques.

Nous soulignons que le stress abiotique tels que les températures élevées, la lumière et la sécheresse affectent de manière significative la teneur en Métabolites secondaires des plantes. Chez *Quercus suber* L. les composés phénoliques sont fortement représentés en tant que mécanisme de défense.

Nos perspectives se résument comme suit

- Orienter les recherches vers la compréhension des effets des variations saisonnières sur le taux des métabolites secondaires.
- Approfondir les recherches sur la phytochimie et la biologie de ces molécules afin de connaître les interactions entre elles et comprendre l'expression des gènes des enzymes clés du métabolisme phénoliques dans les feuilles du chêne liège.
- Mettre en évidence l'écotoxicologie de stress oxydatif et les effets dévastateurs des ERO.

# **Références Bibliographiques**

Références Bibliographiques

- **Aafi, A. (2006).** La Mamora. Encyclopédie du Maroc, N°21 : 7199-7200.
- **Acácio, V., & Holmgren, M. (2014).** Pathways for resilience in Mediterranean cork oak land use systems. *Annals of Forest Science*, 71(1), 5-13.
- **Adjamia, Y., Ghanema, R., Daasa, H., Ouakida, M. L., Pujade-Villarb, J., & Bairia, A. (2016).** Influence de l'attaque des Carpophages sur les métabolites des glands du chêne-liège (*Quercus suber*)
- **Adouane, M. (2011).** Diversité des macromycètes et des mycorhizes du chêne-liège dans deux stations du nord-est algérien: une subéraie naturelle et une subéraie envahie par *acacia decurrens* (Willd) (Doctoral dissertation, Université de Annaba-Badji Mokhtar).
- **Agidigbi, T. S., & Kim, C. (2019).** Reactive oxygen species in osteoclast differentiation and possible pharmaceutical targets of ROS-mediated osteoclast diseases. *International journal of molecular sciences*, 20(14), 3576.
- **Ahama, K. Y., Quashie, M. L. A., Agbonon, I., & Koumaglo, K. (2010).** Activités antioxydantes in vitro des feuilles de *Crataeva adansonii*. *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, 16, 153-164.
- **Akula, R., Ravishankar, G.A. (2011).** Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal. Behav.* 6, 1720–1731.
- **Al Naser, O. (2018).** Effet des conditions environnementales sur les caractéristiques morpho-physiologiques et la teneur en métabolites secondaires chez *Inula montana*: une plante de la médecine traditionnelle Provençale (Doctoral dissertation).
- **Al-Gubory, K. H., Fowler, P. A., & Garrel, C. (2010).** The roles of cellular reactive oxygen species, oxidative stress and antioxidants in pregnancy outcomes. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 42(10), 1634-1650.
- **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.
- **Alonso, J. M. (2008).** Immunité et physiopathologie des infections de l'arbre respiratoire. *Médecine et maladies infectieuses*, 38(8), 433-437.

- **Al-Rimawi, F., Odeh, I., Bisher, A., Abbadi, J., & Qabbajeh, M. (2014).** Effect of geographical region and harvesting date on antioxidant activity, phenolic and flavonoid content of olive leaves.
- **Amandier L., (2002).** La subéraie : biodiversité et paysage, Vivexpo biennale Du liège et de la forêt méditerranéenne. Colloque biodiversité et paysage, 21 Mai 2002, Vives (Perpignon). P 5.
- **Amezouar F., Badri W., Hasaine M., Bourhim N. & Fougrach H. (2013).** Évaluation des activités antioxydante et anti-inflammatoire de *Erica arborea* L. du Maroc. Pathologie Biologie, 61(6) : 254-258.
- **Angelos Patakas. (2012).** Abiotic Stress-Induced Morphological and Anatomical Changes in Plants in P. Ahmad and M.N.V. Prasad (eds.), Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability. 490p (24-33)
- **Antonia caritat, Emili Garcia-Berthou, Roger Lapena, Lluís Vilar (2006).** Litter production in a *Quercus suber* forest of Montseny (NE Spain) and its relationship to meteorological conditions.
- **Aronson, J., Pereira, J.S. & Pausas, J.G. (eds) (2009).** Corn Oak woodland on the edge. Ecology, adaptative management, and restoration. Island Press, Washington DC., p. 352.
- **Arora, A., Sairam, R. K., & Srivastava, G. C. (2002).** Oxidative stress and antioxidative system in plants. Current science, 1227-1238.
- **Arti Bartwal • Rakesh Mall • Pushpa Lohani • S. K. Guru • Sandeep Arora. (2012).** Role of Secondary Metabolites and Brassinosteroids in Plant Defense Against Environmental Stresses
- **Ashraf, M. H. P. J. C., & Harris, P. J. (2013).** Photosynthesis under stressful environments: an overview. Photosynthetica, 51(2), 163-190.
- **Baxter, A., Mittler, R., & Suzuki, N. (2014).** ROS as key players in plant stress signalling. Journal of experimental botany, 65(5), 1229-1240.
- **Ben Abdallah, F. (2016).** Utilisation de la fluorescence chlorophyllienne pour l'évaluation du statut azoté des cultures (synthèse bibliographique). Biotechnologie, agronomie, société et environnement, 20(1), 83-93.
- **Benabadji, N., & Bouazza, M. (2000).** Quelques modifications climatiques intervenues dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie-occidentale). Rev. Energ. Ren, 3, 117-125.

