République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Larbi Tebessi –Tebessa-
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Appliquée
Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
En : Sciences biologiques
Option : Toxicologie

Par :

M^elle^. BOUTERFIF Nayfa & M^elle^. TEBIB Sarra

Intitulée :

Composition phytochimique et activités biologiques des espèces de *Cichorium*

Devant le jury :

Dr. Ammar BENLAKHAL	**MCB**	Université Larbi Tebessi-Tebessa	Président
Dr. Nadia DJERMANE	**MCA**	Université Larbi Tebessi-Tebessa	Promotrice
Dr. Salim GASMI	**MCA**	Université Larbi Tebessi-Tebessa	Examinateur

Date de soutenance : 11/ 06/2025

Remerciement

Avant tout, nous rendons grâce à Dieu, Le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail, malgré les difficultés rencontrées, notamment celles liées à la conciliation entre les études et les obligations professionnelles.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos chers parents, pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements constants, leur amour et leur confiance en nos capacités tout au long de ce parcours.

Nous tenons également à remercier sincèrement toutes les personnes qui nous ont soutenues, de près ou de loin, durant nos années d'études : nos enseignants, nos collègues, nos amis et tous ceux qui ont cru en nous et nous ont encouragées à persévérer jusqu'au bout.

Grâce à vous tous, et avec l'aide de Dieu, ce travail a pu voir le jour.

Dédicace

Dédicace À la science, qui m'a appris à questionner, à douter, puis à comprendre.

à l'enseignement, qui m'a offert le privilège de transmettre, d'inspirer et de grandir aux côtés de mes élèves.

À mes parents, piliers de mon existence, dont l'amour et le soutien indéfectibles ont été la lumière guidant chacun de mes pas.

À mon bras droit qui m'a toujours encouragé , compagnons de route dans cette aventure académique, pour sa présence, son encouragement et les moments partagés.

À moi-meme, pour la persevérance, la determination et la passion qui m'ont porté jusqu'ici.

À mes enseignants et mentors, pour leur dévouement et leur passion, qui ont éveillé en moi le désir constant d'apprendre et d'exceller.

À mon chére encadrante, qui m'a guidé, dirigé et conseillé pendant toutes les étapes de cette recherche, ***Dr. Djermane Nadia.***

Ce mémoire est le reflet d'un parcours où la rigueur scientifique se mêle à la passion pédagogique, une étape vers de nouveaux horizons en toxicologie

BOUTERFIF NAYFA

Dédicace

À ma chère maman et à mon cher papa,

Vous êtes la lumière de ma vie, le soutien inébranlable dans chaque étape.

Merci pour votre amour, vos sacrifices et vos prières constantes.

Ce travail vous est dédié avec toute ma gratitude et mon affection.

À ma famille, pour votre présence, votre encouragement et votre bienveillance.

Merci d'avoir toujours cru en moi.

À mes chères collègues et amies : Soulef, Hadjer, Leïla et Djahida,et faouzia

Merci pour votre soutien, votre complicité et vos mots rassurants tout au long de ce parcours. Et mon binome chére Nayfa

À Madame Dr. Djermane Nadia,

Merci infiniment pour votre encadrement précieux, votre patience et votre confiance.

Votre accompagnement a été essentiel à la réalisation de ce mémoire.

Et à toutes les personnes qui m'ont connue, soutenue ou aidée, de près ou de loin,

.Recevez ici l'expression de ma reconnaissance sincère

TABIB SARA

الملخص

ينتمي جنس *Cichorium* إلى عائلة *Asteraceae*، ويضم عدة أنواع نباتية معروفة باستخدامها التقليدي في الطب، ولا سيما *Cichorium intybus* الهندباء البرية) و(*Cichorium endivia* الإنديف). وقد استُخدمت هذه النباتات تاريخيًا لعلاج اضطرابات الجهاز الهضمي والكبدية والالتهابية، كما توسع استخدامها ليشمل الأغراض الغذائية والوظيفية (النيوتوسيوتية). تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التركيب الكيميائي النباتي لأنواع Cichorium بشكل معمق، مع التركيز على تحديد المركبات الثانوية الرئيسية مثل الفلافونويدات، الأحماض الفينولية، اللاكتونات السسكيتربينية، التريتربينات، والديتيربينات.توجد هذه المركبات في أجزاء مختلفة من النبات (الأوراق، الجذور، البذور)، وهي المسؤولة عن مجموعة متنوعة من الأنشطة البيولوجية التي تم إثباتها من خلال العديد من الدراسات داخل المختبر (*in vitro*) وداخل الجسم الحي (*in vivo*).ومن بين التأثيرات البيولوجية الأبرز: النشاط المضاد للأكسدة، والمضاد للالتهاب، والمضاد للميكروبات، والمضاد للتكاثر الخلوي، والمخفض للدهون في الدم، والواقي للكبد.تمنح هذه الخصائص لأنواع *Cichorium* قدرة علاجية ملحوظة، خاصة في مجال السمية الوظيفية .ومع أن هذه النباتات تُعتبر آمنة في الاستخدامات التقليدية، فإن بعض الدراسات تشدد على ضرورة إجراء تقييمات سمية معمقة، خاصة فيما يتعلق بالجرعات العالية، والاستخدام المطول، والتفاعل مع مواد أخرى.يسلط هذا العمل الضوء على أهمية التثمين العلمي لأنواع *Cichorium*، ويشجع على تطوير أبحاث تجريبية تهدف إلى تأكيد فعاليتها، وضمان سلامة استخدامها، واستكشاف تطبيقات جديدة لها في المجالات الدوائية، والغذائية، والسمية.

