



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie
Département des sciences de la nature et de la vie

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie
Filière : Biotechnologies
Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

Réf. :

Présenté et soutenu par :
ABBASSI BATOUL ET ABSI DOUNIA

Le :

Thème

Effet des facteurs environnementaux sur l'accumulation des métabolites secondaires des plantes médicinales

Jury :

Mme. LABOUZ ASMAHANE	MCB	Université de Biskra	Président
Mme. KRIKER SOULEF	MAA	Université de Biskra	Rapporteur
Mme. NEFOUSSI	MAA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2021 - 2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

A l'issu de ce modeste travail, nous tenons à remercier **ALLAH** le tout Puissant, de nous avoir permis d'atteindre ce niveau d'étude et pour nous avoir donné la santé, la force, le courage et la volonté d'achever notre humble recherche.

Nous voudrions témoigner de nos remerciements et nos gratitudees

À nous promotrice **Kriker Soulef**.

Pour la confiance qu'il nous a accordée, son assistance, sa Disponibilité, sa compréhension et ses conseils qui m'ont beaucoup aidé à réaliser ce travail.

Des remerciements également aux **Membres du Jury**, président et examinateur, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre modique étude et pour avoir accepté d'examiner, d'évaluer et d'enrichir par leurs propositions, cette recherche

Nous exprimons notre très grande considération, et notre profond respect à tous les enseignants de la promotion master, 2021-2022 qu'ils trouvent ici le témoignage de notre sincère reconnaissance, pour leurs apports très constructifs. Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin, directement ou indirectement, à la réalisation de la présente étude.

Dieu merci

Je dédie ce travail

A ma chère mère Ben Sultane Nabila

Les mots me manquent pour exprimer toute ma reconnaissance pour

Tout ce que Fait pour

Mon bonheur et ma réussite. Que Dieu te protège et t'accorde-le bonheur, la santé et la longue
vie

A mon cher Père Mohammed khemissi

Nulle expression ne peut traduire le noble sentiment que j'ai à ton égard,

Pour l'amour que tu m'as toujours porté,

Pour ta patience et ta générosité, Je te dédie ce travail en témoignage de ma grande
reconnaissance et mon grand amour

A ma grand-mère Qui ont été toujours à côté du moi.

A mes adorables sœurs Malak et Rahmouna

A mon cher frère Ibrahim el Khalil

A Moustirikhaoula

Merci pour les encouragements, tu trouver toujours les mots qui convient pour me remonter
le moral dans le moment pénibles, grâce à toi j'ai surmonté toute les difficultés.

A mes fidèles amies Meghazi Bakhouch Soundous, Abbassi Batoul, Ben Abderrahmani
Meriem, Gacem Nahla, Guergueb Malak, Djazar Rania, Salhi Achwak, Gettaftamem Hana ,
Moustiri Farouk , Meraoui Mohamed, Laroussi Fateh.

**** Merci d'être dans ma vie**

Dounia

Dédicace

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie.

Je dédie ce modeste travail :

À ceux qui ont Consacré toute leurs vies pour la réussite de leurs enfants.

À mes chers parents Brahim Abbassi et Djamila Khelassi.

À mes frères Salah, Amine que je les souhaite une belle vie plein de réussite et de bonheur.

À mes sœurs AYA, SALSABIL.

Ainsi qu'à toute la famille ABBASSI et KHELASSI et à tous qui est proche de mon cœur.

Comme je le dédie également à tous mes amis sans exception en particulier : Soumia, Imane Khatab, Oumaima, Imane Messaoudi, Amar, Hamza.

À mes chers collègues : Dounia Absi, Mraoui Mohammed, Soundous, Hana Guattaf, Younes, Oumaima Saadi.

Merci pour les encouragements, vous trouvez toujours les mots qui convient pour me remonter le moral dans le moment pénibles, grâce à vous j'ai surmonté toute les difficultés.

Batoul

Table des matières

Liste des tableaux	8
Liste des figures.....	9
Listes d'abréviations.....	10
Introduction.....	1
I. Historique	3
I. Plante médicinale	3
I.2. Importance des plantes médicinales.....	3
I.3. Domaine d'application des plantes médicinales	4
II- Le Métabolisme secondaire des plantes médicinales.....	5
II.1. Définition.....	5
II-2 Classification des métabolites secondaires.....	5
II-2 -1. Polyphénols.....	5
II-2-1-1-Classification des polyphénols.....	6
II-2 -2-Flavonoïdes	6
II-2 -3-Tanins.....	7
II-2-4- Lignines	8
II-2 -5- Coumarines	8
II-2-6- Alcaloïdes	8
II-2-7- Terpénoïdes	9
II-3Effets biologiques des polyphénols.....	9
III. Effet des facteurs environnementaux sur les métabolites secondaires	10
III.1.Les facteurs abiotiques.....	10
III.1.1.Les facteurs climatiques	10
III.1.1.1.Les facteurs influencent le climat.....	10
a- La lumière.....	10
a.1 Classification des plantes selon leur intensité lumineuses	10
b- Température	11
b.1 Classification des plantes selon leurs réponses aux degrés de température	11
b.2 L'effet de la température sur les plantes médicinales	12
c- L'eau	12
c.1 Classification des plantes selon leurs exigences d'eau.....	12
c.2 L'effet de l'eau	13

d-Le vent.....	13
III.2.Les facteurs édaphiques.....	13
III.2.1.Le sol.....	14
III.2.1.1.Classification des plantes selon le type de sol :.....	14
III.2.1.2.L'effet du sol sur les plantes médicinales.....	14
III.3. Les facteurs biotiques.....	14
IV-1-Extraction des données	17
IV-2-L'évaluation de la qualité.....	17
V-Résultats et Discussions	18
V-1- Les facteurs environnementaux influencent la production de métabolites secondaires	20
V-1-1- Température.....	21
V-1-2- La Lumière et Ultra-violet radiations.....	24
V-1-3- le dioxyde de carbone (Co ₂).....	25
V-1-4- Stress du sol.....	26
V-1-4-1- Stress hydrique du sol (stress dû à la sécheresse)	26
V-1-4-2- Stress lié à la salinité du sol.....	28
V-1-4-3- Stress lié à la fertilité du sol	29
V-1-5- Stress d'ozone.....	30
V-1-6- changements phénologiques	31
Conclusion	32
Liste des Références	34
Annexe.....	44

Liste des tableaux

Tableau 1: Recherche de manuel utilisé.	15
Tableau 2: les critères d'inclusion et d'exclusion.	15
Tableau 3: Les stades de développement changent en fonction du contenu de la plante.	19
Tableau 4: Changement de température sur le contenu de divers métabolites secondaires végétaux.	21
Tableau 5: changement de la qualité de la lumière sur le contenu de divers métabolites secondaires végétaux.	24
Tableau 6: l'effet de dioxyde de carbone (CO ₂) sur le contenu de divers métabolites secondaires végétaux.	25
Tableau 7: l'effet de sécheresse augmente la concentration de divers métabolites secondaires végétaux.	26
Tableau 8: Changement de la salinité du sol sur le contenu de divers métabolites.	28
Tableau 9: Changement de la fertilité du sol sur le contenu de divers métabolites.	29
Tableau 10: l'effet de stress d'ozone sur le contenu de divers métabolites secondaires végétaux.	30

Liste des figures

Figure 1: Structures chimiques des acides benzoïques (Ribéreau-Gayon et al. 1972).....	6
Figure 2: Structure de base des flavonoïdes (Ghedira, 2005).	7
Figure 3: Effets biologiques des polyphénols (Manallah, 2012).	9
Figure 4: Diagramme de flux de l'étude PRISMA (preferred reporting items for systematic reviews and meta-analysis).	16
Figure 5: Divers signaux de stress abiotiques créant un stress chez les plantes (adapté de Mahajan et Tuteja 2005).	18
Figure 6: Histogramme représentant les facteurs environnementaux dans l'étude avec le nombre d'articles sur les sujets désignés.	20
Figure 7: Aspects physiologiques et moléculaires du stress thermique chez les plantes médicinales (Shabir, Wani et al. 2017).....	23
Figure 8: l'effet du stress de la sécheresse sur la concentration des produits naturels (Dirk Selmar, 2017).	27

Listes d'abréviations

O.M.S : L'Organisation mondiale de la santé.

% : Pourcentage.

Min : Minute.

Etc : Extras.

CoA : coenzyme A.

UV : Ultra-violet radiation.

C : Carbone.

°C : Degré sur suce.

+ : Plus.

- : Moins.

M : Mètre.

< : Inférieur.

N:Nombre.

Ppm: Partie par million.

PRISMA: preferred reporting items for systematic reviews and meta-analysis.

O₃ : Ozone.

Introduction générale



Introduction

L'utilisation des plantes en thérapeutique (phytothérapie) est très ancienne et connaît actuellement un regain d'intérêt du public. Il est possible d'utiliser des plantes entières ou les produits d'extraction obtenus à partir de celles-ci (Marc, 2001).

Selon l'Organisation mondiale de la santé (O.M.S); La médecine traditionnelle est définie comme l'ensemble des connaissances pratiques, explicables ou non, pour diagnostiquer ou éliminer un déséquilibre physique ou mental, basées uniquement sur l'expérience vécue et l'observation, et transmises de génération en génération (Adjanohoun *et al.*, 2001).

Les plantes médicinales jouent un rôle central dans le développement humain et ont été utilisées depuis la préhistoire jusqu'à nos jours. Selon (O.M.S), 80 % de la population humaine des pays en développement dépendent des médecines traditionnelles, principalement des plantes médicinales, pour leurs soins de santé primaires. Actuellement, au moins 25 médicaments dans le monde sont dérivés directement ou indirectement de plantes médicinales, qui restent la principale source de médicaments (Ansari *et al.*, 2013).

On sait que les facteurs abiotiques et biotiques affectent la composition chimique des plantes. L'effet des facteurs abiotiques tels que les conditions de croissance, la température, la lumière, les nutriments, l'eau, etc. a été bien étudié pour déterminer l'impact sur le profil des métabolites secondaire, entraînant souvent une production accrue qui est considérée comme ayant une valeur plus élevée (Selmar et Kleinwächter 2013).

Le règne végétal représentant une source importante d'une grande variété de molécules bioactives, elles ont été mises à profit dans l'industrie alimentaire, en cosmétologie et en pharmacie. Parmi ces composés on retrouve des composés métaboliques (les coumarines, les alcaloïdes, les acidesphénoliques, les tanins, les terpènes et les flavonoïdes) (Bahorunet *al.*, 1996).

L'objectif de notre étude s'articule autour de connaître de l'effet des facteurs environnementaux sur les métabolites secondaires des différentes plantes médicinales.

Notre travail a été divisé en deux grandes parties ; Dans la première partie, nous présentons un synthèse bibliographique qui regroupe de trois chapitres, dans le premier nous avons commencé par généralités sur les plantes médicinales. Le deuxième chapitre est consacré aux métabolites secondaires, leur classification et leur rôle. Le troisième chapitre comporte des

facteurs biotiques et abiotiques de l'environnement et représente leur effet sur les plantes médicinales.

La deuxième partie comporte l'étude expérimentale, et subdivisée en deux chapitres :

- Le premier a groupé les matériels et les méthodes utilisés, qui ont été extraits dans les articles.
- Le deuxième présente les résultats et leurs discussions.

Première partie



Synthèse Bibliographique

Chapitre 01



Plantes Médicinales

I. Historique

De tous les temps, l'homme être très occupé de la satisfaction de ces besoins et les plantes ont occupé une place prépondérante dans sa vie, Les plantes sont utilisées pour la guérison, plus de 25% des médicaments ordonné dans les pays développés dérivent directement ou indirectement dans des plantes (Newman et *al.*, 2000).

Il y a plusieurs médecins pionniers ayant contribué à l'évolution de cette science, les grecs, et on a les babyloniennes, sumériennes et égyptiennes pour découvrirent concernant les plantes médicinales. Les grecs allait a employé ces plantes sous forme de préparations magistrales et obtenir ainsi pendant près de 15 siècles l'histoire de la médecine (Verdrager, 1978).

Au des dernières années, les médecins et les professeurs ont créé des centres de formation en phytothérapie et les plantes ont montré leurs efficacités thérapeutiques fixé et leurs bienfaits incontestables pour notre santé (Anonyme, 1999).

I. Plante médicinale

I.1. Définition

« Une plante » est dite médicinale lorsqu'elle est enregistré à la pharmacopée et que son usage est exclusivement médicinal (Ghabrier, 2010), et plante renfermant un ou plusieurs principes actifs, Les plantes médicinales sont des plantes dont une partie possède des propriétés médicamenteuses (Omar et Mohammed, 1993).

Les plantes médicinales sont des drogues végétales à la Pharmacopée européenne dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses (Debuigne, 1974). Ces plantes médicinales peut être des usages alimentaires, condimentaires ou hygiéniques (Sanago, 2006).

Une ou des substances utilisées en l'état, soit le plus souvent sous la forme desséchée, soit à l'état frais, dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses (Sanago, 2006 ; Mohammedi, 2013). L'emploi inconsidéré de plantes cueillies dans la nature peut aboutir à des intoxications graves, ou le morte (Benarousk, 2009).

I.2. Importance des plantes médicinales

L'utilisation de plantes médicinales ou de préparations à base des plantes sont en soigner des maladies simples comme le rhume, migraine en plus de certaines allergies. Ily a des médicaments prescrits par le médecin sont d'origine naturelle, donc cette explication est pour les médicaments en vente libre (Anthoula, 2003).

Dans le monde, on trouve nombreuse des plantes ont effet bénéfique sous forme de tisanes ou d'extraits de plants, alors que la population à recours à la médecine traditionnelle pour ses soins de santé primaire(Litime, 2012).

I.3. Domaine d'application des plantes médicinales

L'intérêt progressif dans l'utilisation des plantes médicinales dans les pays développés comme dans les pays en voie de développement, les herbes fines guérissent sans effet secondaire défavorable. Ainsi, une recherche de nouvelles drogues est un choix normal(Bahaz, 2010), les végétaux ont des intérêts multiples mais à profit dans l'industrie : en médecine, en alimentation, en cosmétologie... etc.