- **Bennett, R. N., & Wallsgrove, R. M. (1994).** Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New phytologist*, 127(4), 617-633.
- **Bennick, A. (2002).** Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 13(2), 184-196.
- **Bertrand, D., Dézé, A., & Missika, J. L. (2007).** Parler pour gagner. Sémiotique des discours de la campagne présidentielle 2007.
- **Borges, CV., Minatel, I.O., Gomez-Gomez, H.A., Lima, G.P.P. (2007).** Medicinal Plants: Influence of Environmental Factors on the Content of Secondary Metabolites. In Ghorbanpour M, Varma A. (eds) *Medicinal Plants and Environmental Challenges*. Springer, Cham
- **Bouakkaz, H. N. (2017).** Contribution à l'étude de l'infection des arbres de chêne-liège (*Quercus suber L*) de la forêt de M'Sila (w: Oran) par les pathogènes fongiques du genre *Botryosphaeria* (Doctoral dissertation).
- **Boudechiche, M.L., Cherif, M., Boudechiche, L., & Sammar, F. (2014).** Teneurs en composés primaires et secondaires des feuilles d'arbustes fourragers de la région humide d'Algérie. *Revue Méd. Vét.*, 165(11-12), 344-352.
- **Boudy, P. (1952).** Guide du forestier en Afrique du Nord Paris, Maison rustique, 509p.
- **Bougandoura, N., & Bendimerad, N. (2012).** Effet Antifongique Des Extraits Aqueux et methanolique de *Satureja calamintha ssp.* (Nepeta) briq. *Revue des Bio Ressources*, 2(1), 1-7.
- **Bouhraoua R T, Renaud Piazzetta & Amar Berriah. (2014).** Les reboisements en chêne-liège en Algérie, entre contraintes écologiques et exigences techniques
- **Bouhraoua, R.T. (2003).** Situation sanitaire de quelques forêts de chêne-liège de l'Ouest algérien. Etude particulière des problèmes posés par les insectes. Thèse. Doct. Dep. Forest. Fac. Sci ., Univ. Tlemcen. 267p.
- **Bouras, M., Chadni, M., Barba, F. J., Grimi, N., Bals, O., & Vorobiev, E. (2015).** Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from *Quercus bark*. *Industrial Crops and Products*, 77, 590-601.
- **Brahmi, F., Madani, K., & Chibane, M. (2015).** Impact du séchage conventionnel des feuilles de la mélisse officinale de la région de Bejaia sur la teneur en composés phénoliques et l'activité antioxydante de leur extrait méthanolique.

- **Bribi, N. (2018).** Pharmacological activity of alkaloids: A review. *Asian Journal of Botany*, 1(1), 1-6.
- **Briellmann, H. L., Setzer, W. N., Kaufman, P. B., Kirakosyan, A., & Cseke, L. J. (2006).** *Phytochemicals: The chemical components of plants. Natural products from plants*, 2, 1-49.
- **Bruneton, J. (2009).** *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (4e éd.)*. Tec & Doc/Lavoisier, Paris, 279-281.
- **Bugalho, MN, Caldeira, MC, Pereira, JS, Aronson, J., & Pausas, JG (2011).** Les savanes méditerranéennes de chênes-lièges nécessitent une utilisation humaine pour soutenir la biodiversité et les services écosystémiques. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9 (5), 278-286.
- **Calatayud, M., López-de-Dicastillo, C., López-Carballo, G., Vélez, D., Muñoz, P. H., & Gavara, R. (2013).** Active films based on cocoa extract with antioxidant, antimicrobial and biological applications. *Food Chemistry*, 139(1-4), 51-58.
- **Caldwell, M. M., Bornman, J. F., Ballaré, C. L., Flint, S. D., & Kulandaivelu, G. (2007).** Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation, and interactions with other climate change factors. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 6(3), 252-266.
- **Cantat, R., & Piazzetta, R. (2005).** Le levé du liège, ce qu'il faut savoir sur l'exploitation du Chêne liège, Guide technique et de vulgarisation. Institut méditerranéen du liège P 45.
- **Caritat, A., García-Berthou, E., Lapeña, R., & Vilar, L. (2006).** Litter production in a *Quercus* suberforest of Montseny (NE Spain) and its relationship to meteorological conditions. *Annals of Forest Science*, 63(7), 791–800.
- **Català, C. E., Tamarit Sumalla, J., & Ros Salvador, J. (2000).** Oxidative stress in bacteria and protein damage by reactive oxygen species. *International Microbiology*, 2000, vol. 3, núm. 1, p. 3-8.
- **Catry, F. X., Moreira, F., Pausas, J. G., Fernandes, P. M., Rego, F., Cardillo, E., & Curt, T. (2012).** Cork Oak Vulnerability to Fire: The Role of Bark Harvesting, Tree Characteristics and Abiotic Factors. *PLoS ONE*, 7(6), e39810.
- **Cerasoli, S., Maillard, P., Scartazza, A., Brugnoli, E., Chaves, M. M., & Pereira, J. S. (2004).** Carbon and nitrogen winter storage and remobilisation during seasonal