الكلمات المفتاحية :العائلة المركبة، الهندباء، المركبات النباتية، الأنشطة البيولوجية، السمية الوظيفية.

Résumé

Le genre *Cichorium*, appartenant à la famille des *Asteraceae,* regroupe plusieurs espèces végétales connues pour leur usage traditionnel en médecine, en particulier *Cichorium intybus* (chicorée sauvage) et *Cichorium endivia* (endive). Ces plantes sont historiquement utilisées pour traiter des troubles digestifs, hépatiques et inflammatoires, et leur consommation s'est étendue à des usages alimentaires et nutraceutiques. Cette étude vise à analyser de manière approfondie la composition phytochimique des espèces de *Cichorium,* en mettant l'accent sur l'identification des principaux métabolites secondaires tels que les flavonoïdes, les acides phénoliques, les lactones sesquiterpéniques, les triterpènes et les diterpènes. Ces composés, présents dans différentes parties de la plante (feuilles, racines, graines), sont responsables d'une variété d'activités biologiques démontrées par de nombreuses études *in vitro* et *in vivo*. Parmi les effets biologiques les plus notables figurent les activités antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes, antiprolifératives, hypolipidémiantes et hépatoprotectrices. Ces propriétés confèrent aux espèces de *Cichorium* un potentiel thérapeutique significatif, particulièrement intéressant dans le domaine de la toxicologie fonctionnelle. Cependant, bien que ces plantes soient considérées comme sûres dans les usages traditionnels, certaines études soulignent la nécessité d'une évaluation toxicologique approfondie, notamment en ce qui concerne les doses élevées, l'utilisation prolongée ou l'interaction avec d'autres substances. Ce travail met donc en lumière l'importance d'une valorisation scientifique des espèces de *Cichorium*, tout en encourageant le développement de recherches expérimentales visant à confirmer leur efficacité, à sécuriser leur usage et à explorer de nouvelles applications dans les domaines pharmaceutique, alimentaire et toxicologique.

Mots-clés : *Asteraceae, Cichorium*, composition phytochimique, activités biologiques, toxicologie fonctionnelle.

Abstract

The *Cichorium* genus, part of the *Asteraceae* family, comprises several plant species widely used in traditional medicine, particularly *Cichorium intybus* (wild chicory) and *Cichorium endivia* (endive). These plants have long been used to treat digestive, hepatic, and inflammatory conditions and are now also gaining interest for their nutritional and nutraceutical value. This study aims to provide an in-depth analysis of the phytochemical composition of *Cichorium* species, focusing on the identification of major secondary metabolites such as flavonoids, phenolic acids, sesquiterpene lactones, triterpenes, and diterpenes. These compounds are distributed throughout the plant's organs (leaves, roots, seeds) and are responsible for various biological effects demonstrated in numerous *in vitro* and *in vivo* studies. The most prominent biological activities include antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, antiproliferative, hypolipidemic, and hepatoprotective effects. These properties highlight the pharmacological potential of *Cichorium* species, especially in the field of functional toxicology. However, despite their generally recognized safety in traditional uses, some studies point to the need for detailed toxicological assessments, particularly concerning high doses, long-term use, or potential interactions with other compounds. This work emphasizes the need for scientific valorization of *Cichorium* species and encourages further experimental research to confirm their therapeutic benefits, ensure safety, and explore new applications in the pharmaceutical, food, and toxicological sectors.

K**eywords:** *Asteraceae, Cichorium,* phytochemical composition, biological activities, functional toxicology.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

الملخص

Résumé

Abstract

Sommaire

Liste des abreviations

Listes des figures

Listes des tableaux

Introduction générale 1

CHAPITRE I : Les plantes médicinales et la famille des Astéracées

I.1.Les plantes médicinales 3

I.1.1. Historique 3

I.1.2. Définition des plantes médicinales 4

I.1.3. Origines des plantes médicinales 4

I.1.3.1. Plantes sauvages 4

I.1.3.2. Plantes cultivées 4

I.1.4. La **phytothérapie** 4

I.1.4.1. Définition 4

I.1.4.2.Types de phytothérapie 5

I.1.5.Utilisation des plantes médicinales 5

I.2.La famille des astéracées 7

I.2.1. Description botanique 7

I.2.2. Habitat et Répartition géographique 8

I.2.3. Les Astéracées en Algérie : Diversité, Habitat et Répartition 9

I.2.4. Position systématique 11

I.2.5. Utilisations des plantes de la famille des Astéracées 11

I.2.6. Intérêt thérapeutique 11

I.2.7. Intérêt économique 12

I.2.8. Toxicité des plantes de la famille Astéracées 13

I.3. Conclusion : 15

CHAPITRE II : Analyse botanique des espèces du genre Cichorium

II.1. Historique du genre *Cichorium* **17**
II.2. Présentation du genre *Cichorium* **17**
II.2.1. Description générale 17
II.2.1.1. Cichorium intybus 18
II.2.1.2. Cichorium endivia 18
II.2.1.3. Cichorium pumilum 19
II.2.1.4. Cichorium spinosum 20
II.2.1.5. Cichorium batae 20
II.2.1.6. Cichorium glandulosum 21
II.2.1.7. Cichorium calvum 21
II.2.2. Habitats et réparation géographique 22
II.2.3. Classification systématique et taxonomie 24
II.3. Importance et utilisation du genre *Cichorium* **25**
II.3.1. Usage en industrie 25
II.3.2.Usage en phytotherapie 27
II.4. Toxicité et précautions **29**
II.5. Conclusion : **29**