✓ Utilisation en médecines

-En tant que médicament pour l'homme : Réduisent le risque des maladies chroniques comme le cancer, en urologie, dermatologie, gastrites aiguës, toux, ulcères d'estomac, laxatifs, sommeil et désordres nerveux (Pedneault *et al.*,2001).

- Systèmes cardiovasculaires : Flavoc est un médicament constitué par la flavone non substitué en installation avec isoquercetine est utile dans le traitement de l'athérosclérose(Amjad hossain, 2005).

- Les maladies du stress, des activités antioxydants(Cuvelier *et al.*,1992) et les activités antimicrobiennes, antivirales, antiparasitaires exemple : la quinine obtenue à partir du quinquina "Cinchona" a été avec succès employée pour traiter la malaria(Lyons et Nambiar, 2005).

✓ Utilisation en alimentation

-Assaisonnements, des boissons, des colorants (Pedneault *et al.*,2001)et des composés aromatiques(Takeoka, 1998).

- les épices et les herbes aromatiques utilisés dans l'alimentation. Ces perceptions résultent de stimuli générés par une multitude de composés organiques sont volatils et constituent ce qu'on appelle en général l'huile essentielle, les autres non volatils, sont plus particulièrement responsables de la saveur et de la couleur(Belitz et Grosch, 1999).

✓ Utilisation en cosmétique

-Des produits de beauté, parfums et articles de toilette, produits d'hygiène...etc. (Porter, 2001).

Chapitre 02



Métabolites secondaires des plantes médicinales

II- Le Métabolisme secondaire des plantes médicinales

II.1. Définition

Un métabolite secondaire est une substance présente dans un organisme qui n'est pas directement impliquée dans les processus fondamentaux des cellules vivantes. Chez les végétaux, ces composés regroupent des dizaines de milliers de molécules différentes (hormis la lignine) présentes à faible concentration. Ils se répartissent en trois groupes principaux : les terpènes (ou isoprénoïdes), les composés phénoliques (phénylpropanes et flavonoïdes) et les composés azotés (alcaloïdes, glucosinolates et cyanosides) (Fang et *al.*, 2011).

La production de métabolites secondaires est étroitement liée au métabolisme primaire, généralement grâce à trois voies de biosynthèse : la voie du shikimate, la voie du mévalonate et du pyruvate (Verpoorte et Alfermann, 2000), la glycolyse (pyruvate, phosphoénolpyruvate, AcétylCoA) , la voie des pentoses phosphates (glycéraldéhyde3P, érythrose4P) et le métabolisme des lipides (glycéraldéhyde3P et AcétylCoA), ces précurseurs sont à l'origine de la diversité structurale observée au niveau des métabolites secondaires (Mayer, 2004).

II-2 Classification des métabolites secondaires

Les métabolites secondaires peuvent être divisés en trois classes: Polyphénols; terpénoïdes; stéroïdes et alcaloïdes (Hennebelle et *al.*, 2004).

II-2 -1. Polyphénols

Les polyphénols sont des métabolites secondaires synthétisés par l'ensemble des végétaux. Ils participent à des réactions de défense contre divers stress biotiques ou abiotiques (agents pathogènes, rayonnement UV, etc.) Leur répartition qualitative et quantitative dans la plante varie selon l'espèce, l'organe, le tissu ou le stade de développement et se caractérise par la présence de groupements phénoliques dans leur structure (Kuhnau, 1976).

On distingue :

- Les acides phénoliques (C6-C1 et C6-C3).
- Les flavonoïdes (C6-C3-C6).
- Les lignanes (C6-C3-C3-C6).
- Les stilbènes (C6-C2-C6).

II-2-1-1-Classification des polyphénols

La classification des composés phénoliques selon le nombre et la disposition des atomes, le type de squelette carboné et la longueur de la chaîne aliphatique liée au noyau benzénique (Mamoudo et *al.*, 2006).

✓ Acide phénols dérivés d'acide benzoïque

Ce sont des acides hydroxybenzoïques et ont une structure générale de base de type (C₆C₁), ces molécules se présentent généralement sous forme d'esters ou de glycosides (Harrar, 2012). Les plus courants sont : l'acide salicylique et l'acide gallique (Bruneton, 1999).

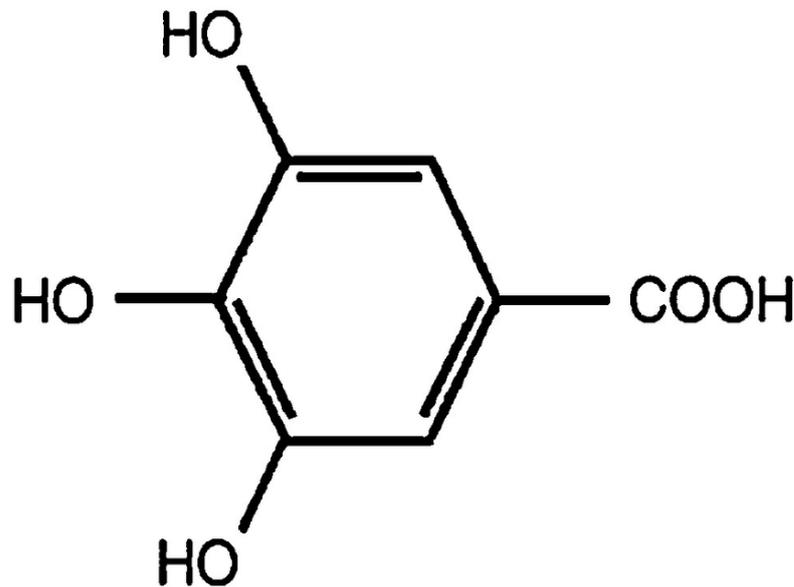


Figure 1:: Structures chimiques des acides benzoïques (Ribéreau-Gayon et *al.*,1972)

✓ Acide phénols dérivés d'acide cinnamique

Les acides phénoliques dérivés de l'acide cinnamique sont généralement estérifiés, les plus courants étant les acides cinnamique, caféïque, férulique, coumarique et synaptique (Haslam, 1994).

II-2 -2-Flavonoïdes

C'est le groupe le plus représentatif des composés phénoliques, ces molécules ont des structures chimiques différentes et des propriétés spécifiques (Benhammou, 2011), groupe de

composés phénoliques végétaux, présents pratiquement dans toutes les parties de la plante, en particulier les cellules végétales photosynthétiques (Kumar et Pandey, 2013).

En 2003, environ 4000 composés flavoniques sont connus (Edenharder et Grunhage, 2003), ces composés se trouvent sous forme libre, appelée aglycone, ou sous forme d'hétérosides, c'est-à-dire liés à des oses et à d'autres substances (Heller et Forkmann, 1993).

Ils ont un squelette de base constitué de deux cycles C6 (A et B) reliés par une chaîne C3 pouvant évoluer en hétérocycle (cycle C) (Akroum, 2011).

La nature chimique des flavonoïdes dépend de leur classe structurale, Ils se répartissent en plusieurs classes des molécules.

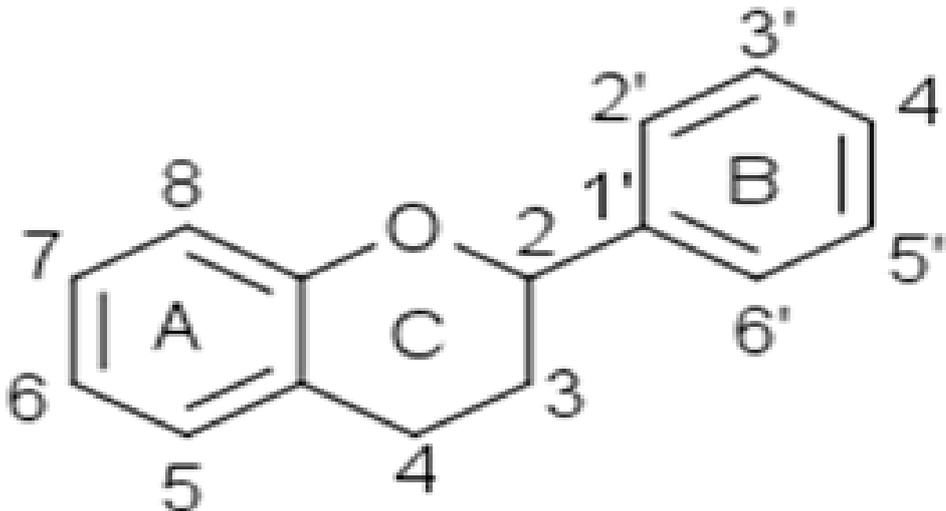


Figure 2: Structure de base des flavonoïdes (Ghedira, 2005).

II-2 -3-Tanins

Les tanins sont des composés phénoliques hydrosolubles complexes dont le poids moléculaire est compris entre 500 et 3000 Da (Kamra et al., 2006).

Ces composés sont produits naturellement par les plantes et se caractérisent par leur capacité à se lier aux protéines (Makkar, 2003 ; al., 2001) grâce à la présence de plusieurs groupements hydroxyles phénoliques (Khenaka, 2011). Également à d'autres polymères organiques tels que les glucides, les acides nucléiques, les stéroïdes et les alcaloïdes afin de former avec eux des complexes stables (Haslam, 1998).

On distingue deux groupes différents de tanins par leur structure aussi bien que par leur origine biogénétiques: Les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Bruneton, 1999) :

❖ **Tanins hydrolysables**

Sont des polyesters de glucides et d'acides phénols. Cependant, les tanins hydrolysables sont limités aux dicotylédones (Bernays et *al.*,1989).

Ils se caractérisent d'abord par le fait qu'ils peuvent être dégradés par hydrolyse chimique (enzymatique), puis ils peuvent libérer une partie non phénolique (souvent du glucose) et une partie phénolique (Guinard, 2000).

❖ **Tanins condensés**

Sont des polymères flavanolique constitués d'unités flavan-3-ols, (Khanbabaea et Ree, 2001).

Ils sont aussi appelés tanins « catéchétiques ». Les proanthocyanidines ont été isolées ou identifiées dans tous les groupes de plantes, y compris les graines nues et les fougères (Bruneton, 2009).

II-2-4- Lignines

C'est le polymère aromatique naturel le plus abondant (Privas, 2013), Le rôle des lignines dans l'évolution des plantes, elles forment une barrière mécanique, un goût désagréable et réduisent la digestibilité des sucres des parois, les lignines sont impliquées dans la résistance des plantes aux micro-organismes et aux herbivores, la lignification est une réponse fréquente à une infection ou une blessure (Murry et *al.* 1982).

II-2 -5- Coumarines

Les coumarines sont des molécules très répandues dans le règne végétal,(Benayache, 2005) Ils existent sous forme libre, solubles dans les alcools et dans les solvants organiques ou chlorés, ou liés à des sucres (hétérosides), ils sont plus ou moins solubles dans l'eau (Bruneton, 1999).

II-2-6- Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des substances organiques naturelles composées de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote (Schauenberg et Paris, 2005), leur teneur est très variable,

généralement entre 0,1% et 2 à 3% du poids sec des médicaments (Roux et Catier, 2007) mais sont le plus souvent associés à des acides organiques ou à des tanins (Ziegler et Facchini, 2008).

II-2-7- Terpénoïdes

Appelés aussi terpènes, ils représentent un groupe important de métabolites secondaires, ce sont des hydrocarbures naturels à structure cyclique ou à chaîne ouverte (Hellal, 2011).

Selon le nombre d'unités isoprènes qui les composent, on distingue : les terpènes ou monoterpènes en C10, les sesquiterpènes en C15, les diterpènes en C20, les triterpènes C30 et les tétraterpènes C40 (Guignard, 1996).

II-3 Effets biologiques des polyphénols

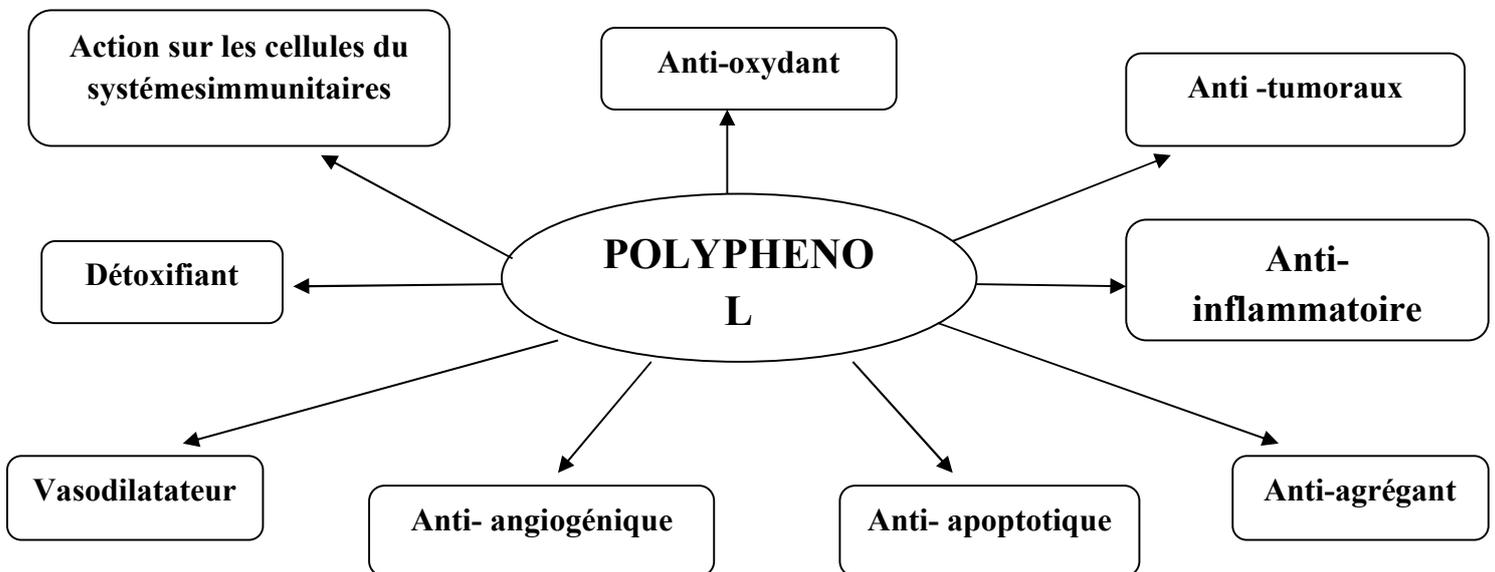


Figure 3: Effets biologiques des polyphénols (Manallah, 2012).