flush growth in two-year-old cork oak (*Quercus suber* L.) saplings. *Annals of Forest Science*, 61(7), 721-729.

- **Chase, MW et Reveal, JL (2009).** Une classification phylogénétique des plantes terrestres accompagnant l'APG III. *Journal botanique de la société linnéenne*, 161 (2), 122-127.
- **Chaves, A.G., Torres, L.E., Massuh, Y., Brunetti, P., Ocaño, S.F., Castillo, N.E., Bustos, J.A., Ojeda, M.S. (2010).** Phenotypic variability of four wild populations of *Baccharis crispa* Spreng. Mountains area of the Province of Córdoba, Argentina. *Mol. Med. Chem.* 21, 8–10.
- **Chirino E., Vilagrosa A., Hernandez E.I., Matos A., Vallejo V.R., (2008).** Effects of deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedling for reforestation in Mediterranean climate. *For. Ecol. Manage.* 256, pp : 779-785.
- **Choudhury, S., Panda, P., Sahoo, L., & Panda, S. K. (2013).** Reactive oxygen species signaling in plants under abiotic stress. *Plant signaling & behavior*, 8(4), e23681.
- **Cillard, J., & Cillard, P. (2006).** Mécanismes de la peroxydation lipidique et des anti-oxydations. *Oleagineux, corps gras, lipides*, 13(1), 24-29.
- **Compean, K. L., & Ynalvez, R. A. (2014).** Antimicrobial activity of plant secondary metabolites: A review. *Research Journal of Medicinal Plants*, 8(5), 204-213.
- **Costa, R., Lourenço, A., Oliveira, V., & Pereira, H. (2019)** Chemical characterization of cork, phloem and wood from different *Quercus suber* provenances and trees. *Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda*, 1349-017.
- **Crozier, A., Jaganath, I. B., & Clifford, M. N. (2006).** Phenols, polyphenols and tannins: an overview. *Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet*, 1.
- **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. *Industrial crops and products*, 45, 114-120.

- **Daas, H., Adjami, Y., Ghanem, R., Viñolas, A., Ouakid, M., & Tahraoui, A. (2016).** Coleoptera inventory in cork oak stands of North-Eastern Algeria. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 17, 11-17.
- **Daas, H., Ghanem, R., Adjami, Y., Ouakid, M. L., & Tahraoui, A. (2014).** Etat phytosanitaire des subéraies de Ouled Bechih dans la région de Souk-Ahras du Nord-Est Algérien. *IOBC-WPRS Bulletin*, 101, 91-98.
- **Das, K., & Roychoudhury, A. (2014).** Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in environmental science*, 2, 53.
- **De Pinto, M. C., & De Gara, L. (2004).** Changes in the ascorbate metabolism of apoplastic and symplastic spaces are associated with cell differentiation. *Journal of experimental botany*, 55(408), 2559-2569.
- **Defraigne, J. O., & Pincemail, J. (2008).** Stress oxydant et antioxydants: mythes et réalités. *Revue médicale de Liège*, 63, 10-19.
- **Dehane, B., Bouhraoua, R., Latifa, B., & Hamani, F. Z. (2013).** La filière liège algérienne, entre passé et présent. *Forêt méditerranéenne*.
- **Del Río, L. A. (2015).** ROS and RNS in plant physiology: an overview. *Journal of Experimental Botany*, 66(10), 2827-2837.
- **Denk, T., Grimm, GW, Manos, PS, Deng, M. & Hipp, AL (2017).** Une classification infragénérique mise à jour des chênes : revue des schémas taxonomiques précédents et synthèse des modèles évolutifs. Dans *l'écologie physiologique Oaks. Explorer la diversité fonctionnelle du genre Quercus L.* (pp. 13-38). Springer, Cham.
- **Dessain, O. (1992).** Historique de l'utilisation de liège, in *Acte du Colloque Vivexpo, Les subéraies méditerranéennes, Vivès, 1992*, pp.10-21.
- **Djabeur, S. (2013).** Les insectes ravageurs du chêne liège au Nord-Ouest Algérien. *Geo Eco Trop*, 36, 175-184.
- **Djabeur, S. B., Benabdeli, K., Benjamaa M. L., & Sititi, B. (2011).** Déprédation des glands de chêne liège par les insectes et possibilités de germination et de croissance des semis.
- 
- **Dubrovina, A. S., & Kiselev, K. V. (2017).** Regulation of stilbene biosynthesis in plants. *Planta*, 246(4), 597-623.