CHAPITRE III : Analyse chimique des espèces du genre Cichorium

III.1. Introduction **30**
III.2. Métabolites primaires **30**
III.2.1. Définition 30
III.2.2. Métabolites primaires du genre *Cichorium* 31
III.3.Métabolites secondaires **32**
III.3.1.Définition 32
III.3.2.Métabolites secondaires du genre *Cichorium* 33
III.3.2.1. Les composés phénoliques 33
III.3.2.2Les acide phénoliques des espèces du genre *Cichorium* 33
III.3.2.1.1. Les flavonoïdes 35
a) Définition 35
b) Les flavonoïdes du genre Cichorium 36
III.3.2.1.2. Les tanins 39
a) Définition 39
b) Les tanins du genre *Cichorium* 39

III.3.2.1.3. Les saponines 41
a)Définition 41
b) Les saponines du genre *Cichorium* 41
III.3.2.1.3. Les lignanes **42**
a) Définition 42
b) Les lignanes du genre *Cichorium* 43
III.3.2.2. Les composés terpéniques 43
III.3.2.2.1.Les monoterpenes 43
a) Définition 43
b) Les monoterpènes du genre *Cichorium* 44
III.3.2.2.2.Les sesquiterpene 45
a)Définition 45
b) Les sesquiterpenes du genre *Cichorium* 46
III.3.2.2.3.Les ditérpenes 48
a) Définition 48
b) Les diterpènes du genre *Cichorium* 48
III.3.2.2.4.Les tetraterpénes 49
a)Définition des tétraterpènes 49
b) Tétraterpènes des espèces de Cichorium 50
III.3.2.2.5. Les huiles essentielles 51
a) Définition 51
III.3.2.3.Les alcaloides 58
a)Définition 58
III.4. Analyse comparative des constituants phytochimiques des espèces du genre *Cichorium* **60**
III.5. Conclusion **62**
CHAPITRE IV : Analyse pharmacologique des espèces du genre Cichorium
IV-1-Introduction **64**
IV-2-Activités biologiques rapportées chez le genre de *Cichorium* **65**
IV-2-1- Activité antimicrobienne 65
a) Définition 65
b) Méthode d'évaluation de l'activité antimicrobienne 65
c) Activité antimicrobienne du genre *Cichorium* 65
IV-2-2- Activité antioxydant 69

a)Définition 69
b) Méthode d'évaluation de l'activité antioxydante:..... 69
c)Activité antioxydante du ganre *Cichorium* 70
IV-2-4-Activité anti-inflammatoire..... 73
a)Définition 73
b) Méthode d'évaluation de l'activité antiinflammatoire 73
c)Activité antiinflammatoire du genre *Cichorium* 74
IV-2-5-Activité antidermatophytique..... 75
a)Definition 75
b) Méthode d'évaluation de l'activité antidermatophique..... 75
IV-2-6-Activité antidermatophytique du genre *Cichoriulm*..... 75
IV-2-7-Activité cytotoxique 77
a)Définition 77
b) Méthode d'évaluation de l'activité cytotoxique 77
c)Activité cytotoxique du genre *Cichorium*..... 78
IV-2-8-Activité anti tumorale..... 80
a)Définition 80
b) Méthode d'évaluation de l'activité antimorale..... 81
c)Activité anti tumorale du genre *Cichorium* 81
IV-2-7-Activité hépatoprotectrice..... 83
IV-2-9-Activité hépatoprotectrice du genre *Cichorium*..... 83
IV-2-10- Activité hypoglycémiante 86
a)Définition 86
b) Méthode d'évaluation de l'activité hypoglycémiante 86
c)Activité hypoglycémiate du genre *Cichorium*..... 87
IV-2-11-Activité hypolipidemiante 89
a)Définition 89
b) Méthodes d'évaluation de l'activité hypolipidemiante..... 90
c)Activité hypolipidemiante du genre *Cichorium*..... 90
IV-2-12-Activité anti-insecticide 92
a)Définition 92
b) Méthode d'évaluation de l'activité anti-insecticide 93
c)Activité anti-insecticide du genre *Cichorium*..... 93
IV-3-Analyse comparative des activités biologiques des espèces du genre *Cichorium*.... 95

IV-4- Conclusion..... 97
Conclusion générale 98
Listes des références..... 99

Liste des abreviations

Abréviation	Définition
ABTS	Acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)
AND	Acide Désoxyribonucléique
AGS	Acides Gras Saturés
ASAT	Aspartate Aminotransférase
CAT	Catalase
CCM	Chromatographie sur couche mince
CLSI	Institut des normes cliniques et de laboratoire
COX	Cyclooxygenase
DPPH	2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle
ERO	Espèce Réactive de l'Oxygène
ESI-MS-MS	Ionisation par Electrospray - Spectrométrie de masse en tandem
FRAP	Pouvoir Antioxydant Réducteur du Fer
GC-MS	Chromatographie en phase gazeuse - Spectrométrie de masse
GPX	Glutathion Peroxydase