Chapitre 03



Effet des facteurs environnementaux sur des métabolites secondaire

III. Effet des facteurs environnementaux sur les métabolites secondaires

Les facteurs environnementaux, en particulier climatiques et sont des facteurs qui consacrent directement la production et la qualité des métabolites secondaires (Rosua et Granados, 1987 ; Bruneton, 1999), et sont impactés par les facteurs incluant des stimulants biotiques et abiotiques qui régulent la biosynthèse et pour des contraintes auxquels les plantes répondent en produisant des métabolites secondaires spécifiques (Zhi-lin et *al.*, 2007).

III.1. Les facteurs abiotiques

III.1.1. Les facteurs climatiques

Le climat par ses différentes composantes conduit fortement sur la répartition des végétaux et sur leur croissance, leur métabolisme, leur reproduction (Faurie et *al.* 2005). Ce facteur joue un rôle important dans la répartition des plantes végétales, intervient par la température, l'humidité, la luminosité, et le vent qui pratiquent une influence directe, surtout chez les espèces qui possèdent des structures de stockage superficielles, lorsque la localisation est plus profonde la qualité est beaucoup plus constante.

De plus chaque espèce a des besoins différents selon les facteurs climatiques qui reviennent le développement de la végétation (Ozenda, 1983), et influencés par plusieurs facteurs qui regroupent les caractéristiques géographiques locales (Vilain, 1989).

III.1.1.1. Les facteurs influencent le climat

a- La lumière : La lumière est un composant abiotique exigé par les plantes pour la photosynthèse. Chez certaines espèces, leurs exigences en lumière en fonction de leur stade de croissance et le rendement végétal des métabolites (Teres, 2007).

Elle agit de façon quantitative et qualitative et inscrire une augmentation des teneurs en composés phénoliques et plus de flavonoïdes dans les tissus, L'activité des enzymes de la biosynthèse des Polyphénols est stimulée par la lumière (Hireche, 2013).

a.1 Classification des plantes selon leur intensité lumineuses

-Suivant leur exigence en intensité lumineuses, les végétaux sont classés en :

Les héliophiles : ce sont des plantes dont la photosynthèse est efficace en pleine lumière, leur croissance est maximale sous de forts éclaircissements.

Les sciaphiles : ce sont des plantes d'ombre craignant une lumière comme les plantes de sous-bois ou de la strate herbacées d'une forêt tel que la fougère (Ruetz, 1970).

Les photomésophiles : Ces plantes intermédiaires, peuvent vivre quelle que soit l'intensité lumineuse, on peut les rencontrer dans le sous-bois (ombre) ou au soleil.

Ex : le lierre rencontré en forêt et sur un tronc d'arbre (ombre) ou sur les façades des maisons exposé à la lumière (Faurie et *al.*, 2005).

La lumière a un rôle très important sur les plantes vertes ou végétaux chlorophylliens, elle considérée comme une source d'énergie nécessaire pour les échanges photosynthétiques et respiratoires, pour la production des métabolites et des phytohormones et d'autres composés nécessaires à la construction de tissu végétal (Hikal, 1993).

On peut résumer les effets de la lumière sur les plantes médicinales comme suit :

- L'effet de la lumière sur la croissance et la respiration et la dispersion des racines.
- L'effet de lumière sur la reproduction ou sur la floraison et la germination des graines (photopériodisme) (Faurie et *al.*, 1993).
- L'effet de la lumière sur la qualité des plantes médicinales (Ruminska, 1973).
- L'effet de la lumière sur les métabolites secondaires de plantes médicinales et aromatiques (Hemptienne, 2005).

b- Température: La croissance des plantes médicinales est résultent de nombreuses réactions biochimiques sensible à la température (Vilain, 1989), pour certains plantes, un stress thermique apparaît partir de 35°C, causant l'accumulation de composés phénoliques comme les flavonoïdes et les acides hydroxy cinnamiques (Hireche, 2013).

b.1 Classification des plantes selon leurs réponses aux degrés de température

-On peut classer les plantes en fonction de leurs réponses au stress thermique en :

Plantes psychrotherme : sont des plantes qui se développent leur cycle de vie dans la température comprise entre 0 et 20°C provoquant un stress thermique et contient les bactéries, les champignons et les algues qui vivent dans les milieux froids.

Plantes mésothermes : les plantes qui vivent dans la température comprise entre 10 °C et 30°C.

Plantes mégatherme: les plantes qui vivent dans des habitats où la température comprise entre 30°C et 45°C (Belcasem, 2008).

Les exigences en température différente suivant les espèces et les localités (Huetz, 1970).

b.2 L'effet de la température sur les plantes médicinales

- Elle agit directement sur les activités enzymatiques et tous les phénomènes physicochimiques de la cellule.
- La température a également un rôle d'orienter la croissance et la production des plantes médicinales.
- Elle contrôle donc la respiration, la photosynthèse, la croissance et l'évapotranspiration (Moudjahed, 2004 ; Hikel, 1993).
- La tolérance au froid et au chaud à la température pour la plupart des espèces se situe dans un intervalle compris entre -2°C à 0°C et $40 - 50^{\circ}\text{C}$, pour les plantes des régions tempérées, et $+5^{\circ}\text{C}$ à 7°C et $+50$ à 60°C pour les plantes des régions tropicales (Vilain, 1989).

c- L'eau : L'eau est un élément nécessaire à la plante au niveau cellulaire où elle s'effectue toutes les réactions métaboliques, elle nourrit la sève des plantes qui transporte les éléments nutritifs indispensables à leur croissance, elle maintient des organes et des cellules et participe à l'allongement cellulaire (Ghestem et *al.*, 2001).

Un déficit hydrique sévère a été considéré comme réduisant la croissance des plantes, mais plusieurs études démontré que le stress hydrique peut être possible d'augmenter la quantité dans une grande variété d'espèces végétales.

c.1 Classification des plantes selon leurs exigences d'eau

- **les organismes hydrophytes ou hygrophytes :** ce sont toutes les espèces qui vivent dans l'eau, des habitats fortement humides. Il caractérisée pour modifier profondément la morphologie et la biologie des hygrophytes.
- **Les organismes mésophytes :** végétaux qui ont des besoins moyens en eau du sol et en humidité de l'air, qui ne peuvent pousser ni en habitats secs (comme les xérophytes), ni en habitats mouillés (comme les hygrophytes), ils supportent les alternances des saisons sèches et des saisons humides.
- **les organismes xérophytes :** plante qui vivent dans des habitats comme secs, soit par le substrat, soit par l'atmosphère, soit par l'ensemble des deux. Chez les être vivant, l'eau prend part à la structure du cytoplasme et à l'organisation cellulaire (Kamel, 2002).

c.2 L'effet de l'eau

- L'eau est considérée le composant principale de la matière vivante et fournit un milieu indispensable pour toutes les réactions chimiques à l'intérieur des cellules.
- l'eau sous ses formes diverses affecte directement ou indirectement la croissance et le contenu biochimique des plantes médicinales en substances bioactives en termes de quantité ou de qualité (Moudjahed, 2004 ; Kameli, 1997).
- Dans la production, ils ont trouvé que la croissance du potentiel hydrique du milieu conduit généralement à la production des fruits riches en eau.
- L'augmentation du potentiel hydrique provoque chez certain d'espèce la réduction de la teneur en alcaloïdes et provoquer aussi la croissance de la teneur et la qualité des substances bioactives chez certaines espèces (Hikel, 2002).

d-Le vent : Le vent est un facteur climatique important, résulte du mouvement de l'atmosphère entre les hautes et basses pressions. Il conduit soit directement par une action mécanique sur le sol et les végétaux, soit indirectement en modifiant l'humidité et la température (Ruminska, 1973).

Il joue un rôle dans la distribution des pluies (Ozenda, 1982), mais, elle peut des effets négatifs sur certaines matières, telles que les substances volatiles (Ruminska, 1973).

L'impact de ce facteur sur les êtres vivants se résumer comme suit :

- Le vent assure la pollinisation chez les plantes à fleur dites anémophiles et la dissémination des graines ou de fruits non charnus, appel d'anémochorie, tel que les graines ailées (avec aile) des gymnospermes.
- Le vent peut avoir un effet indirect, soit en asséchant l'air et augmentant les températures dans le cas des vents chauds, ou diminuant les températures dans le cas des vents froids.
- Le vent est un agent de dispersion des animaux et des végétaux.
- Le vent ralentit l'activité des insectes.

III.2. Les facteurs édaphiques

III.2.1. Le sol : Le sol est un milieu vivant complexe et dynamique, produit de l'altération du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'action de la vie et d'atmosphère et des échanges d'énergie.

Les plantes ancrent leurs racines dans le sol dans lequel ils trouvent l'eau et les minéraux nécessaire à leur synthèse de matière organique (Baldy et Stigter, 1993 ;et *al.*,2001).

III.2.1.1. Classification des plantes selon le type de sol :

***Oxylophytes :** plante qui s'installent sur les sols acides.

***Halophytes :** les plantes qui s'installent sur les sols salins.

***Psammophytes :** les plantes qui s'installent sur les sols sablonneux.

***Lithophytes:** les plantes qui s'installent sur les roches.

***Chasmophytes :** les plantes qui s'installent sur les fissures des roches (Chahatte, 1986).

III.2.1.2. L'effet du sol sur les plantes médicinales

- Le sol est considéré le support des plantes à racine, cultivées ou non.
- Il considérée un réservoir d'eau qui alimente les racines et que fournisseur de matières alimentaires nécessaires à la croissance des plantes.
- Il constitue une zone d'échanges d'ions pour l'eau, l'oxygène (Lemanceau et Heulin, 1998).
- L'obtention d'une grande quantité de métabolites secondaires qui demande une bonne terre nutritive (Fluck, 1942).

III.3. Les facteurs biotiques

Les plantes sont physiquement attaquées par de nombreux agents biologiques comme les insectes, les champignons, les virus, les bactéries, les nématodes, ...etc. Certains métabolites secondaires ont des activités antimicrobiennes qui fonctionnent un système défensif chez les plantes contre les agents pathogènes (Lincoln et Zeiger, 2006).

Deuxième partie



Partie expérimentale

Chapitre 04



Matériel et Méthode

Dans la revue, nous avons utilisé une méthode standardisée appelée PRISMA pour l'examen systématique qui comprend des critères d'éligibilité et d'exclusion des ressources, le processus d'examen systématique et l'analyse des données, l'abstraction et l'analyse des données.

L'examen était basé sur une recherche systématique d'articles de recherche provenant de bases de données électroniques : **PubMed, Google Scholar et Science Direct.**

Tous les articles des recherches ont été importés dans le logiciel de gestion des références Mendel et les doublons ont été supprimés, nous n'avons retenu que les articles évalués qui portaient sur la variation climatique et ses effets sur les métabolites secondaires de la plante avec des méthodes et des résultats spécifiques. Cette revue vise à améliorer de l'adaptabilité des plantes aux principaux facteurs environnementaux.

Tableau 1:Recherche de manuel utilisé.

Terme de recherche employé	PubMed	Google Scholar	Science Direct
Les Métabolites secondaires et les plantes médicinales	17	36	5
Les Plantes médicinales et les changements climatiques	7	6	9
Les Métabolites secondaires et la température	5	14	4
Les Plantes médicinales et le sol	3	10	2
Total	32	65	20

Tableau 2:les critères d'inclusion et d'exclusion.

Critère	Admissibilité	Exclusion
Type de littérature	Articles de recherche (journal)	Révision d'articles de journaux, de livre, de chapitre de livre, de séries de livres, d'articles de conférences, de rapports, d'actes
Langue	Français-Anglais	Non –anglais
Ligne du temps	Entre 2010 et 2020 Articles complet dans une revue à comité de lecture	< 2020 Résumé publié

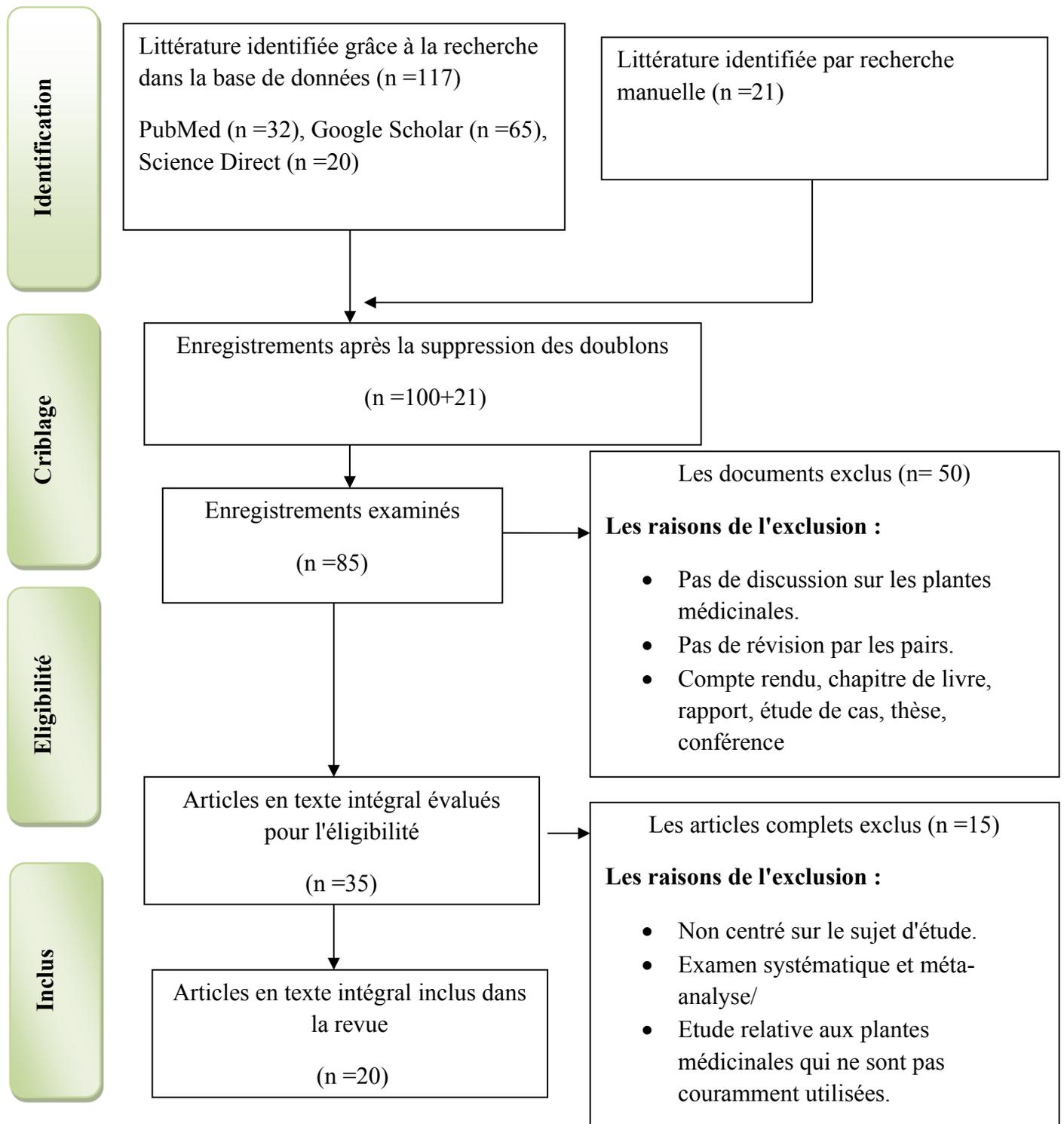


Figure 4: Diagramme de flux de l'étude PRISMA (preferred reporting items for systematic reviews and meta-analysis).