- **Eustaquio, G. P., 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.
- **Fang, X., Yang, C.-Q., Wei, Y.-K., Ma, Q.-X., Yang, L., Chen, X.-Y., (2011).** Genomics grand for diversified plant secondary metabolites. *Plant Div Res* 33, 53–64.
- **Feeny, P. (1970).** Seasonal changes in oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillars. *Ecology*, 51(4), 565-581.
- **Fowler, Z. L., & Koffas, M. A. (2009).** Biosynthesis and biotechnological production of flavanones: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 83(5), 799-808.
- **Freschet, G. T., Violle, C., Roumet, C., & Garnier, E. (2018).** Interactions entre le sol et la végétation: structure des communautés de plantes et fonctionnement du sol.
- **Ganaoui, N., Menaoui, M., Rebbah, A. C., Dechir, B., & Maazi, M. C. (2020).** évaluation de la biodiversité des peuplements de coléoptères dans trois types d'habitats forestiers (*Quercus suber*, *Quercus canariensis*, forêt mixte) de la forêt de ouled bechih, nord-est de l'Algérie. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 145(1).
- **Gil, L., & Varela, M. C. (2008).** Technical Guidelines for genetic conservation of Cork oak (*Quercus suber*). Bioversity International.
- **Gómez, L., Allona, I., Ramos, A., Núñez, P., Ibáñez, C., Casado, R., & Aragoncillo, C. (2005).** Molecular responses to thermal stress in woody plants. *Forest Systems*, 14(3), 307-317.
- **Grant, OM, Tronina, L., Ramalho, JC, Kurz Besson, C., Lobo-do-Vale, R., Santos Pereira, J., ... & Chaves, MM (2010).** L'impact de la sécheresse sur la physiologie des feuilles des arbres *Quercus suber* L.: comparaison d'un événement de sécheresse extrême avec une réduction chronique des précipitations. *Journal of Experimental Botany*, 61 (15), 4361-4371.
- **Greene, R. (2002).** Oxidative stress and acclimation mechanisms in plants. *The Arabidopsis Book/American Society of Plant Biologists*,
- **Hägg, J. F., Zagrobelny, M., & Bak, S. (2013).** Plant defense against insect herbivores. *International journal of molecular sciences*, 14(5), 10242-10297.
- **Hajiboland, R. (2012).** Effect of micronutrient deficiencies on plants stress responses. In *Abiotic stress responses in plants* (pp. 283-329). Springer, New York, NY.