GSH	Glutathion
HCT	Hématocrite
HDL	Lipoprotéine de haute densité
HL	Hodgkin Lymphoma
HPLC	Chromatographie liquide à haute performance
HPLC-DAD	Chromatographie liquide à haute performance avec détecteur à réseau de diodes
HepG2	Une lignée cellulaire humaine dérivée d'un carcinome hépatocellulaire (cancer du foie)
IGR	Régulateur de croissance des insectes
IL	Interleukine
LC50	Concentration Létale 50 %
LDL	Lipoprotéine de basse densité
MCF-7	Une lignée cellulaire humaine dérivée d'un cancer du sein
MDA	Malondialdehyde
MIC	Concentration Minimale Inhibitrice
MTT	3-(4,5-diméthylthiazol-2-yl)-2,5-diphényltétrazolium bromure
NF-KB	Facteur nucléaire kappa B des cellules B activées
NO	Oxyde nitrique

OMS	Organisation mondiale de la santé
PANC1	Une lignée cellulaire humaine dérivée d'un carcinome pancréatique
RMN	Résonance Magnétique Nucléaire
SK-N-MC	Une lignée cellulaire humaine dérivée d'un néuroblastome
SOD	Superoxide Dismutase
STZ	Streptozotocine
TGO	Transaminase Glutamo-Oxaloacétique
TNF	Facteur de nécrose tumorale
TRABS	Anticorps dirigés contre le récepteur de la thyréostimuline
UPLC–QTOF–MS	Chromatographie liquide ultra performante – Analyseur quadripolaire à temps de vol – Spectrométrie de masse

Listes des figures

Figure	**Page**

Figure 1 : Types de fleurs des plantes des Astéracées	**7**
Figure 2 : Appareil végétatif d'une plante d'Astéracées	**8**
Figure 3 : Carte de répartition géographique des *Astéracées*	**8**
Figure 4: Carte des sous-secteurs phytogéographiques du nord de l'Algérie	**10**
Figure 5 : Représentation photographique de l'espèce *Cichorium intybus*	**18**
Figure 6 : Représentation photographique de l'espèce *Cichorium endivia*	**19**
Figure 7 :Représentation photographique de l'espèce *Cichorium pumilum*	**19**
Figure 8 : Représentation photographique de l'espèce *Cichorium spinosum*	**20**
Figure 9 :Représentation photographique de l'espèce *Cichorium batae*	**21**
Figure 10: Représentation photographique de l'espèce *Cichorium glandulosum*	**21**
Figure 11 : Représentation photographique de l'espèce *Cichorium calvum*	**22**
Figure 12: Racine de chicorée utilisée pour extraire l'inuline	**25**
Figure 13: Café de chicorée	**26**
Figure 14 : Classification des variéteés de chicorée et ses utilisations dans l'alimentation	**27**
Figure 15 : Voies du métabolisme secondaire des plantes qui produisent les trois types généraux de composés secondaires : produits azotés, composés phénoliques et terpénoïdes	**32**
Figure 16 : Classification des flavonoïdes	**36**

Listes des tableaux

Tableau	**Page**

Tableau 1 : Utilisation de quelques plantes médicinales	**6**
Tableau 2 : Liste des genres des astéracées qui représentent en Algérie	**10**
Tableau 3 : Position systématique des *Asteracées*.	**11**
Tableau 4 : : Intérêt thérapeutique de quelques espèces d'Astéracées	**11**
Tableau 5: Intérêt économique de quelques espèces d'astéracées	**12**
Tableau 6: Exemples des espèces d'Astéracées toxiques	**14**
Tableau 7 : Localisation et habitats des espèces de *Cichorium*	**22**
Tableau 8: Position systématique du genre *Cichorium*	**24**
Tableau 9: Utilisations des espèces du gene *Cichorium*	**28**
Tableau 10 :Teneur en macronutriments de deux espèces du genre *Cichorium*	**31**
Tableau 11 : Solvants d'extraction et techniques analytiques utilisées	**33**
Tableau 12: Principaux acides phénoliques identifiés dans les espèces de *Cichorium*	**34**
Tableau 13: Les flavonoïdes identifiés dans les espèces étudiées du genre *Cichorium*	**36**
Tableau 14 : Les flavonoïdes identifiés dans les espèces étudiées du genre	**37**
Tableau 15 : Teneur en tanins (%) selon les espèces de *Cichorium*	**40**
Tableau 16 : Teneur en saponines des espèces étudiées du genre *Cichorium*	**42**
Tableau 17 : Les monoterpenes identifiés dans les espèces étudiées du genre *Cichorium*	**44**
Tableau 18 : Les sesquiterpènes identifiés dans les espèces étudiées du genre *Cichorium*	**47**
Tableau 19 : Étude des diterpènes et autres composés chimiques dans les espèces de *Cichorium*	**49**