IV-1-Extraction des données

Tous les articles des recherches ont été importés dans le logiciel de gestion des références Mendel. Au total de 117 articles ont été trouvés par le moyen de bases de données : 65 articles dans Google Scholar, 32 articles dans PubMed, 20 articles dans Science Direct.

De cette base de données, il y a 17 articles en double ont été supprimés, on a identifiée autre 21 recherche manuelle, puis on a choisis 85 articles examinées, la première sélection des articles a consisté à lire le titre et le résumé, les documents exclus sont 50 pour les raisons : pas de discussion sur les plantes médicinales, pas de révision par les pairs et ont été identifiés 35 articles comme éligibles pour le texte complet, les articles complets exclus sont 15 pour les raisons : non centré sur le sujet d'étude, examen systématique et méta-analyse, étude relative aux plantes médicinales qui ne sont pas couramment utilisées, et finalement 20 articles de recherche ont été inclus dans l'analyse des données.

Ce processus d'examen est basé sur le diagramme de PRISMA (Figure 04). Par ailleurs, les références des articles analysés ont été consultées pour identifier d'autres études qui n'ont pas été trouvées dans les bases de données consultées. Ainsi, 21 nouveaux articles ont été ajoutés, au total de 138 articles utilisés dans la préparation de cette revue d'articles.

Les informations ont été extraites de tous les articles, y compris la méthodologie de l'étude et le but et l'importance des métabolites secondaires en utilisant l'extraction de données. L'examen du résumé du titre et du texte intégral de la publication a été effectué de manière indépendante, les méthodes utilisées ont fait l'objet d'une sélection manuelle sur la base des critères d'éligibilité et des exclusions.

IV-2-L'évaluation de la qualité

Un examen des articles a été effectué afin d'identifier toute erreur systématique potentielle dans l'extraction des données.

L'évaluation de la qualité est basée sur différentes catégories : justification des études de recherche, reproductibilité, solidité de la méthodologie et importance de l'étude.

En outre, les articles concernant les mêmes espèces végétales et des paramètres climatiques similaires ont été regroupés en un seul ensemble et les données ont été extraites, les listes de référence examinées de certains articles dont le titre est similaire à celui des articles qui nous intéressent.

Chapitre 05



Résultat et discussion

V-Résultats et Discussions

L'analyse a porté sur 20 articles, qu'analyser les effets des changements climatiques sur les métabolites secondaires des plantes médicinales.

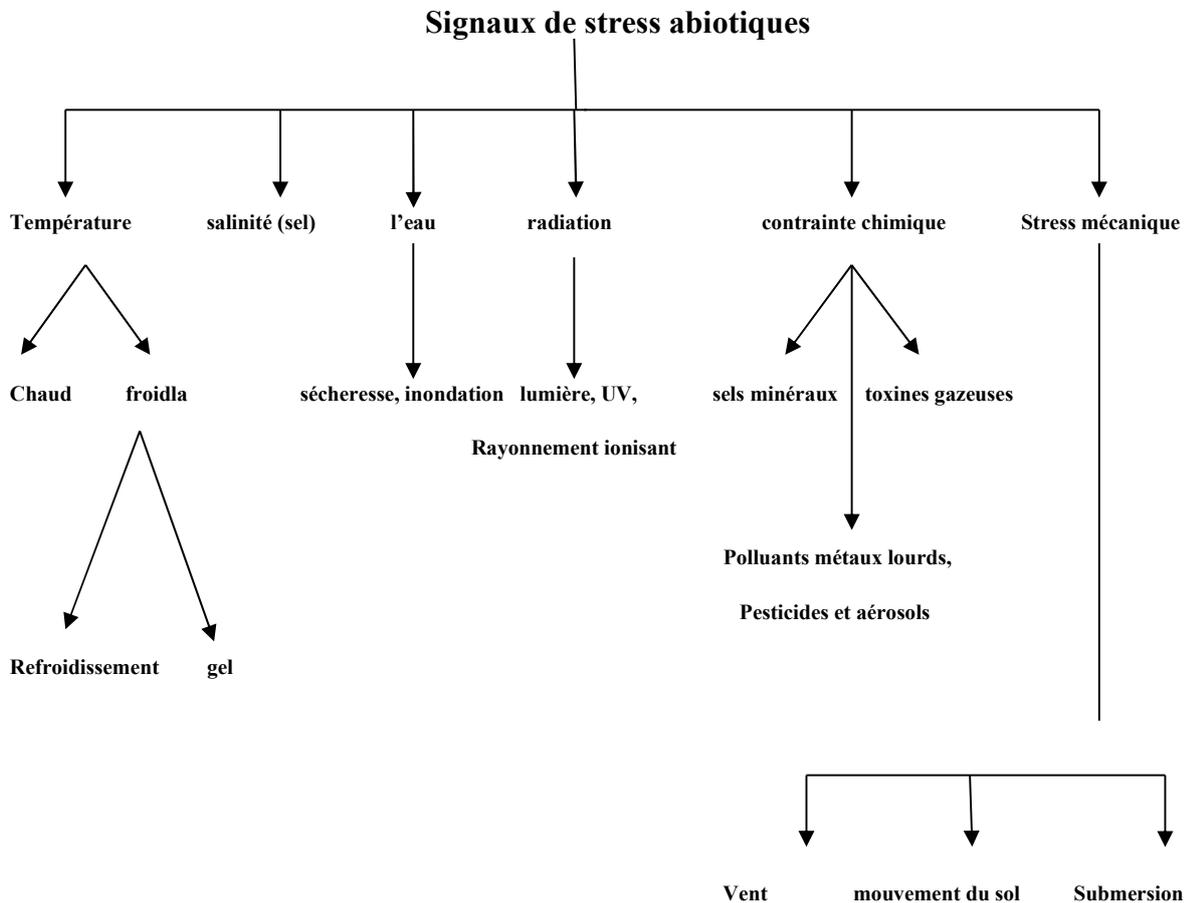


Figure 5: Divers signaux de stress abiotiques créant un stress chez les plantes (adapté de Mahajan et Tuteja, 2005).

Tableau 3: Les facteurs environnementaux changent en fonction du contenu de la plante.

Classe de métabolite secondaire	Plantes	Pièces utilisée	Facteur environnemental	Changement de concentration	Références
Alcaloïde	<i>Duboisia myoporoides R.Br.</i>	Plante entière	Température	Augmenter	Ullrich et al. 2017.
Acide linoléique, Acide jasmonique (Acide gras)	<i>Camellia japonica L.</i>	Feuilles	Basse température	Diminution	Lei et al. 2016.
Alcaloïde totaux et Flavonoïde totaux	<i>Dendrobium officinale Kimura & Migo</i>	Tige	Température	Diminution	Yuan et al. 2020.
Saponines (Diosgénine et Pennogénine)	<i>Paripolyphyllavar.yunnanensis (Franch.)</i>	Rhizome	dioxyde de carbone (CO ₂)	Augmenter	Qiang et al. 2020.
Phénol	<i>Plantago ovate Forsk</i>	Plante entière	Stress lié à la salinité	Augmenter	Verma et Shukla, 2015.
Flavonoïdes et substances phénoliques	<i>Coleus forskohii Biriquet</i>	Feuille	Rayonnement ultraviolet B	Augmenter	Takshak et Agrawal, 2015.
Acide rosmarinique	<i>Melissa officinalis L.</i>	Tournages	Ozone élevé	Augmenter	Tonelli et al. 2015.
Alcaloïdes	<i>Mahonia breviflora</i>	Feuille, tige et racines	Intensité lumineuse	Augmenter	Li et al. 2018.
Lactone sesquiterpénique Artémisinine	<i>Artemisia annua</i>	Plante entière	Température	Augmenter	Yin et al. 2008.
Phénols	<i>Erigeron breviscapus</i>	Feuille	Lumière	Augmenter	Zhou et al. 2016.
Lactone sesquiterpénique Artémisinine	<i>Artemisia</i>	Plante entière	Sécheresse	augmenter	Verma et Shukla, 2015.

flavonoïde	<i>Scutellaria baicalensis Georgi</i>	Plante entière	Stress du à la sécheresse	Augmenter	Cheng et <i>al.</i> , 2018.
Tanin	<i>Achillea fragratissima</i>	Plante entière	Salinité du sol	Diminution	Abd EL-Azim et Ahmed, 2009.
Phénols Composés phénoliques totaux	<i>Hypericum brasiliense</i>	Pousses et racines	Sécheresse	Augmenter	D'Abreu et Mazzafera, 2005.
Composés flavonoïdes	<i>Plantago ovata</i>	Racine et pousse	Salinité du sol	Diminution	Haghighi et <i>al.</i> 2012.

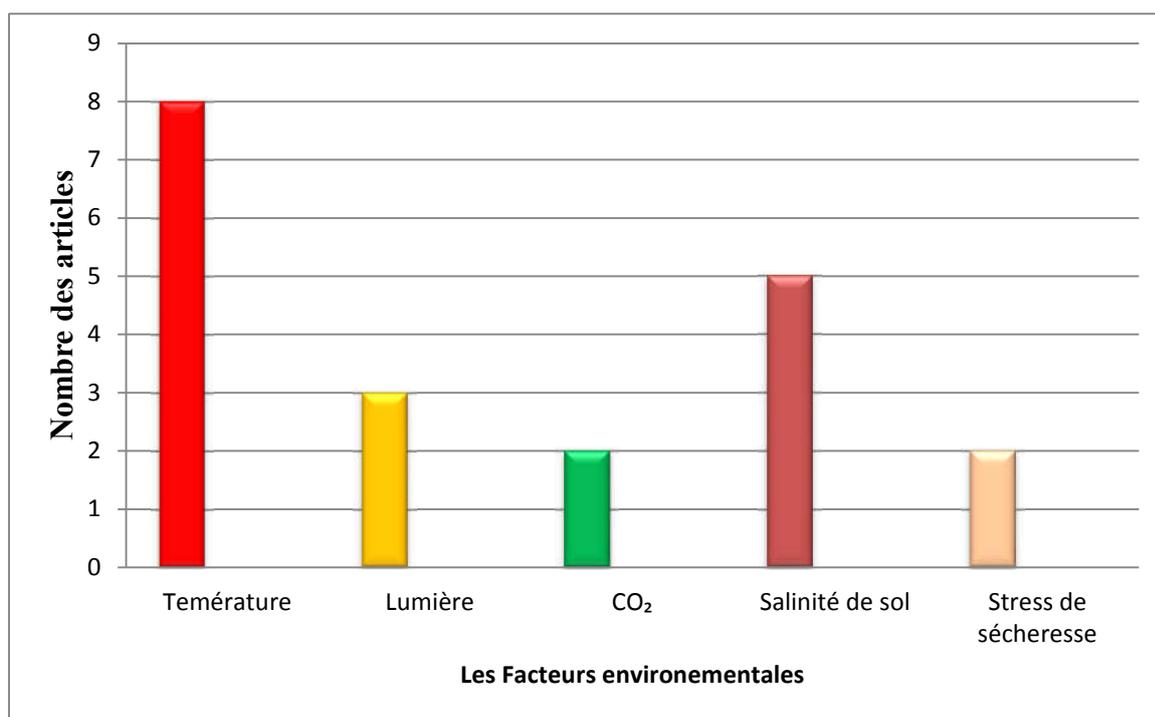


Figure 06: Histogramme représentant les facteurs environnementaux dans l'étude avec le nombre d'articles.

V-1- Les facteurs environnementaux influencent la production de métabolites secondaires

La synthèse et l'accumulation adéquate sont strictement contrôlées de manière locale et temporelle et sont influencées par l'évolution de l'environnement abiotique et biotique,

Des études ont montré une plante d'une même espèce cultivée dans un environnement différent à une concentration différente d'un métabolite secondaire particulier (Ramakrishna, Ravishankar, 2011).

Ils entrent en contact avec divers composants abiotiques comme l'eau, la lumière, la température, CO₂, le sol et la sécheresse.

Ainsi, les facteurs environnementaux sont des déterminants fatidiques pour la biosynthèse et les vicissitudes de l'environnement (Verma et Shukla, 2015).

V-1-1- Température

La température influence fortement l'activité métabolique et l'ontologie des plantes, et des températures élevées peuvent induire une sénescence prématurée des feuilles (Morison et Lawlor, 1999).

Tableau 4: Changement de température sur le contenu de divers métabolites secondaires végétaux.