- **Halliwell, B. (2007).** Biochemistry of oxidative stress. *Biochem Soc Trans.* 35:1147-50.
- **Hanson, J. R. (2003).** Natural products: the secondary metabolites (Vol. 17). Royal Society of Chemistry.
- **Harinder, P. S., Makkar, P., & Becker, S. K. (2007).** Plant secondary metabolites (pp. 101-106). Totowa, NJ, USA : Humana Press.
- **Harris, I. S., & DeNicola, G. M. (2020).** The Complex Interplay between Antioxidants and ROS in Cancer. *Trends in Cell Biology.*
- **Hassanpour, S., Maheri-Sis, N., Eshratkhah, B., Mehmandar, F. B. (2011).** Plants and secondary metabolites (Tannins): A Review, *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, 1 (1):47-53.
- **Hassikou, R., Oulladi, H., Arahou, M. (2014).** Activité antimycosique des extraits du chêne-liège *Quercus suber* sur *Trichophyton rubrum* et *Candida albicans*. Laboratoire de mycologie, botanique et environnement, faculté des sciences, université Mohammed-V-Agdal, 12 :206-212.
- **Hennebelle, T., Sahpaz, S., & Bailleul, F. (2004).** Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie*, 2(1), 3-6.
- **Holopainen, J. K., Virjamo, V., Ghimire, R. P., Blande, J. D., Julkunen-Tiitto, R., & Kivimäenpää, M. (2018).** Climate change effects on secondary compounds of forest trees in the northern hemisphere. *Frontiers in plant science*, 9, 1445.
- **Jaisson, S., Desmons, A., Gorisse, L., & Gillery, P. (2017).** Vieillesse moléculaire des protéines-Quel rôle en physiopathologie, *médecine/sciences*, 33(2), 176-182.
- **Jensen, R. J. (1997).** *Quercus* Linnaeus sect. *Lobatae* Loudon. *Flora of North America, North of Mexico*, 3, 447-468.
- **Jin, D., & Mumper, R. J. (2010).** Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352.
- **Karem, A. (2008).** Le chêne liège. Association Tunisienne Pour la Protection de la Nature et de l'Environnement. 3p.
- **Kim, H. N., Jin, H. Y., Kwak, M. J., Khaine, I., You, H. N., Lee, T. Y., ... Woo, S. Y. (2017).** Why does *Quercus suber* species decline in Mediterranean areas? *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10(3), 337.

- **Kobayashi, K., Kondo, M., Fukuda, H., Nishimura, M., & Ohta, H. (2007).** Galactolipid synthesis in chloroplast inner envelope is essential for proper thylakoid biogenesis, photosynthesis, and embryogenesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(43), 17216-17221.
- **Kumar, S., Sachdeva, S., Bhat, K. V., & Vats, S. (2018).** Plant responses to drought stress: Physiological, biochemical and molecular basis. In *Biotic and abiotic Stress tolerance in plants* (pp. 1-25). Springer, Singapore.
- **Lamey, A. (1893).** Le chêne-liège, sa culture et son exploitation. Berger-Levrault et cie.
- **Leal, S., Sousa, V.B., Pereira, H. (2007).** Radial variation of vessel size and distribution in cork oak wood (*Quercus suber* L.), 41:339–350.
- **Léger, A. (2010).** Analyse fonctionnelle d'AtMYB30, un régulateur transcriptionnel impliqué dans la mort cellulaire hypersensible chez *Arabidopsis thaliana* (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier).
- **Leroy (1968).** Variations saisonnières des teneurs en eau et éléments minéraux des feuilles de chênes (*Quercus pedunculata*). *Ann. Sci. Forest.*, 25(2) : 83-117.
- **Letreuch-Belarouci, A. M., & Medjahi, B. (2009).** Impact des incendies sur la structure des peuplements de chêne-liège et sur le liège: le cas de la subéraie de Tlemcen (Algérie). *Forêt méditerranéenne*.
- **Li, P., Feng, Z., Catalayud, V., Yuan, X., Xu, Y., & Paoletti, E. (2017).** A meta- analysis on growth, physiological, and biochemical responses of woody species to ground- level ozone highlights the role of plant functional types. *Plant, Cell & Environment*, 40(10), 2369-2380.
- **Linaldeddu, B. T., Sirca, C., Spano, D., & Franceschini, A. (2011).** Variation of endophytic cork oak-associated fungal communities in relation to plant health and water stress. *Forest Pathology*, 41(3), 193-201.
- **Lincoln, T., & Zeiger, E. (2006).** Secondary metabolites and plant defense. *Plant Physiology*. Fourth Edition. Sinauer Associates, Inc. Capítulo, 13, 125.
- **Luo M, Liu X, Singh P, Cui Y, Zimmerli L, Wu K (2012)** Chromatin modifications and remodelling in plant abiotic stress responses. *Biochim Biophys Acta* 1819:129–136