Tableau 20 : les tétraterpènes identifiés dans différentes espèces du genre **Cichorium**	**50**
Tableau 21 : Composition chimique des huiles essentielles des espèces du genre *Cichorium*	**51**
Tableau 22 : Composition et structure chimique des composés majoritaires des huiles essentielles des espéces de *Cichorium*	**54**
Tableau 23 : Les alcaloïdes identifiés dans les espèces étudiées du genre *Cichorium*	**59**
Tableau 24 : Compositions phytochimiques des espèces du genre *Cichorium*	**61**
Tableau 25 : Activité antibactérienne rapportée des extraits de différentes espèces de *Cichorium*	**66**
Tableau 26 : Activité antifongique rapportée des extraits de différentes espèces de *Cichorium*	**68**
Tableau 27 : Potentiel antioxydant de différents extraits du genre *Cichorium*	**70**
Tableau 28 :Activité enzymatique des extraits de différentes espèces de *Cichorium*	**72**
Tableau 29: Activité anti-inflammatoire des espèces du genre *Cichorium*	**74**
Tableau 30 : Activité antidermatophytique des espèces du genre *Cichorium*	**76**
Tableau 31 : Activité cytotoxique des espèces du genre *Cichorium*	**79**
Tableau 32 : Activité antitumorale des espèces du genre *Cichorium*	**82**
Tableau 33 : Activité hépato protectrice des espèces du genre *Cichorium*	**84**
Tableau 34 : Activité hypoglycémiante des espèces du genre *Cichoruim*	**87**
Tableau 35 : Activité hypolipidimiante des espèces du genre *Cichorium*	**91**

Tableau 36 : Activité anti-insecticide des espèces du genre *Cichorium*	**94**
Tableau 37: Activité biologique des espèces du genre *Cichorium*	**95**

Introduction Général

Introduction générale

Les produits naturels issus des plantes médicinales représentent depuis des siècles une source précieuse de traitements pour diverses affections humaines. Face aux limites des médicaments synthétiques, notamment les effets secondaires et la résistance croissante aux antibiotiques, l'intérêt pour les composés bioactifs d'origine végétale s'est considérablement accru au cours des dernières décennies **(Atanasov et al., 2015).**

Parmi les genres botaniques ayant attiré l'attention des chercheurs, le genre *Cichorium*, appartenant à la famille des *Asteraceae,* se distingue par sa richesse en métabolites secondaires et par ses multiples applications médicinales et alimentaires.

Le genre *Cichorium* comprend principalement deux espèces d'intérêt : *Cichorium intybus* L. (chicorée sauvage) et *Cichorium endivia* L. (endive). Ces plantes sont traditionnellement utilisées pour leurs effets digestifs, dépuratifs, diurétiques, et surtout pour leurs propriétés hépatoprotectrices et anti-inflammatoires **(Street et al., 2013).** Elles contiennent une grande diversité de composés phytochimiques, notamment des flavonoïdes, des acides phénoliques, des lactones sesquiterpéniques, des triterpènes et des diterpènes, qui leur confèrent des activités biologiques variées **(Bais & Ravishankar, 2001)**.

Les flavonoïdes et les acides phénoliques jouent un rôle important comme antioxydants naturels, capables de neutraliser les radicaux libres et de protéger les cellules contre le stress oxydatif, un facteur clé dans le développement de maladies chroniques telles que le cancer et les troubles cardiovasculaires **(Panche et al., 2016)**. Les lactones sesquiterpéniques, quant à elles, sont connues pour leurs effets anti-inflammatoires, cytotoxiques et antiparasitaires **(Chadwick et al., 2013)**. Les triterpènes et diterpènes, bien qu'étudiés de façon plus restreinte dans les *Cichorium*, présentent également un potentiel pharmacologique prometteur.

Dans le domaine de la toxicologie fonctionnelle, il est essentiel d'étudier non seulement les effets thérapeutiques de ces composés, mais également leur profil de sécurité, leurs mécanismes d'action, et leur toxicité potentielle à court et long terme. En effet, certaines substances naturelles peuvent présenter des effets indésirables lorsqu'elles sont utilisées à fortes doses ou sur de longues périodes **(Tiwari et al., 2011)**. D'où la nécessité d'une évaluation rigoureuse des extraits de *Cichorium* dans une perspective toxicologique.

Cette étude s'inscrit dans cette dynamique scientifique. Elle vise à :

- Répertorier et analyser les principaux composés phytochimiques présents dans les espèces de *Cichorium.*
- Présenter les différentes activités biologiques documentées dans la littérature.
- Mettre en lumière les implications toxicologiques, tant sur le plan thérapeutique que préventif.

À travers cette revue, nous cherchons à valoriser les espèces de *Cichorium* comme source potentielle de molécules bioactives, tout en soulignant l'importance d'un encadrement scientifique rigoureux pour garantir leur usage sécurisé.

CHAPITRE I

Les plantes médicinales et la famille des Astéracées

CHAPITRE I : Les plantes médicinales et la famille des Astéracées

I.1.Les plantes médicinales

I.1.1. Historique

Les plantes médicinales sont des ressources naturelles inconnues et inexplorées qui sont offertes à l'humanité depuis des temps immémoriaux. Plus de 35 000 espèces ont été largement utilisées dans toutes les cultures humaines du monde entier (plus de 75% de la population) en tant que source de médicaments sûrs et efficaces **(Bahadur et al., 2007).**

Depuis l'antiquité, la théorie des signatures a été largement utilisée afin de repérer par analogie les plantes essentielles à la guérison personnelle. Toutefois, elle a été fortement critiquée dès le XVIIe siècle et oubliée du monde savant au siècle des Lumières **(Guy, 2016).**

Certaines inscriptions indiquent que les Égyptiens et les Chinois, étaient parmi les premiers êtres humains qui utilisaient les plantes comme médicaments depuis plus du des 27 siècles avant JC. (**Jamshidi-Kia et al., 2017**).