Classe de métabolite secondaire	Plantes	Pièces utilisée	Changement de Concentration	Références
Tanshinone	<i>Salvia miltiorrhiza Bunge</i>	Racine	Augmenter	Zhang et al., 2019.
Silymarine	<i>Silybum marianum (L.) Gaertn</i>	Racine	Diminution	Rahimi et Hasanloo, 2016.
Sesquiterpène lactone	<i>Artemisia annua</i>	Plante entière	Augmenter	Yin et al., 2008.
Phénols	<i>Astragalus compactus</i>	Racines, feuilles et fleurs	Augmenter	Naghiloo et al., 2012
Acide gras	<i>Camellia japonica</i> L	Feuille	Diminuer	Li et al., 2016.
Alcaloïde	<i>Duboisia myoporoides R.Br.</i>	Plante entière	Augmenter	Ullrich et al., 2017.
Acide gras	<i>Chrysanthemum</i>	Plante entière	Diminuer	Shibata et al., 1988.

D'après Yadav (2010), huit études examinées les changements de température qui ont un impact direct sur la croissance des plantes se trouvent et les voies métaboliques impliquées dans la signalisation. Des températures basses et élevées peuvent avoir un impact négatif sur la croissance et la productivité des plantes, et Morison et Lawlor (1999), détecté que la température influence fortement l'activité métabolique et l'ontologie des plantes et les températures élevées peuvent induire la prématurée

Par exemple, la composition des alcaloïdes de *Duboisia myoporoides* R. Bra montré une augmentation (Ullrichet *al.*, 2017), et Acide linoléique et Acide jasmonique de *Camellia japonica* L ont trouvé une diminution régulation génique des voies de biosynthèse des acides gras insaturés donc, des voies de biosynthèse ont été déduites à basse température (Li *etal.*,2016).

Wang et Wei (2011), ont trouvé une relation entre la température et la qualité de la plante sur la base des métabolites secondaires phénoliques (les flavonoïdes et les alcaloïdes) alors que Shibata *et al.*, (1988), ont irrigué que les métabolites secondaires étaient dans les plantes soumises à des contraintes de haute température.

Zhang *et al.*,(2019), ont indiqué une augmentation de l'accumulation de tanshinones dans la *Salvia miltiorrhiza*Bunge avec une augmentation de la température. Par contre Sampaio *et al.*,(2016) ont trouvé une diminution par la suite dans *Camellia japonica* L d'une autre part Janska *et al.*,(2010), ont dit que la basse température est l'un des stress abiotique les plus nocifs pour les plantes tempérées. Ces plantes se sont adaptées aux différents variations de température en modifiant leur métabolisme secondaire pendant l'automne, en augmentant leur teneur en une gamme de composés cryo-protecteurs pour maximiser leur tolérance au froid.

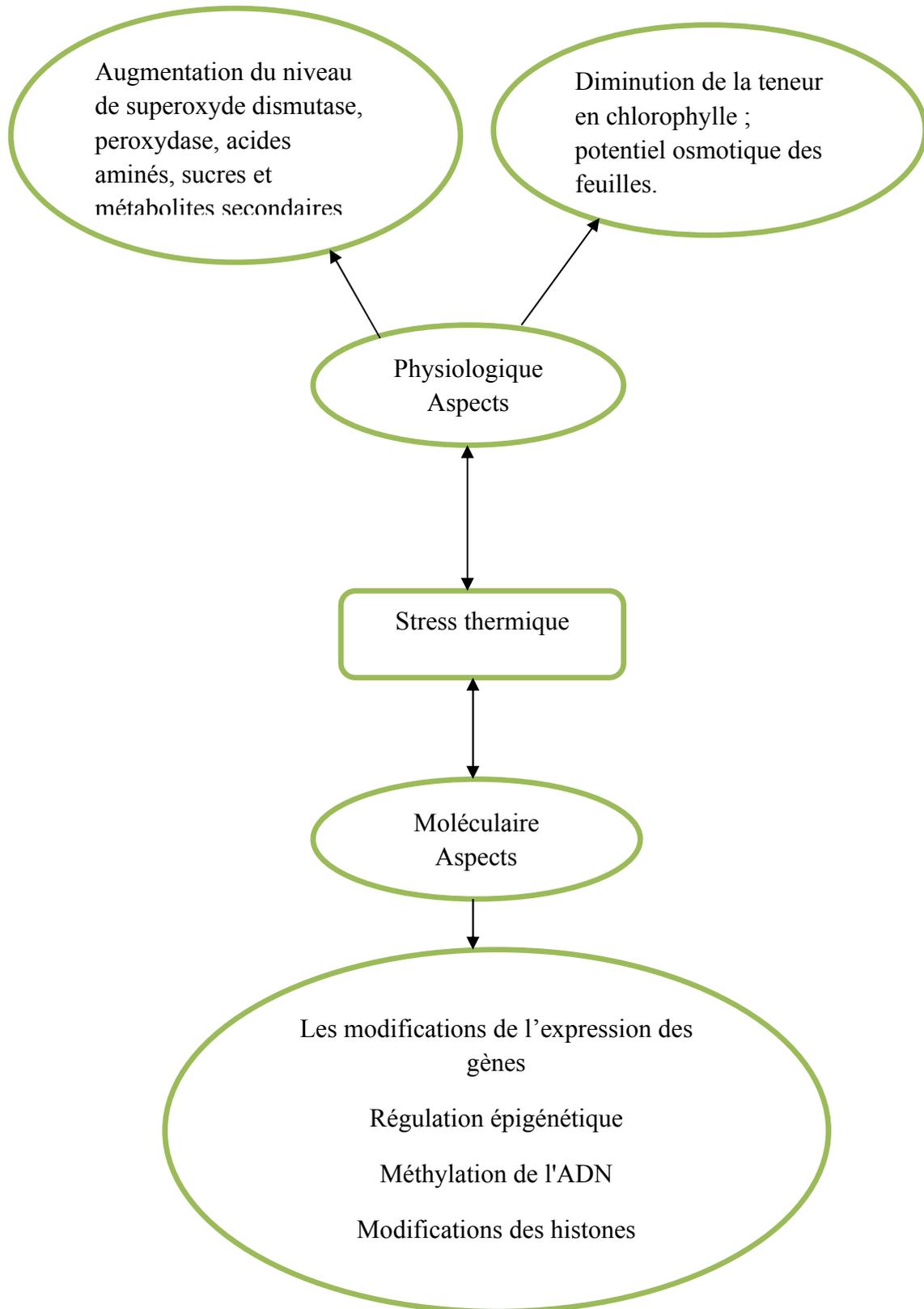


Figure 7:Aspects physiologiques et moléculaires du stress thermique chez les plantes médicinales (Shabir et Wani et *al.*, 2017).

V-1-2- La Lumière et Ultra-violet radiations

Tableau 5: Changement de la qualité de la lumière sur le contenu de divers métabolites secondaires végétaux.

Classe de métabolite secondaire	Plantes	Pièces utilisée	Changement de concentration	Références
Alcaloïdes	<i>Asparagus officinalis</i>	Plante entière	Augmenter	Eichholz et <i>al.</i> ,2012.
Phénols	<i>Tarbush</i>	Feuille	Aucun effet	Estell et <i>al.</i> ,2016.
Flavonoïdes et composés phénoliques	<i>Coleus forskohlii Briquet</i>	Feuille	Augmenter	Takshak et Agrawal ,2015.
Phénols	<i>Withania somnifera</i>	Racine et feuille	Augmenter	Takshak et Agrawal. ,2014.

L'irradiation par des photons de différentes longueurs d'onde est un élément abiotique essentiel aux plantes pour la photosynthèse, la croissance et l'accumulation de produits du métabolisme secondaire (Zhangetal. 2015).Kazan et Manners, (2011), constaté que la lumière à un impact sur les niveaux d'une large gamme de métabolites secondaires dans une interaction biochimique complexe.

Zhang et *al.*,(2015),ont trouvé chez certaines plantes, l'irradiation augmente et utile pour la croissance de la plante et la production des métabolites secondaires.de coté Arakawa et *al.*,(1985) Chez les pommes, et la lumière UV de 280-320 nm stimule de façon synergique la synthèse des anthocyanes lorsqu'elle est combinée à la lumière rouge.

Par exemple, dans phénols chez *Withania somnifera* était élevé dans les feuilles développées au soleil et dans les feuilles développées à l'ombre, les effets de l'intensité lumineuse sur la biosynthèse et le stockage des métabolites secondaires ont été notables pour différentes composants (Kong et *al.*, 2016), Les plantes ont besoin d'une intensité lumineuse proportionnée pour la photosynthèse, et cela affecte la qualité et l'accumulation des rendements totaux en alcaloïdes, des flavonoïdes totaux, des acides phénoliques (Lavola et *al.*, 2000 ; Kong et *al.*,2016 ; Li et *al.*, 2018).

De même, (Figueiredo et *al.*, 2008 ; Kong et *al.*, 2016 ; Li et *al.*,2018),ont prouvé que le rendement en huile essentielle est également accru en réponse à des intensités lumineuses élevées, (Chenet *al.*,2017 ; Li et *al.*2020)ont dit selon les besoins en intensité d'ensoleillement, les plantes médicinales sont classées en trois types : les héliophytes, les sciophytes et les intermédiaires analogique à d'autres processus, l'accumulation de métabolite secondaire dans

les plantes médicinales est significativement affectée par la lumière . Li et *al*,(2018), ont montré que la concentration et le rendement sont des paramètres importants qui doivent être pris en compte pour la production de métabolite dans les plantes médicinales. Par exemple ont trouvé que 30 et 50% de lumière solaire sont de meilleures conditions pour la production totale d'alcaloïdes.

Takshak et Agrawal(2015), ont dit que L'impact de l'exposition aux rayons ultraviolets (UV) sur le métabolisme secondaire est dominant chez les plantes médicinales. Par exemple, les concentrations de flavonoïdes et d'acides phénoliques de *coleus forskohii biriquet* ont augmenté en parallèle avec l'augmentation du rayonnement UV. De cela, Nascimento et *al*, (2015), ont trouvé que les teneurs diffèrent selon les stades de développement ; le meilleur stade de récolte valeur médicinale était entre le bourgeonnement et la pleine floraison. Ainsi, le rendement des propriétés médicinales pourrait être atteint par un ajustement approprié de la qualité et de la quantité de lumière dans la future.

V-1-3- le dioxyde de carbone (CO₂)

Tableau 6: l'effet de dioxyde de carbone (CO₂) sur le contenu de divers métabolites secondaires végétaux.

Classe de métabolite secondaire	Plantes	Pièces utilisée	Changement de concentration	Références
Phénoliques totaux et anthocyanes totaux	<i>Hibiscus sabdariffa L.</i>	Calice	Augmenter	Ali <i>etal</i> .,2019.
Glucosinolates	<i>Arabidopsis thaliana L.Heynh</i>	Feuille	Diminution	Paudel <i>etal</i> .,2016.
Saponines (diosgénine et pennogénine)	<i>Paris polyphylla var. yunnanensis (Franch.)</i>	Rhizome	Augmenter	Qianget <i>al</i> .,2020.

Le dioxyde de carbone est considéré comme un important gaz à effet de serre qui affecte la physiologie des plantes médicinales, dont la concentration a augmenté rapidement depuis la révolution industrielle de 270 ppm à 407,4 ppm (O.M.M et G.A.P). Les plantes s'adaptent aux changements environnementaux par la plasticité métabolique, mais cela affecte le métabolisme secondaire qui est à la base de leur activité médicinale. Tissartn, (2002), Il a été constaté que les effets bénéfiques d'un taux élevé de CO₂ sur la productivité et la qualité de divers produits et constituants des plantes médicinales. Des niveaux élevés de CO₂ (3 000 µl de CO₂/litre d'air) ont augmenté le poids frais et le nombre de feuilles et de racines .Mais Paudel et *al*,(2016), ils

ont trouvé une signature métabolite claire sous le teneur élevé de CO_2 avec une concentration plus faible d'anticorps tels que les glucosinolates chez *Arabidopsis thaliana* L. Ils suggèrent que les conditions atmosphériques changeantes et la fertilisation azotée pourraient affecter la capacité des plantes à reconnaître et à gérer le stress oxydatif (par exemple, les dommages causés par les insectes).

Le taux de CO_2 atmosphérique et la fertilisation par les nitrates jouent un rôle important dans la formation du profil métabolique constitutif et induit par la blessure dans les feuilles *Arabidopsis thaliana*, *Parispolyphylla var yunnanensis*, une plante médicinale traditionnelle chinoise, a présenté une activité photosynthétique plus forte et une teneur plus élevée en composés bioactifs dans l'ouest du Yunnan sous une forte teneur en CO_2 que la culture dans le centre du Yunnan.

Qiang et al,(2020), ont prouvé que Dans l'ouest du Yunnan, le taux de croissance augmente et diminue initialement avec l'augmentation du CO_2 . En revanche, le taux de croissance dans le centre du Yunnan est initialement plus faible puis augmente, ce qui suggère que les cultivars de l'ouest du Yunnan sont sensibles à la concentration atmosphérique de CO_2 . Les niveaux de cultivars de l'ouest du Yunnan ont augmenté sous la culture industrielle de la plante Paris polyphylla à forte teneur en CO_2 dans un environnement à forte teneur en CO_2 .

V-1-4- Stress du sol

Le sol affecte la croissance et le développement des plantes, et l'accumulation de métabolites secondaires dépend fortement de l'eau du sol (stress hydrique), de la salinité et de la fertilité du sol.

V-1-4-1- Stress hydrique du sol (stress dû à la sécheresse)

Tableau 7: L'effet de sécheresse augmente la concentration de divers métabolites secondaires végétaux.

Classe de métabolite secondaire	Plantes	Pièces utilisée	Références
Phénols	<i>Trachyspermum ammi</i>	Feuille	Azhar et al., 2011.
Triterpénoïdepentacyclique	<i>Hypericumbrasiliense</i>	/	Verma et Shukla, 2015.
Phénols	<i>Scutellariabaicalensis</i>	Plante entière	Cheng et al., 2018.
Lactone sesquiterpénique	<i>Artemisia</i>	Plante entière	Verma et Shukla, 2015.