- **Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005).** Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR presses polytechniques.
- **Makhlouf, F. Z., Squeo, G., Barkat, M., Trani, A., & Caponio, F. (2018).** Antioxidant activity, tocopherols and polyphenols of acorn oil obtained from *Quercus* species grown in Algeria. *Food Research International*, 114, 208–213.
- **Mantri, N., Patade, V., Penna, S., Ford, R., & Pang, E. (2012).** Abiotic stress responses in plants: present and future. In *Abiotic stress responses in plants : Metabolism, Productivity and Sustainability*. 490p (4).
- **Mazid M, Khan TA, Mohammad F. (2011).** Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants *Biology and medicine*, 3(2), 232-249.
- **Merouani, H., Branco, C., Almeida, M. H., & João S. Pereira (2001).** Comportement physiologique des glands de chêne liège (*Quercus suber* L.) durant leur conservation et variabilité inter-individus producteurs
- **Mestar Ghechaoui, N. (2019).** Effet des facteurs de l'environnement sur les activités antioxydante et bioinsecticides d'un extrait végétal aqueux de l'espèce *Olea europea subsp sylvestris* dans la région de Tizi-Ouzou. Université Chadli Bendjedid El-taref
- **Metro, A. (1958).** Forêts. Atlas du Maroc. Notices explicatives. Section VI Biogéographie forêts et ressources végétales. Rabat.
- **Mezahem, T. (2015).** L'étude de l'activité antioxydants et antityrosinase par les extraits de plantes. Université Abderrahman Mira-Bejaia.
- **Mittler, R. (2017).** ROS Are Good. *Trends in Plant Science*, 22(1), 11–19.
- **Mittler, R., & Blumwald, E. (2015).** The roles of ROS and ABA in systemic acquired acclimation. *The Plant Cell*, 27(1), 64-70.
- **Molina, J. R., Prades, C., Lora, Á., & Rodríguez y Silva, F. (2018).** *Quercus suber* cork as a keystone trait for fire response: A flammability analysis using bench and field scales. *Forest Ecology and Management*, 429, 384–393.
- **Montillet, J. L., Cacas, J. L., Garnier, L., Montané, M. H., Douki, T., Bessoule, J. J., ... & Triantaphylidès, C. (2004).** The upstream oxylipin profile of *Arabidopsis thaliana*: a tool to scan for oxidative stresses. *The Plant Journal*, 40(3), 439-451.
- **Morsli, S. (2014).** les facteurs et problématiques de dépérissement des subéraies en Algérie. Ecole National Supérieur Agronomique, Département de Zoologie Agricole et Forestière, EL-Harrach (Algérie).

- **Nixon, K. C. (2006).** Global and neotropical distribution and diversity of oak (genus *Quercus*) and oak forests. In Ecology and conservation of neotropical montane oak forests (pp. 3-13). Springer, Berlin, Heidelberg.
- **Oh, S. H., & Manos, P. S. (2008).** Molecular phylogenetics and cupule evolution in Fagaceae as inferred from nuclear CRABS CLAW sequences. *Taxon*, 57(2), 434-451.
- **Oliveira, G., Correia, O., Martins-Loução, M. A., & Catarino, F. M. (1994).** Phenological and growth patterns of the Mediterranean oak *Quercus suber* L. *Trees*, 9(1), 41-46.
- **Oliveira, G., Costa, A. (2012).** Quelle est la résistance de *Quercus suber* L. à la récolte du liège? Un examen et une identification des lacunes dans les connaissances *Forest Ecology and Management*, 270, pp. 257 – 272.
- **Parent, C., Capelli, N., & Dat, J. (2008).** Formes réactives de l’oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. *Comptes Rendus Biologies*, 331(4), 255–261.
- **Passarinho, J. A. P., Lamosa, P., Baeta, J. P., Santos, H., & Ricardo, C. P. P. (2006).** Annual changes in the concentration of minerals and organic compounds of *Quercus suber* leaves. *Physiologia Plantarum*, 127(1), 100–110.
- **Pausas J.G, Pereira J.S., Aronson J., (2009).** The tree in Aronson J., Pereira J.S., Pausas J.G.,eds. *Cork oak woodlands on the edge Ecology, adaptative, management, and restoration*. Society for ecological restoration international. Islandpress, USA. Pp: 11- 21.
- **Pereira, H. (2007).** *Cork: Biology, Production and Uses*. Elsevier.Ed.Oxford. UK.329p.
- **Pereira, J. S., Bugalho, M. N. et Caldeira, M. C. (2009).** Du chêne-liège au liège. Un système durable. In: *Cork Oak Woodlands on the Edge: Conservation, Adaptive Management and Restoration* (eds. Aronson, J., Pereira, J. S., Pausas, J.): 1-40. Island Press, New York.
- **Piazetta, R. (2005).** La levée du liège, guide technique et de vulgarisation, institut Productivité, extrait du travail de la recherche forestière en Algérie, 152 p.
- **Pio, C., Silva, P., Cerqueira, M., & Nunes, T. (2005).** Diurnal and seasonal emissions of volatile organic compounds from cork oak () trees. *Atmospheric Environment*, 39(10), 1817–1827.