Depuis plus de 5000 ans, la phytothérapie est présente en Chine. Il existe aujourd'hui plus de 3000 variétés d'herbes médicinales qui ont des propriétés thérapeutiques spécifiques, dans la pratique médicinale chinoise traditionnelle à base de plantes. **(Giannenas et Sidiropoulou, 2020).**

Vers 2900 avant notre ère, la civilisation égyptienne a été l'une des premières à utiliser des huiles essentielles de plantes, démontrant ainsi une grande conscience médicale de leur utilité. **(Giannenas et Sidiropoulou, 2020).**

Selon l'Organisation mondiale de la santé, entre 14 et 28% des plantes ont été utilisées dans le monde a des fins thérapeutiques, et près de 80% des populations dépend de la médecine traditionnelle pour leurs soins de santé primaire **(OMS, 2002; Stefano et al.,, 2002).**

La reconnaissance officielle de la médecine traditionnelle dans les systèmes de santé nationaux par l'OMS en 2006 met en évidence son importance dans les pays où la médecine moderne est peu accessible. Il est essentiel de recourir aux plantes médicinales.

En nombreux pays d'Afrique, la phytothérapie représente une option de soins alternatifs aux médicaments. Dits "modernes**". (Jiofack et al., 2009, 2010).** Ceci est non seulement à cause de l'inaccessibilité des installations modernes de soins de santé et les coûts élevés de la médecine conventionnelle mais aussi de la phytothérapie qui est très souvent considérée comme une méthode de traitement plus approprié et efficace (**Marshall, 1998)**

I.1.2. Définition des plantes médicinales

Une plante médicinale est une substance végétale (partie de plante) qui fait partie de la pharmacopée. Le terme "poudre de plante" est couramment utilisé pour désigner la poudre de médicaments végétaux. Le pissenlit (Racine et Feuille) et le cassissier (Feuille et Fruit) sont deux exemples d'espèces botaniques capables de générer diverses substances pharmaceutiques végétales **(Loïc, 2016).**

D'après l'organisation mondiale de la santé, une plante médicinale est une plante dont un ou plusieurs organes contiennent une substance pouvant être utilisée à des fins thérapeutiques ou qui sont des précurseurs de la semi-synthèse chimio-pharmaceutique (**Karunamoorthi et al., 2013**).

I.1.3. Origines des plantes médicinales

Les plantes médicinales sont caractérisées par deux origines. Ce sont les plantes cultivées et les plantes spontanées, appelées sauvages ou de cueillette **(Chabrier, 2010).**

I.1.3.1. Plantes sauvages

La première utilisation de cette catégorie remonte à l'époque et représente encore une part significative du marché international, leur répartition et leur développement sont influencés par différents éléments, tels que le type de sol et, essentiellement, le climat (**Chabrier, 2010).**

I.1.3.2. Plantes cultivées

Les techniques de culture standardisées permettent d'obtenir des matières premières de qualité et en quantité adéquate et homogène grâce à ces plantes. La culture des plantes médicinales respecte en effet les directives de l'OMS concernant les bonnes pratiques agricoles et de récolte pour les plantes médicinales **(Who, 2003).**

I.1.4. La **phytothérapie**

I.1.4.1. Définition

La phytothérapie désigne l'utilisation des plantes médicinales pour prévenir ou traiter des maladies. Elle repose sur les propriétés thérapeutiques des plantes, telles que leurs effets anti-inflammatoires, antalgiques, ou antioxydants, souvent utilisées pour des pathologies chroniques ou bénignes (**Roger Moatti, 1990).**

I.1.4.2.Types de phytothérapie

a. La phytothérapie traditionnelle

C'est une thérapie alternative qui vise à atténuer les symptômes d'une maladie. Ses origines peuvent remonter à très loin dans le temps et elle repose sur l'utilisation empirique des plantes en fonction de leurs vertus **(Prescrire, 2007).**

b. La Phytothérapie Clinique

C'est une thérapie qui prend en considération l'état général du patient et un examen clinique approfondi, et elle élabore la plante médicinale en se basant sur les données traditionnelles et une utilisation validée par les connaissances scientifiques actuelles (**Jorite, 2015).**

c. La Phytothérapie moderne

Le développement de la chimie moderne a permis d'utiliser des produits d'extraction ou de fabrication. Les recherches sur les plantes médicinales ont également permis d'identifier les mécanismes d'action qui régissent les propriétés thérapeutiques accordées par l'utilisation traditionnelle **(Jorite, 2015).**

I.1.5.Utilisation des plantes médicinales

Les plantes médicinales sont utilisées pour leurs propriétés particulières bénéfiques pour la santé humaine. Dans la nature, les plantes médicinales n'ont été utilisées que sous forme de tisanes ou de poudres. Mais actuellement, elles sont exploitées de différentes manières, décoction, macération, digestion, infusion.... etc. **(Bézanger, 1986; Dutertre, 2011).**

Les différentes parties des plantes médicinales peuvent être utilisées, telles que les graines, les racines, les feuilles, les fruits, les fleurs ou même la plante entière. La majorité des composés actifs présents dans la plupart des parties des plantes médicinales ont des propriétés thérapeutiques directes ou indirectes et sont employés comme pilules (**Jamshidi-Kia et al., 2017).**