Selon, (Peñuelas etStaudt, 2010 ; Bourtsoukidis et al. 2014; Yuan et al. 2016) le manque d'études examinée les périodes chaudes et sèches fait un stresshydrique et une sécheresse légère

peut augmenter les émissions de COV. En retour au Ashrafia et *al.*,(2018), Le stress de la sécheresse diminue l'absorption d'eau, ce qui divers processus physiologiques et peut altérer la biosynthèse des métabolites secondaires.

D'Abreu et Mazzefera ,(2005), distingué que Il existe de nombreux rapports concernant l'effet du stress hydrique sur les métabolites secondaires des plantes médicinales. Par exemple, le contenu de lactone et de phénoliques est élevé sous une condition de stress de sécheresse sévère dans les plantes.

Dans une autre étude, Vermaand et Shukla (2015), ont trouvé que les effets de la sécheresse ont permis d'améliorer la qualité de métabolite secondaire essentiel comme lactone sesquiterpénique chez *Artemisia*. Singh et *al.*,(2002),ont montré que ce dernier est responsable à l'augmentation de la production accrue de stérol et la tolérance au stress de la déshydratation et de la sécheresse .

Cette étude indique que les métabolites sensibles à la sécheresse sont produits/consommés par des voies/cycles différentes, de nouvelles approches technologiques telles que la transcriptomique et la protéomique pourraient nous aider à identifier et à manipuler les voies/cycles impliquées dans l'établissement d'une tolérance accrue à la sécheresse (Ashrafia et *al.*, 2018).

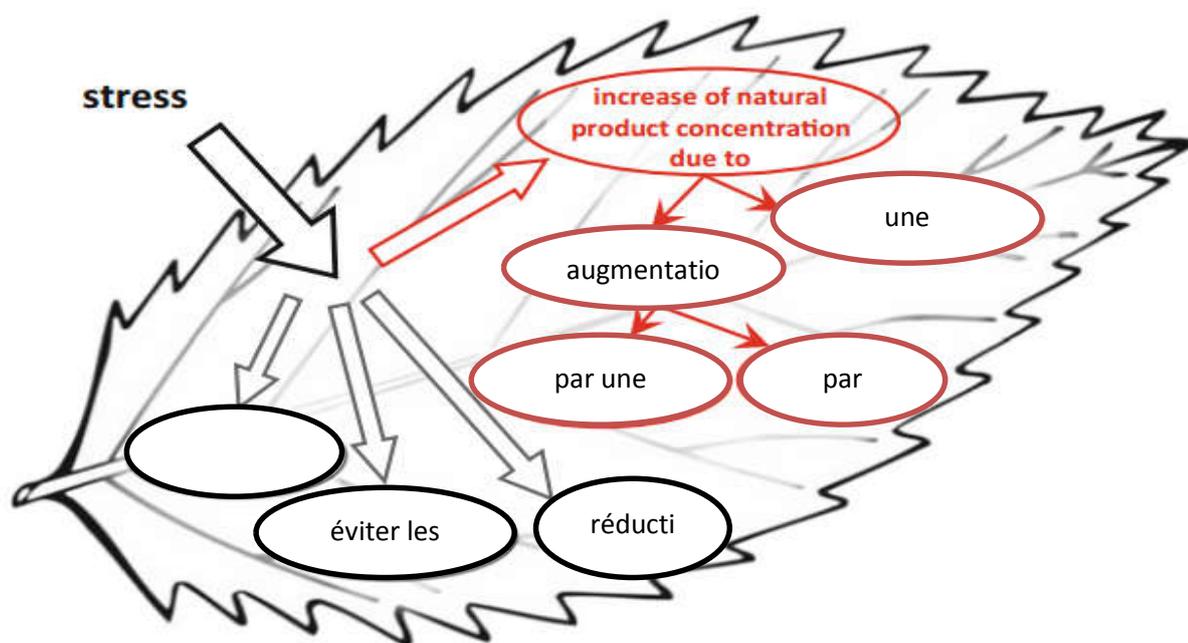


Figure 8:L'effet du stress de la sécheresse sur la concentration des produits naturels (Dirk Selmar, 2017).

Le stress de la sécheresse augmente le taux réel de biosynthèse. Cela pourrait être dû soit à un changement passif soit à une régulation active des enzymes impliquées dans la biosynthèse des produits naturels. Les deux options sont liées à l'état de réduction fortement amélioré des feuilles exposées au stress de la sécheresse (Figure 07).

V-1-4-2- Stress lié à la salinité du sol

Le stress de la salinité est considéré comme un facteur limitant la production agricole dans le monde entier. Environ 20 % des terres irriguées sont touchées par une forte teneur en sel (Flowers et Yeo, 1995).

Tableau 8: Changement de la salinité du sol sur le contenu de divers métabolites Secondaires végétaux.

Classe de métabolite secondaire	Plantes	Pièces utilisée	Changement de concentration	Références
Phénol total	<i>Salvia macrosiphon</i> Boiss.	Feuille	Diminution	Valifard et al., 2017.
Total phénolique, non flavonoïdes, tanins	<i>Brassic napus var oleifera</i> Del.	Semences	Augmenter	Falcinelli et al., 2017.
Phénoliques	<i>Achillea fragratissima</i> .	Plante entière	Augmenter	Abd EL-Azim et Ahmed, 2009.
Monoterpènes/Huiles essentielles	<i>Coriandrum sativum</i> .	Feuille	Diminuer	Neffati et Marzouk, 2008.
Composés flavonoïdes	<i>Plantago ovata</i> .	Racine et pousse	Augmenter	Haghighi et al., 2012.
Monoterpènes/Huiles essentielles	<i>Origanum majorana</i> .	Partie aérienne	Diminuer	Baatour et al., 2010.

Banerjee et Roychoudhury, (2017), ont indiqué que les sols à forte salinité induisent des déséquilibres en nutriments, un stress hyper osmotique montre une diminution de la photosynthèse, de la croissance et de l'absorption des nutriments chez les plantes. À côté d'Akula et Ravishankar, (2011) dite que Les métabolites secondaires peuvent augmenter ou diminuer en concentration en faveur à un stress osmotique induit par la salinité ou à une toxicité ionique spécifique.

AbdELAzim et Ahmed ,(2009),ont montré que Les plantes exposées au stress salin augmentent la concentration d'alcaloïdes et des tanins , Verma et Shukla ,(2015),ont constaté que les composés phénoliques ,Haghighi et al,(2012)ont trouvé que des saponines, de

flavonoïdes et de proline chez *Plantagoovata* et ont rapporté que le contenu phénolique total de *Salvia macrosiphonBoiss* diminuait dans tous les traitements avec différentes concentrations de NaCl. La teneur des composés phénoliques a été réduite avec l'augmentation de la concentration de NaCl. De plus, l'augmentation de la salinité peut augmenter la teneur en phénols, en non-flavonoïdes, en tanins et en acides phénoliques totaux chez *Brassic napus var oleifera Del.* (Colza). Après germination, la teneur en phénols totaux a augmenté de 35 % puis a légèrement diminué.

De même, Valifard et al,(2017) ont montré une augmentation de 30 % des non-flavonoïdes et les tanins totaux ont augmenté avec l'augmentation de la concentration en sel et sont restés à une concentration élevée, tandis que la salinité n'a eu aucun effet clair sur la teneur totale en acide phénolique.

V-1-4-3- Stress lié à la fertilité du sol

Pour une croissance saine, les plantes ont besoin de nutriments, d'engrais, de régulateurs de croissance et d'autres produits chimiques, y compris la biosynthèse des métabolites secondaires.

Tableau 9: Changement de la fertilité du sol sur le contenu de divers métabolites Secondaires végétaux.

Classe de métabolite secondaire	Plantes	Pièces utilisée	Changement de concentration	Références
Alcaloïde	<i>Duboisiaspecies</i>	Plante entière	Diminution	Ullrich et al, 2017.
Polyphénols totaux	<i>Lactuca sativa</i> L.	Feuille	Augmentation	Galieni et al, 2015.
Alcaloïde	<i>Trigonellafoenum-graecum</i> L.	graines	Augmentation	Dar et al, 2016.

Lactuca sativa L. est utilisée en médecine pour ses propriétés inoffensives, antispasmodiques, digestives, diurétiques, hypnotiques, anesthésiques et sédatives. Galien et al, (2015), ont découvert que la fertilisation sans azote adonné à la laitue les niveaux les plus élevés des polyphénols totaux, ainsi qu'une bonne activité anti-radicalaire.

En outre, Dar et *al.*(2016) Il a été constaté que dans le fenugrec (fenugrec) seul, la pulvérisation foliaire avec de l'alginate de sodium irradié ou combinée à une application de phosphore au sol, le rendement en graines a augmenté de 131,0 %, la teneur en *trigonelline* était de 17,84 % et. La teneur en alcaloïdes des graines était de 32,98% et le rendement en alcaloïdes des graines était de 208,64%.

V-1-5- Stress d'ozone

L'ozone est considéré comme un agent bioprotecteur des rayons UV, cependant, au sol, il affecte les animaux (Zhang et *al.*, 2019, Jaffe ,1967) et les plantes (Grulke et Heath, 2020. Felzer et *al.*, 2007).

Tableau 10: l'effet de stress d'ozone sur le contenu de divers métabolites secondaires végétaux.

Classe de métabolite secondaire	Plantes	Pièces utilisée	Changement de concentration	Références
Phénols totaux et flavonoïdes	<i>Hypericum perforatum</i> L.	Feuille	Augmentation	Pellegrini et al, 2018.
Phénols (acide gallique, acide caféique, acide rosmarinique)	<i>Salvia officinalis</i> L	Feuille	Augmentation	Pellegrini et al ; 2015.
Capsaïcine et Dihydrocapsaïcine	<i>Capsicum baccatum</i> L. var. <i>Pendulum</i>	fruit	Diminution	Bortolin et al, 2016.

Van et Daniels,(2002) dites que Les changements de concentration d'O₃ peuvent modifier la production de produits chimiques secondaires dans les plantes. Le stress physiologique des plantes causé par l'augmentation des niveaux d'O₃ peut stimuler l'induction de voies métaboliques

Pellegrini et *al.*(2018) a montré une augmentation des composés phénoliques totaux et des flavonoïdes (quercétine), une activité de la peroxydase activée par l'ozone (110 ppb, 5 heures) chez *Hypericum perforatum* L. confirmant que l'ozone est un initiateur de métabolites

secondaires biologiquement actifs .Après 24 heures d'exposition (110 ppb), l'augmentation de la quercétine a été remplacée par une augmentation du kaempférol,

Un autre flavonol, tandis que l'isoquercitrine et la quercétine sont restées inchangées. Ceci suggère que le traitement à l'ozone peut être envisagé pour augmenter la concentration d'antioxydants phytochimiques en augmentant les propriétés bénéfiques des plantes médicinales. De la même manière

En revanche, Bortolin *etal.*(2016) ont étudié *Capsicumbaccatum* L.var., des plantes suspendues pour vérifier les effets de l'exposition chronique à l'ozone et a montré une diminution de la capsaïcine (50 %) et de la dihydrocapsaïcine dans le péricarpe exposé à l'ozone .De plus, la teneur en capsaïcine dans les graines de plantes a été réduite, alors qu'aucun changement de dihydrocapsaïcine n'a été observé par rapport aux plantes témoins. De plus, tout le contenu caroténoïdes et en composés phénoliques dans la paroi du fruit ont augmenté respectivement de 52,8 et 17 %.

V-1-6- changements phénologiques

Les cycles de vie des plantes correspondent aux signaux saisonniers ; le changement climatique mondial affecte les espèces et les écosystèmes. Les espèces des plantes médicinales rares sont fortement menacées par ces changements phénologiques. Les événements phénologiques importants pour les plantes médicinales sont adaptés au changement climatique et peuvent être considérés comme le débourrement et les débourrement des feuilles, la floraison et la nouaison, la chute des feuilles en automne ou en saison sèche , et les processus connexes de durcissement et de rupture hivernaux à mesure que le réchauffement climatique progresse , cela affectera l'arrivée du printemps et la durée de la saison de croissance (Bidart et Imeh,2008).

Conclusion

Conclusion

Les plantes médicinales sont de riches sources de constituants chimiquement actifs qui sont utilisés comme matières premières dans les nutraceutiques, les parfums, les colorants, les cosmétiques et les produits pharmaceutiques. Les constituants communément appelés métabolites secondaires (MS) sont utilisés pour l'adaptation de la plante lors de conditions de stress telles que la température, le dioxyde de carbone, l'ozone, la lumière et le sol. Ces stress abiotiques modifient non seulement la structure et l'anatomie des plantes, mais entraînent également une fluctuation des quantités de leurs constituants chimiques. Ainsi, la connaissance des stress abiotiques et des (MS) permet de protéger les sources végétales qui sont sous pression du fait d'une exploitation excessive

Les métabolites secondaires (MS) sont utiles pour évaluer la qualité des ingrédients thérapeutiques et de nos jours, ils sont utilisés comme d'importants médicaments d'origine naturelle tels que les immunosuppresseurs, les antibiotiques, les antidiabétiques et les anticancéreux. Les plantes ont la capacité de synthétiser une variété de métabolites secondaires pour faire face aux effets négatifs du stress. Ici, nous nous concentrons sur la façon dont les variables environnementales individuelles influencent l'accumulation de métabolites secondaires des plantes.

Au total, 20 articles ont été jugés pertinents pour le sujet de la revue au cours de notre revue systématique. L'examen a montré que l'influence de différentes variables environnementales sur la production et l'accumulation de SM est complexe, ce qui suggère que la relation n'est pas seulement spécifique à l'espèce, mais également liée à des augmentations et des déclin de SM jusqu'à 50 %. Par conséquent, cette revue améliore notre compréhension de la capacité des SM des plantes à s'adapter aux principaux facteurs environnementaux. Cela peut aider à l'optimisation efficace et à long terme des techniques de culture dans des conditions environnementales ambiantes afin de maximiser la qualité et la quantité de MS dans les plantes. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires au niveau moléculaire pour comprendre l'effet synergique de multiples facteurs environnementaux en utilisant de nouvelles techniques telles que la métabolomique, la protéomique et la transcriptomique pour l'amélioration de la croissance et de la productivité des plantes.