- **Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palme, K. J., & Jansen, M. A. (2007).** Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble. *Trends in plant science*, 12(3), 98-105.
- **Quézel, P., & Médail, F. (2003).** Que faut-il entendre par " forêts méditerranéennes. *Forêt méditerranéenne*, 24(1), 11-31.
- **Rahantaniaina, M. S. (2018).** Vers une meilleure compréhension des systèmes antioxydants chez la plante face aux contraintes environnementales: approches expérimentales et modélisation mécaniste (Doctoral dissertation).
- **Ramakrishna Akula & Gokare Aswathanarayana Ravishankar. (2011).** Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants
- **Rao, M. V., Lee, H. I., & Davis, K. R. (2002).** Ozone-induced ethylene production is dependent on salicylic acid, and both salicylic acid and ethylene act in concert to regulate ozone-induced cell death. *The Plant Journal*, 32(4), 447-456.
- **Renou, V. (1842).** Forêt de l'Algérie .Première partie : description. *Ann. Fores.*, 1(30, Août 1842) :pp415-430.
- **Rodney, C., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. (2000).** Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and molecular biology of plants*, 24, 1250-1319.
- **Rouibah, M., Fennineche, H., & Herikeche, M. (2018).** Contribution à l'étude de quelques facteurs causant le dépérissement du chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans le littoral ouest de Jijel (Algérie). *Agriculture and Forestry Journal*, 2(2), 92-100.
- **Ruiz-Galea, M., López-Vela, D., Jiménez, J., Alonso-Blázquez, N., Alegre, J., Celestino, C., & Toribio, M. (2018).** Cork Oak *Quercus suber* L. Embryogenic Liquid Cultures. In *Step Wise Protocols for Somatic Embryogenesis of Important Woody Plants* (pp. 243-254). Springer, Cham.
- **Saccardy, L. (1937).** Note sur le chêne-liège et le liège en Algérie. *Bull. Stat. Rech. For. Nord Afr.* 2(2): 271-374.
- **Saccardy, L. (1938).** Le Chêne-liège et le Liège en Algérie (Suite et fin). *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 18(204). 574-593p.
- **Salminen, JP, Roslin, T., Karonen, M., Sinkkonen, J., Pihlaja, K., et Pulkkinen, P. (2004).** Variation saisonnière de la teneur en tanins hydrolysables, glycosides flavonoïdes et proanthocyanidines dans les feuilles de chêne. *Journal of Chemical Ecology*, 30 (9), 1693-1711.

- **Sampaio, B. L., Edrada-Ebel, R., & Da Costa, F. B. (2016).** Effect of the environment on the secondary metabolic profile of *Tithonia diversifolia*: a model for environmental metabolomics of plants. *Scientific reports*, 6, 29265.
- **Sarmoum, m., Feddag, f., Masloub, a., & Belkaid, b. (2013).** Diagnostic de l'état actuel de la subéraie du Parc National de Theniet El Had (W. Tissemsilt).
- **Shahidi, F., & Chandrasekara, A. (2010).** Hydroxycinnamates and their in vitro and in vivo antioxidant activities. *Phytochemistry Reviews*, 9(1), 147-170.
- **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.
- **Silva, J.S., Catry, F. (2006).** Forest fires in cork oak (*Quercus suber* L.) stands in Portugal. *Int. J. Environ. Stud.* 63 (3), 235–257.
- **Singh, I. (2017).** Antimicrobials in Higher Plants: classification, mode of action and bioactivities. *Chem. Biol. Lett*, 4(1), 48-62.
- **Singh, J., & Thakur, J. K. (2018).** Photosynthesis and abiotic stress in plants. In *Biotic and abiotic stress tolerance in plants* (pp. 27-46). Springer, Singapore.
- **Smither, R., Houston, J., & McIntire, S. (2016).** Organization development: Strategies for changing environments. Routledge.
- **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.
- **Sonia, S. A., Pinto, P. C., Silvestre, A. J., & Neto, C. P. (2010).** Chemical composition and antioxidant activity of phenolic extracts of cork from *Quercus suber* L. *Industrial Crops and Products*, 31(3), 521-526.
- **Souidi, Z. (2014).** Integrated Protection in Oak Forests IOBC-WPRS Bulletin, 101: 1-9
- **Souidi, Z., Larbi, H., Hamimed, A., Kattar, S. (2015).** Adaptation des formations de chêne-liège (*Quercus suber*) de l'Algérie occidentale tellienne face aux changements climatiques Université de Mascara, Faculté SNV, BP 305, Route de Mamounia, 29000 Mascara, Algérie ; Université libanaise.
- **Stavroula, M., & Rahul, J. (2017).** Mediterranean climate affects the biosynthesis of secondary metabolites in common medicinal plants. *Int. J. Bot*, 6, 17-28.
- **Takahashi, H., Kawahara, A., & Inoue, Y. (2003).** Ethylene promotes the induction by auxin of the cortical microtubule randomization required for low-pH-induced root