D'autre part, Ces plantes médicinales sont utilisées dans l'industrie alimentaire (Les épices, les colorants et les herbes aromatiques), et dans l'industrie cosmétiques (Produits de beauté, parfumerie, articles de toilette, produits d'hygiène...etc) (**Bahorun, 1997).**

Tableau 1 : Utilisation de quelques plantes médicinales

Plante médicinale	Utilisations	Partie utilisée	Mode d'utilisation	Références
Matricaria chamomilla (Camomille)	-Troubles digestifs -Insomnie -Inflammation	Fleurs	-Infusion (1 c. à soupe dans 200 ml d'eau chaude, 2-3 fois par jour)	**(Pierre, 2017)** **(Valnet, 2015)**
Mentha piperita (Menthe poivrée)	-Nausées, -Maux de tête, -Digestion	Feuilles	-Infusion -Huile essentiel (quelques gouttes diluées)	**(Valnet, 2015)** **(Lacoste, 2019)**
Thymus vulgaris (Thyme)	-Infections respiratoires -Toux -Antiseptique	Feuilles, Sommités fleuries	-Infusion ou inhalation	**(Pierre, 2017)** **(Scimeca, 2018)**
Rosmarinus officinalis (Romarin)	-Fatigue mentale, -Troubles digestifs -Douleurs musculaires	Feuilles	-Infusion -Décoction -Huile essentielle	**(Valnet, 2015)** **(Chavanne, 2020)**
Zingiber officinale Gingembre	-Anti-inflammatoire, -Nausées -Digestion	Rhizome	Infusion, frais ou en poudre	**(Lacoste, 2019)** **(Chavanne, 2020)**
Lavandula angustifolia (Lavande)	-Stress, -Insomnie, -Douleurs musculaires	Fleurs	-Infusion, -Huile essentielle, -Bain relaxant	**(Pierre, 2017)** **(Scimeca, 2018)**
Aloe barbadensis (Aloe vera)	-Brûlures, -Cicatrisation, -Hydratation de la peau	Feuilles	-Application cutanée directe (Gel)	**(Valnet, 2015)** **(Chavanne, 2020)**
Curcuma longa	Aliment fontionnel (anti-oxydant), anti-inflammatoire	Rhizome	Poudre dans les plats, complément alimentaire	**(Valnet, 2015 ; Chevallier, 2016)**

Coriandrum sativum (coriandre)	Assaisonnement (alimentation), flatulences	Feuilles, graines	Frais ou en graines moulues dans l'alimentation	**(Chevallier,2016)**
Citrus limon(citron)	Antiseptique, alimentaire, cosmétique capillaire	Jus, zeste	Jus ou zeste dans boissons,masques cheveux ou peau	**(Couic marinier, 2021)**

I.2.La famille des astéracées

I.2.1. Description botanique

Les Astéracées sont caractérisées par la disposition des fleurs en capitule. Les capitules sont constitués du regroupement de fleurs sessiles sur un même réceptacle. Les fleurs sont de deux types : fleurs tubulées (tubuliflores) et fleurs ligulées (liguliflores). Le tout donnant à l'ensemble l'apparence d'une seule fleur. Le capitule est entouré à la base généralement par 1 à 6 séries de bractées dont l'ensemble forme l'involucre".

Les feuilles sont le plus souvent alternes. Elles peuvent aussi être opposées ou réunies en rosette principale (Pâquerette).Les fruits sont des akènes généralement surmontées d'une aigrette de poils (Pappus) apparaissant sous la forme d'écailles, de soies, d'arêtes ou d'une couronne qui favorise leur dispersion par le vent **(Mezache, 2010).**



Figure 1 : Types de fleurs des plantes des Astéracées

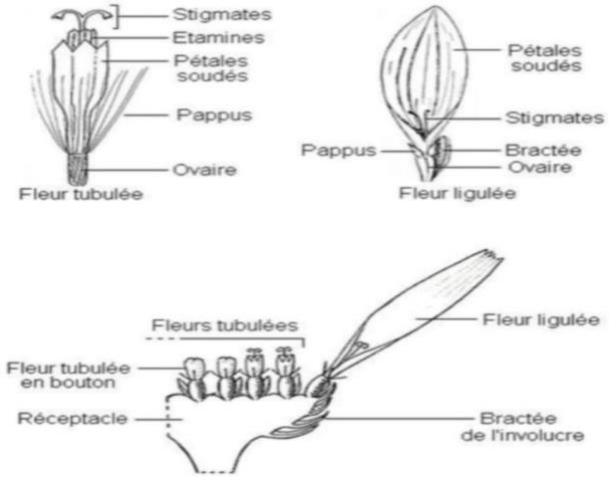


Figure 2 : Appareil végétatif d'une plante d'Astéracées

I.2.2. Habitat et Répartition géographique

La famille des Astéracées ou Composées représente la 2eme famille la plus importante en nombre d'espèces, après les Orchidacées (comprend près de 13 000 espèces réparties en 1.500 genres).