Liste des Références

Références**Liste des Références**

Abd EL-Azim, W.M., Ahmed, S.T.h., 2009. 'Effect of salinity and cutting date on growth and chemical constituents of *Achillea fragrantissima* Forssk, under Ras Sudr conditions' Res.J.Agric.Biol.Sci.5(6),1121–1129.

Adjanooum, J.E., Aké Assi, L., Floret, J. J., Guinko, S., Koumaré, M., Ahyi, A., M.R., Raynal, J., 1979. Médecine traditionnelle et Pharmacopée Contribution aux études ethnobotaniques et florestiques au Mali. ACCT, Paris. 291 P.

Akroum, S., 2011. Etude Analytique et Biologique des Flavonoïdes Naturels. Thèse de Doctorat en sciences. Université Mentouri de Constantine. Algérie. 113 p.

Akula, R., Ravishankar, G.A., 2011. 'Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants' Plant Signal. Behav. 6(11), 1720–1731.

Ali, S. A. M. Zain, C. R. C. M. Latip, J., 2019. 'Influence of elevated CO₂ on the growth and phenolic constituents production in *Hibiscus sabdariffa* var. UKMR-2', *J. Teknol.* 81, 109–118.

Anonyme, 1999. L'ABC des plantes : Guide pratique de la phytothérapie. Marseille : Romart-édition.

Arakawa O, Hori Y, Ogata R., 1985. 'Relative effectiveness and interaction of ultraviolet-B, red and blue light in anthocyanin synthesis of apple fruit. *Physiol Plant.* p 64:323-7.

Ashrafia, M., Azimi-Moqadama, M.R., Moradib, P., Mohseni Farda, E., Shekaria, F., Kompany-Zareh, M., 2018.

'Effect of drought stress on metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive thyme. *Plant Physiol. Biochem.* 132, 391–399.

Azhar, N., Hussain, B., Ashraf, Y.M., Abbasim, K.Y., 2011. 'Water stress mediated changes in growth, physiology and secondary metabolites of desert jowar (*Trachyspermum ammi*). *Pak. J. Bot.* 43(9), 15–19.

Bahourunt., Gressier B. Trotin F. Brunet C. Dine, T. Luyckx M. Vasseur J. Cazin M. Cazin J. C. et Pinkas M., 1996. 'Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations'. *Journal of Arzneimittel-Forschung.* 46 : 1086-1089.

Banerjee, A. Roychoudhury, A., 2017. in *Med. Plants Environ. Challenges*, Springer International Publishing, pp. 177–188.

Références

- Benayache, F., 2005. Recherche et Détermination Structurale des Métabolites Secondaires d'espèces du Genre Genista (Fabaceae) : *G. saharae*, *G. ferox*. Thèse de Doctorat en chimie organiques. Université MentouriConstantine. Algérie. 199 p.
- Benhammou, N., 2011. Activité antioxydante des extraits des composés phénoliques de dix plantes médicinales de l'Ouest et du Sud-Ouest Algérien. Thèse de Doctorat en biologie. Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen. Algérie. 113 p.
- Bidart-Bouzat, M.G, Imeh-Nathaniel, A. Global change effects on plant chemical defences against insect herbivores. *J. Integr. Plant.Biol*, 2008;50(11):1339-1354.
- Bortolin, R. C. Caregnato, F. F. Divan Junior, A. M. Zanotto-Filho, A. Moresco, K. S. deOliveira Rios, A. de Oliveira Salvi, A. Ortmann, C. F. de Carvalho, P. Reginatto, F. H. Gelain, D. P. Fonseca Moreira, J. C., 2016. 'Chronic ozone exposure alters the secondary metabolite profile, antioxidant potential, anti-inflammatory property, and quality of red pepper fruit from *Capsicum baccatum*', *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 129, 16–24.
- Bourtsoukidis, E., Kawaletz, H., Radacki, D., Schuetz, S., Hakola, H., Hellen, H., et coll., 2014. 'Impact des conditions d'inondation et de sécheresse sur l'émission de composés organiques volatils *Quercus robur* et *Prunus sérotine*. Structure des arbres. *Fonct.* 28, 193–204. doi : 10.1007/s00468-013-0942-5.
- Bruneton, J., 1999. Pharmacognosie: Phytochimie, Plantes médicinales. 3ème édition, Lavoisier Techniques & Documentation, Paris. 1120p.
- Bruneton, J., 2009. Pharmacognosie: Phytochimie, Plantes médicinales. 4ème édition, Lavoisier Techniques & Documentation, Paris. 1234p.
- Cheng, L. Han, M. min Yang, L. Li, Y. Sun, Z. Zhang, T., 2018. 'Changes in the physiological characteristics and baicalin biosynthesis metabolism of *Scutellaria baicalensis* Georgi under drought stress', *Ind. Crops Prod.* 122, 473–482.
- Chen, CL, Luo, XH, Jin, GR, Cheng, Z., Pan, XY, Zhu, GL, et al. 2017. Effet d'ombrage sur la survie, la croissance et le contenu des métabolites secondaires dans les micropropagation *Anoectochilus* plantules. *Braz. J.Bot.* 40, 599–607. doi : 10.1007/s40415-017-0365-4.
- Collin, S. and Creast, G., 2011. Polyphynol Et Procédé. 1ère Ed, Lavoisier: Paris.
- Dar, T. A. Uddin, M. Khan, M.M.A. Ali, A. Varshney, L., 2016. 'Modulation of alkaloid content, growth and productivity of *Trigonella foenum-graecum* L. using irradiated sodium alginate in combination with soil applied phosphorus', *J. Appl. Res. Med. Arom.* 3, 200–210.
- DeAbreu, I.N., Mazzafera, P., 2005. 'Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy'. *Plant Physiol. Biochem.* 43(3), 241–248.

Références

- Dirk Selmar, Maik Kleinwächter, Sara Abouzeid, Mahdi Yahyazadeh and Melanie Nowak., 2017. 'The impact of drought stress on natural product concentration. The scheme displays the three different causes, why the natural product concentration is enhanced in plants suffering drought stress' p 171.
- Edenharder, R., Grunhage, D., 2003. Free radical scavenging abilities of flavonoids as mechanism of protection against mutagenicity induced by tertbutyl hydroperoxide or cumene hydroperoxide in *Salmonella typhimurium* TA102. *Mutat. Res. Vol. (540):* 1–18.
- Eichholz, I., Rohn, S., Gamm, A., Beesk, N., Herppich, W. B., Kroh, L. W., Ulrichs, C., Huyskens-Keil, S., 2012. 'UV-B-mediated flavonoid synthesis in white asparagus (*Asparagus officinalis* L.)'. *Food Res. Int.* 48(1), 196–201.
- Estell, R. E., Fredrickson, E. L., James, D. K., 2016. Effect of light intensity and wavelength on concentration of plant secondary metabolites in the leaves of *Flourensia cernua*. *Biochem. Syst. Ecol.* 65, 108–114.
- Falcinelli, B. Sileoni, V. Marconi, O. Perretti, G. Quinet, M. Lutts, S. Benincasa, P., 2017. 'Germination under moderate salinity increases phenolic content and antioxidant activity in rapeseed (*Brassica napus* var *oleifera* Del.) Sprouts', *Molecules.* 22, 1377
- Felzer, B. S. Cronin, T. Reilly, J. M. Melillo, J. M. Wang, X., 2007. 'Impacts of ozone on trees and crops', *Comptes Rendus – Geosci.* 339, 784–798.
- Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., Scheffer, J. J. C., 2008. Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. *Flavour Fragrance J.* 23(4), 213–226.
- Flowers, T. J. Yeo, A. R., 1995. 'Breeding for salinity resistance in crop plants'. Where next? *Aust J Plant Physiol* 22:875–884.
- Galieni, A. Di Mattia, C. De Gregorio, M. Speca, S. Mastrocola, D. Pisante, M. Stagnari, F., 2015. 'Effects of nutrient deficiency and abiotic environmental stresses on yield, phenolic compounds and antiradical activity in lettuce (*Lactuca sativa* L.)', *Sci. Hortic.* 187, 93–101.
- Grulke, N. E. Heath, R. L. 2020. 'Ozone effects on plants in natural ecosystems', *Plant Biol.* 22, 12–37.
- Guignard, J. L., 1996. *Biochimie végétale*. Ed. Masson, Paris. France. 274 p.
- Guignard J. L., 2000. *Biochimie végétal.* 2 ème .Ed. Dunod. 188 p.

Références

Haghighi, Z., Modarresi, M., Mollayi, S., 2012. Enhancement of compatible solute and secondary metabolites production in *Plantago ovata* Forsk. by salinity stress. *J. Med. Plants Res.* 6(18), 3495–3500.

Harrar, A.E.N., 2012. Activités antioxydante et antimicrobienne d'extraits de *Rhamnus alaternus* L. Thèse de Magister Biochimie et physiologie expérimentale, Université Ferhat Abbas, Sétif. Algérie. 73 p.

Haslam E., 1994. Natural polyphenols (vegetable tannins): Gallic Acid metabolism. *Nat. Prod.* Vol. (11): 41-66.

Haslam, E., 1998. *Practical Polyphenolics: From Structure to Molecular Recognition and Physiological Action*. Ed. Cambridge University Press, Cambridge. UK. 422p.

Heller, W., Forkmann, G., 1993. The flavonoids. Advances in research since 1986. In Harborne JB. *Secondary Plant Products*. Encyclopedia of plant physiology. Ed. Chapman et Hall, London. UK. Pp 399-425.

Hellal, Z., 2011. Contribution à l'étude des propriétés antibactériennes et antioxydantes de certaines huiles essentielles extraites des citrus. application sur la sardine (*Sardina pilchardus*). mémoire de Magister en biologie, université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou. Algérie. 78p.

Hennebellen T., Sahpaz S., Bailleul F., 2004. 'Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif'. *Phytothérapie*. Vol (1): 3-6.

Jaffe, L. S., 1967. 'The Biological Effects of Ozone on Man and Animals', *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 28, 267–277.

Janska A, Marsik P, Zelenkova S, Ovesna J., 2010. 'Cold stress and acclimation—what is important for metabolic adjustment', *Plant Biol*, 12:395-405; PMID:20522175.

Kamra, D.N., Agarwal, N., Chaudhary, L.C., 2006. Inhibition of ruminal methanogenesis by tropical plants containing secondary compounds. *International Congress Series*. Vol. (1293) : 156–163.

Kazan, K. Manners, J. M., 2011. 'The interplay between light and jasmonate signalling during defence and development', *J. Exp. Bot.* 62, 4087–4100.

Khanbabae, K and Ree, T.R. 2001. 'Tannins: Classification and Definition'. *Journal of Royal Society of Chemistry*. 18: 641-649.

Khenaka, K., 2011. Effet de diverses plantes médicinales et de leurs huiles essentielles sur la méthanogénèse ruminale chez l'ovin. Thèse de Magister En Microbiologie Appliquée. Université Mentouri- Constantine. Algérie. 81p.

Références

- Kong, D. X. Li, Y. Q. Wang, M. L. Bai, M. Zou, R. Tang, H. Wu, H., 2016. 'Effects of light intensity on leaf photosynthetic characteristics, chloroplast structure, and alkaloid content of *Mahonia bodinieri* (Gagnep.) Laferr.', *Acta Physiol. Plant.* 38, 1–15.
- Kuhnau J., 1976. The flavonoids. A class of semi-essential food components: their role in human nutrition, *World Rev. Nutr. Diet.* 24 : 117-191.
- Lavola, A., Julkunen-Tiitto, R., de la Rosa, T. M., Lehto, T., Aphalo, P. J., 2000. Allocation of carbon to growth and secondary metabolites in birch seedlings under UV-B radiation and CO₂ exposure. *Physiol. Plant.* 109(3), 260–267.
- Li, Y. Kong, D. Liang, H. L. Wu, H., 2018. 'Alkaloid content and essential oil composition of *Mahonia breviflora* cultivated under different light environments', *J. Appl. Bot. Food Qual.* 91, 171–179.
- Li, YQ, Kong, DX, Liang, HL et Wu, H., 2018. 'Teneur en alcaloïdes et composition d'huiles essentielles de *Mahonia breviflora* cultivées sous différents environnements lumineux. *Appl. Bot. Qualité Alimentaire* 91, 171–179. doi : 10.5073/jabfq.2018.091.023.
- Li, YQ, Kong, DX, Fu, Y., Sussman, MR et Wu, H., 2020. 'L'effet des facteurs développementaux et environnementaux sur les métabolites secondaires des plantes médicinales. *Physique Végétale. Biochimie.* 148, 80–89. doi : 10.1016/j.plaphy.2020.01.006
- Li, Q. Lei, S. Du, K. Li, L. Pang, X. Wang, Z. Wei, M. Fu, S. Hu, L. Xu, L., 2016. 'RNA-seq based transcriptomic analysis uncovers α-linolenic acid and jasmonic acid biosynthesis pathways respond to cold acclimation in *Camellia japonica*', *Sci. Rep.* 6.
- Litim A., 2012. Biodiversité et Ethnobotanique dans le parc national Belezma (Batna). Mémoire de master : option : Gestion des systèmes Ecologiques protégés. Sétif. université Ferhat Abbas, 21p.
- Mahajan S, Tuteja N. 2005 Stress liés au froid, à la salinité et à la sécheresse : un aperçu. *Arch Biochem Biophys* ; 444:139-58 ; PMID : 16309626 ; DOI : 10.1016/j.abb.2005.10.018. (moukhatet).
- Makkar, H.P.S., 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Ruminant Research.* Vol. (49) : 241-256.
- Marc T., Gerard, W., Denis, L., 2001. 'Classification des anti-inflammatoires in *Guide pharmacologie*'. Etudiants et professionnels paramédicaux. 4^{eme} Edition. 426 P.
- Mayer A.M., 2004. 'Resistance to herbivores and fungal pathogens: Variations on a common theme? A review comparing the effect of secondary metabolites, induced and constitutive, on herbivores and fungal pathogens'. *Israel Journal Of Plant Sciences.* Vol. (52): 279-292.