- hair initiation in lettuce (*Lactuca sativa* L.) seedlings. *Plant and Cell Physiology*, 44(9), 932-940.
- **Taylor, A.O. (1965).** Some effects of photoperiod on the biosynthesis of phenylpropane derivatives in *Xanthium*. *Plant Physiol.*, 40, 273
  - **Tiberi, R., Branco, M., Bracalini, M., Croci, F., & Panzavolta, T. (2016).** Cork oak pests: a review of insect damage and management. *Annals of forest science*, 73(2), 219-232.
  - **Touati, R., Santos, S. A. O., Rocha, S. M., Belhamel, K., & Silvestre, A. J. D. (2015).** The potential of cork from *Quercus suber* L. grown in Algeria as a source of bioactive lipophilic and phenolic compounds. *Industrial Crops and Products*, 76, 936–945.
  - **Toumi, L., & Lumaret. R. (2001).** Allozyme characterisation of four Mediterranean evergreen oak species
  - **Tuteja, N., Singh, M. B., Misra, M. K., Bhalla, P. L., & Tuteja, R. (2001).** Molecular mechanisms of DNA damage and repair: progress in plants. *Critical reviews in biochemistry and molecular biology*, 36(4), 337-397.
  - **Usié, A., Simões, F., Barbosa, P., Meireles, B., Chaves, I., Gonçalves, S., ... & Ramos, A. M. (2017).** Comprehensive analysis of the cork oak (*Quercus suber*) transcriptome involved in the regulation of bud sprouting. *Forests*, 8(12), 486.
  - **Vacca, R. A., de Pinto, M. C., Valenti, D., Passarella, S., Marra, E., & De Gara, L. (2004).** Production of reactive oxygen species, alteration of cytosolic ascorbate peroxidase, and impairment of mitochondrial metabolism are early events in heat shock-induced programmed cell death in tobacco Bright-Yellow 2 cells. *Plant physiology*, 134(3), 1100-1112.
  - **Vats, S. (Ed.). (2018).** Biotic and Abiotic stress Tolerance in plants. Springer.
  - **Vaz, M., Pereira, J. S., Gazarini, L. C., David, T. S., David, J. S., Rodrigues, A., ... & Chaves, M. M. (2010).** Drought-induced photosynthetic inhibition and autumn recovery in two Mediterranean oak species (*Quercus ilex* and *Quercus suber*). *Tree Physiology*, 30(8), 946-956.
  - **Verdager, D., Aranda, X., Jofré, A., El Omari, B., Molinas, M., & Fleck, I. (2003).** Expression of low molecular weight heat-shock proteins and total antioxidant activity in the Mediterranean tree *Quercus ilex* L. in relation to seasonal and diurnal changes in physiological parameters. *Plant, Cell & Environment*, 26(8), 1407-1417.

- **Vessella, F., Simeone, M. C., & Schirone, B. (2015).** *Quercus suber* range dynamics by ecological niche modelling: from the Last Interglacial to present time. *Quaternary Science Reviews*, 119, 85-93.
- **Villement C. et Frayai A. (1991).** Les insectes du chêne-liège. Fiche pédagogique. *Insectes.*, n°81(1).pp13-16.
- **Wang, W. X., Vinocur, B., Shoseyov, O., & Altman, A. (2000).** Biotechnology of plant osmotic stress tolerance physiological and molecular considerations. In IV International Symposium on In Vitro Culture and Horticultural Breeding 560 (pp. 285-292).
- **Yaici, K., Dahamna, S., Moualek, I., Belhadj, H., & Houali, K. (2019).** Évaluation de la teneur des composés phénoliques, des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes de l'espèce *Erica arborea* L.(Ericaceae) dans la médecine traditionnelle du Tell sétifien dans l'Est Algérien. *Phytothérapie*.
- **Yang, L., Wen, K. S., Ruan, X., Zhao, Y. X., Wei, F., & Wang, Q. (2018).** Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, 23(4), 762.
- **Yessad, S. A. (2000).** Le chêne-liège et le liège dans les pays de la Méditerranée occidentale. *Forêt Wallonne*.
- **Younsi, S. (2006).** Diagnostique des essais de reboisement et de régénérations du chêne-liège (*Quercus Suber* L.) dans la région de Jijel thèse Mgr-Eco-Env, 104p.
- **Zhang, M., Smith, J. A. C., Harberd, N. P., & Jiang, C. (2016).** The regulatory roles of ethylene and reactive oxygen species (ROS) in plant salt stress responses. *Plant molecular biology*, 91(6), 651-659.
- **Zhi-lin, Y., Chuan-chao, D., & Lian-qing, C. (2007).** Regulation and accumulation of secondary metabolites in plant-fungus symbiotic system. *African Journal of Biotechnology*, 6(11).