Références

- Murry, R. D. H., Mendez, J., Brown, S. A., 1982. the natural coumarins Occurrence Chemistry and Biochemistry. Ed. Chichester John Wiley and Sons, UK. New York. England. 702 p.
- Naghiloo, S., Movafeghi, A., Delazar, A., Nazemiyeh, H., Asnaashari, S., Dadpour, M. R., 2012. Ontogenic variation of volatiles and antioxidant activity in leaves of *Astragalus compactus* Lam. (Fabaceae). *Excli. J.* 11, 436–443.
- Nascimento, L. B. D. S. Leal-Costa, M. V. Menezes, E. A. Lopes, V. R. Muzitano, M. F. Costa, S. S. Tavares, E. S., 2015. 'Ultraviolet B radiation effects on phenolic profile and flavonoid content of *Kalanchoe pinnata*', *J. Photochem. Photobiol. B.* 148, 73–81.
- Neffati, M., Marzouk, B., 2008. Changes in essential oil and fatty acid composition in coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under saline conditions. *Ind. Crops Prod.* 28, 137–142.
- Newman et al, 2000. La grande Encyclopédie du Maroc : Flore et végétation 10^{ème} Journée Internationales HE, Digne- Les Bains 5-6-7 Sept. PP 28.
- Omar A. R, Mohamed El haykle M, 1993. 'Plantes médicinales et aromatiques deuxième édition, installations connaissances D'Alexandrie'. p: 13-134.
- Ozenda P., 1982. Flore du Sahara septentrional. *Ed CNRS*, Paris, 486 p.
- Ozenda P., 1983. Flore du Sahara. Paris, 617p
- Paudel, J. R. Amirizian, A. Krosse, S. Giddings, J. Ismail, S. A. A. Xia, J. Gloer, J. B. van Dam, N. M. Bede, J. C., 2016. 'Effect of atmospheric carbon dioxide levels and nitrate fertilization on glucosinolate biosynthesis in mechanically damaged *Arabidopsis* plants', *BMC Plant Biol.* 16.
- Pellegrini, A. Francini, G. Lorenzini, C. Nali, 2015 'Ecophysiological and antioxidant traits of *Salvia officinalis* under ozone stress', *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 22, 13083– 13093.
- Pellegrini, E. Campanella, A. Cotrozzi, L. Tonelli, M. Nali, C. Lorenzini, G., 2018. 'Ozone primes changes in phytochemical parameters in the medicinal herb *Hypericum perforatum* (St. John's wort)', *Ind. Crops Prod.* 126, 119–128.
- Peñuelas, J., et Staudt, M., 2010. 'BVOC et changement global. Tendances Plant Sci. 15, 133–144. doi : 10.1016/j.tplants.2009.12.005.
- Privas, E., 2013. Matériaux ligno-cellulosiques «Élaboration et Caractérisation laboration ». Thèse de Doctorat en Science et génie des matériaux, L'École Nationale Supérieure des Mines, Paris. France. 166 p.

Références

- Qiang, Q. Gao, Y. Yu, B. Wang, M. Ni, W. Li, S. Zhang, T. Li, W. Lin, L., 2020. 'Elevated CO₂ enhances growth and differentially affects saponin content in *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*', *Ind. Crops Prod.* 147, 112124.
- Rahimi, S. Hasanloo, T., 2016. 'The effect of temperature and pH on biomass and bioactive compounds production in *Silybum marianum* hairy root cultures', *Res. J. Pharmacogn.* 3, 53–59.
- Ramakrishna, A. Ravishankar, G. A., 2011. 'Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants', *Plant Signaling Behav.* 6 (11), 1720–1731.
- Roux, D., Catier, O., 2007. Botanique, pharmacognosie, phytothérapie. 3^{ème} édition. Ed. Wolters Kluwer, Dalian. China. 141 p.
- Shibata, M., Amano, M., Kawata, J., Uda, M., 1988. 'Breeding process and characteristics of 'Summer Queen', a spray-type chrysanthemum. Bull. Natl. Res. Inst. Veg. Ornamental Plants Tea Ser. A2, 245–255
- Shabir H. Wani, Nisha Kapoor and Ritu Mahajan, 2017. Metabolic Responses of Medicinal Plants to Global Warming, Temperature and Heat Stress. Medicinal Plants and Environmental Challenges. 10.1007/978-3-319-68717-9_4.
- Schauenberg, P., Paris, F., 2005. Guide des plantes médicinales. Analyse, description et utilisation de 400 plantes. 2^{ème} édition. Ed. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel. Suisse. 396 p.
- Selmar, D., Kleinwächter, M., 2013. 'Influencer le produit qualité en appliquant délibérément un stress hydrique lors de la culture des plantes médicinales'. *Ind Crops Prod* 42:558–566
- Singh, K.B., Foley, R.C., Onate-Sanchez, I., 2002. Transcription factors in plant defense and stress responses. *Curr. Opin. Plant Biol.* 5(5), 430–436.
- Takshak, S., Agrawal, S.B., 2014. 'Secondary metabolites and phenylpropanoid pathway enzymes as influenced under supplemental ultraviolet-B radiation in *Withania som-nifera* Dunal, an indigenous medicinal plant. *J. Photochem. Photobiol.*, B140, 332–343.
- Takshak, S. Agrawal, S. B., 2015. 'Defence strategies adopted by the medicinal plant *Coleus forskohlii* against supplemental ultraviolet-B radiation: Augmentation of secondary metabolites and antioxidants', *Plant Physiol. Biochem.* 97, 124–138.
- Tissartn, B., 2002. 'Influence of Ultra-High carbon dioxide level on growth and morphogenesis of Lamiaceae species in soil. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal plants*, 9: 81-89.
- Tonelli, M. Pellegrini, E. D'Angiolillo, F. Petersen, M. Nali, C. Pistelli, L. Lorenzini, G., 2015. 'Ozone-elicited secondary metabolites in shoot cultures of *Melissa officinalis* L.', *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 120, 617–629.

Références

- Ullrich, S. F. Rothauer, A. Hagels, H. Kayser, O., 2017. 'Influence of Light, Temperature, and Macronutrients on Growth and Scopolamine Biosynthesis in *Duboisia* species', *Planta Med.*, 83, 937–945.
- Valifard, M. Mohsenzadeh, S. Kholdebarin, B., 2017. 'Salinity effects on phenolic content and antioxidant activity of *Salvia macrosiphon*', *Iran. J. Sci. Technol. Trans. A Sci.* 41, 295–300.
- Van der Leun, J.C. et Daniels, F., 2002. Effets biologiques de Diminution de l'ozone stratosphérique : un examen critique des évaluations. *Revue canadienne de recherche forestière*, 32: 217-225.
- Verdrager, J., 1978. 'Ces médicaments qui nous viennent des plantes : ou les plantes médicinales dans les traitements modernes'. Paris Maloine S.A éditeur ; pp : 12-15.
- Verma, N. Shukla, S., 2015. 'Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites', *J. Appl. Res. Med. Arom. Plants* .2, 105–113.
- Verpoorte R. Alfermann A.W. 2000. 'Metabolic Engineering of Plant Secondary Metabolism'. Ed. Kluwer Academic, Dordrecht. Netherlands. 286 p.
- Vilain, M., 1989. 'La production végétale. La maîtrise technique de la production'. Volume 2. Tec & Doc.
- Wang, L., Wei, K., Jiang, Y., Cheng, H., Zhou, J., He, W., et al. (2011). Saisonnière effets du climat sur les flavanols et les alcaloïdes puriques du thé (*Camellia sinensis* L.). *EUR. Rés alimentaire. Technol.* 233, 1049-1055. doi : 10.1007/s00217-011-1588-4.
- World Meteorological Organization and Global Atmosphere Watch, *WMO Greenhouse Gas Bulletin (GHG Bulletin)– No. 15*, WMO, Geneva, 2019.
- Yadav, S.K., 2010. Cold stress tolerance mechanisms in plants. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30(3), 515–527.
- Yin, L., Zhao, C., Huang, Y., Yang, R.Y., Zeng, Q.P., 2008. Abiotic stress-induced expression of artemisinin biosynthesis genes in *Artemisia annua* L. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.* 14 (1), 1-5.
- Yuan, X., Calatayud, V., Gao, F., Fares, S., Paoletti, E., Tian, Y., 2016. 'Interaction de la sécheresse et de l'exposition à l'ozone sur les émissions d'isoprène du peuplier cultivé de manière extensive. *Cellule végétale Environ.* 39, 2276-2287. doi : 10.1111/pce.12798.
- Yuan, Y. Tang, X. Jia, Z. Li, C. Ma, J. Zhang, J., 2020. 'The effects of ecological factors on the main medicinal components of *Dendrobium officinale* under different cultivation modes', *Forestry*, 11, 94.

Références

Zhang, C. Yang, D. Liang, Z. Liu, J. Yan, K. Zhu, Y. Yang, S., 2019. 'Climatic factors control the geospatial distribution of active ingredients in *Salvia miltiorrhiza* Bunge in China', *Sci. Rep.* 9, 1–11.

Zhang, L. X., Guo, Q. S., Chang, Q. S., Zhu, Z. B., Liu, L., Chen, Y. H., 2015. 'Chloroplast ultrastructure, photosynthesis and accumulation of secondary metabolites in *Glechoma longitubai* in response to irradiance'. *Photosynthetica* 53(1), 144–153.

Zhang, J. J. Wei, Y. Fang, Z., 2019. 'Ozone pollution: A major health hazard worldwide', *Front. Immunol.* 10, 2518.

Zhou, R., Su, W. H., Zhang, G. F., Zhang, Y. N., Guo, X. R., 2016. Relationship between flavonoids and photoprotection in shade-developed *Erigeron breviscapus* transferred to sunlight. *Photosynthetica* 54(2), 201–209.

Ziegler, J., Facchini, P. J., 2008. Alkaloid Biosynthesis: Metabolism and Trafficking. *Annu Rev Plant Biol.* Vol (59): 735 – 769

Annexe

Annexe

N°	Titre
1	Effect of salinity and cutting date on growth and chemical constituents of <i>Achillea fragratissima</i> Forssk, under Ras Sudr conditions.
2	Changes in the physiological characteristics and baicalin biosynthesis metabolism of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi under drought stress.
3	Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of <i>Hypericum brasiliense</i> Choisy
4	Enhancement of compatible solute and secondary metabolites production in <i>Plantago ovata</i> Forsk.
5	RNA-seq based transcriptomic analysis uncovers α -linolenic acid and jasmonic acid biosynthesis pathways respond to cold acclimation in <i>Camellia japonica</i> .
6	Elevated CO ₂ enhances growth and differentially affects saponin content in <i>Paris polyphylla</i> var. <i>yunnanensis</i> .
7	Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants.
8	Defence strategies adopted by the medicinal plant <i>Coleus forskohlii</i> against supplemental ultraviolet-B radiation: Augmentation of secondary metabolites and antioxidants.
9	Ozone-elicited secondary metabolites in shoot cultures of <i>Melissa officinalis</i> L.
10	Influence of Light, Temperature, and Macronutrients on Growth and Scopolamine Biosynthesis in <i>Duboisia</i> species.
11	Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites.
12	Abiotic stress-induced expression of artemisinin biosynthesis genes in <i>Artemisia annua</i> L. Chin.
13	The effects of ecological factors on the main medicinal components of <i>Dendrobium officinale</i> under different cultivation modes.
14	Relationship between flavonoids and photoprotection in shade-developed <i>Erigeron breviscapus</i> transferred to sunlight.
15	Climatic factors control the geospatial distribution of active ingredients in <i>Salvia miltiorrhiza</i> Bunge in China.
16	The Influence of Environmental Conditions on Secondary Metabolites in Medicinal Plants: A Literature Review.
17	The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants.
18	Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants.

19	Changing scenario of medicinal plants diversity in relation to climate change: a review.
20	Alkaloid content and essential oil composition of <i>Mahonia brevifolia</i> cultivated under different light environments.

المخلص:

تستند هذه الدراسة التركيبية حول 20 مقالة منشورة و تركز على تأثير العوامل المناخية على المستقبلات الثانوية للنباتات الطبية ، المصدر الاخير لمختلف المركبات الكيميائية النباتية ، حيث تتعرض هذه الاخيرة الى مجموعة من الضغوطات البيئية اثناء نمو النبات و تطوره، و العديد من العوامل البيئية بما في ذلك درجة الحرارة ، ثاني اكسيد الكربون ، الضوء و ملوحة و خصوبة التربة ، لها تأثير هام على الاستجابة الفسيولوجية و الكيميائية الحيوية للنباتات الطبية و كذلك على عمليات التمثيل الغذائي الثانوي ، في المقابل ابرزنا بشكل منهجي تقارير المؤلفات حول كيفية تأثير العوامل البيئية على الايض الثانوي للنباتات الطبية .

الكلمات المفتاحية : عوامل بيئية ، نباتات طبية ، المستقبلات الثانوية ، التنوع ، الفينولوجيا ، مكونات النبات

Résumé :

Cette étude synthétique se base sur 20 articles publiés et porte sur les effets des facteurs climatiques sur les métabolites secondaires des plantes médicinales. Cette dernière source de différents composés phytochimiques, sont aujourd'hui soumises à une variété de stress environnementaux au cours de leur croissance et de leur développement, différents facteurs écologiquement limitants, dont la température, le dioxyde de carbone, la lumière, la salinité de sol et la fertilité de sol, ont un impact significatif sur les réponses physiologiques et biochimiques des plantes médicinales ainsi que sur les processus de métabolisme secondaire. En revanche nous avons systématiquement souligné les rapports de la littérature comment les facteurs environnementaux affectent sur les métabolites secondaires des plantes médicinales.

Mot clés : facteur environnementaux, plante médicinales, métabolite secondaire.

Abstract:

This synthetic study is based on 20 published articles and focuses on the effects of climatic factors on the secondary metabolites of medicinal plants. The latter source of different phytochemical compounds, are today subjected to a variety of environmental stresses during their growth and development, various ecologically limiting factors, including temperature, carbon dioxide, light, soil salinity and soil fertility, have a significant impact on the physiological and biochemical responses of medicinal plants as well as on secondary metabolic processes. On the other hand, we have systematically highlighted the reports in the literature how environmental factors affect the secondary metabolites of medicinal plants.

Keywords: environmental factors, medicinal plants, secondary metabolite.