Les espèces de cette famille se rencontrent sur toute la surface de la terre, c'est une famille cosmopolite avec une diversification plus importante au niveau des régions sèches, comme par exemple, dans le bassin méditerranéen, le sud de l'Afrique, le Mexique et l'Amérique du Sud ainsi qu'au sud-ouest des Etats-Unis **(Elisa, 2019) (Figure …).** Les astéracées présentent une grande capacité d'adaptation écologique, ce qui explique leur succès évolutif et leur présence dans une grande diversité d'habitats, des priaires alpines aux déserts et aux forêts tropicales (**Panero et Funk, 2008).**



Figure 3 : Carte de répartition géographique des *Astéracées* (**Elisa, 2019)**

I.2.3. Les Astéracées en Algérie : Diversité, Habitat et Répartition

Selon les travaux de Quézel et Santa (1963), la flore algérienne comprend environ 583 espèces d'Astéracées réparties sur 109 genres. Cette richesse est également soulignée par une étude menée dans la wilaya de M'Sila, qui confirme la présence de nombreuses espèces de cette famille dans la région **(Sarri et al., 2025).**

Dans la région steppique de l'ouest algérien (Tlemcen), une étude a recensé 32 espèces réparties en 22 genres, témoignant de l'adaptation des Astéracées aux conditions semi-arides **(Benabadji & Bouazza, 1991).**

Dans le parc national d'El Kala (nord-est de l'Algérie), une enquête ethnobotanique a identifié 20 espèces appartenant à 17 genres, dont *Matricaria chamomilla*, *Artemisia herba-alba*, et *Cynara scolymus* **(Klech et al., 2022).**

Les Astéracées occupent une large gamme d'habitats : des zones côtières comme celles d'El Kala, aux régions sahariennes comme Ouargla et Ghardaïa. Elles incluent des espèces adaptées à l'aridité comme *Pulicaria crispa* et *Launaea resedifolia*, et d'autres aux sols salins ou rocheux **(Deghiche Diab et al., 2016).**

Leurs adaptations morphologiques comprennent des feuilles réduites, des tiges velues et des systèmes racinaires profonds pour résister à la sécheresse **(Deghiche Diab et al., 2016).**

Les Astéracées jouent un rôle écologique clé en stabilisant les sols, en servant de sources alimentaires pour la faune, et en maintenant la biodiversité. Leur importance ethnobotanique est également notable, plusieurs espèces étant utilisées en médecine traditionnelle pour traiter les troubles digestifs, respiratoires et dermatologiques **(Klech et al., 2022).**

Certaines espèces endémiques et rares renforcent encore leur importance au sein des écosystèmes algériens **(Kowalski et al., 2022).**

La carte ci-dessous représente les sous-secteurs phytogéographiques du nord de l'Algérie, tels que définis par Quézel et Santa (1962). Elle illustre la répartition des espèces végétales, notamment celles de la famille des Astéracées, à travers différentes zones écologiques

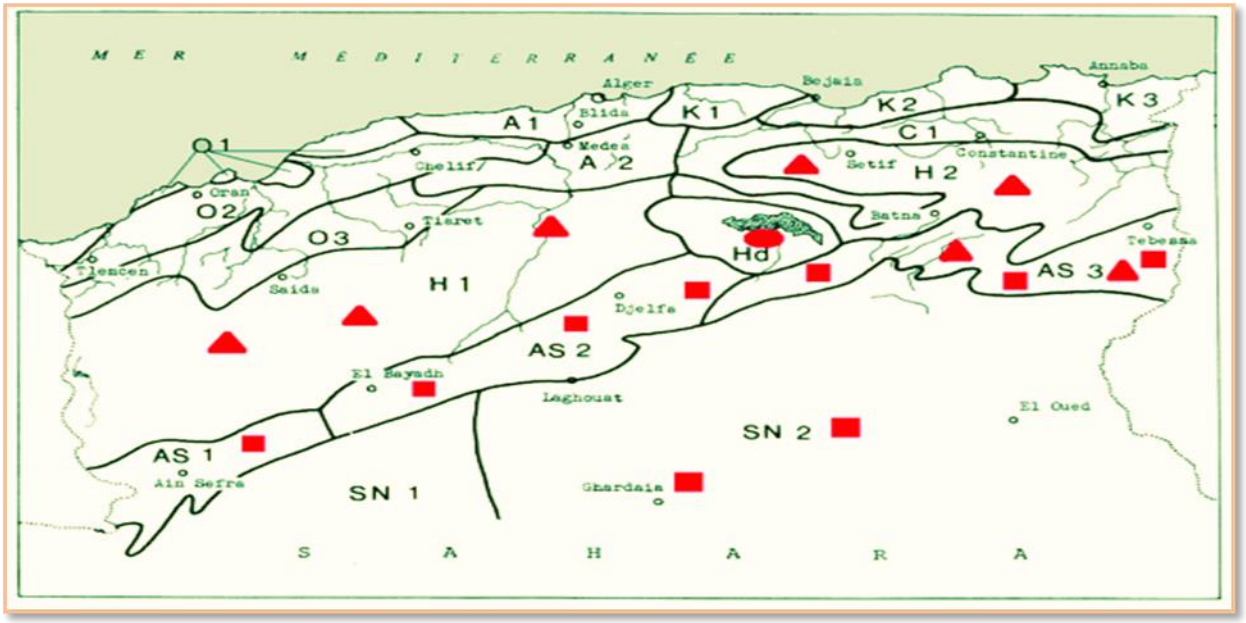


Figure 4 : Carte des sous-secteurs phytogéographiques du nord de l'Algérie selon **Quézel et Santa (1962),** issue de l'étude de **Sarri et al. (2018).**

Le tableau ci-dessous présente les genres de la famille des astéracées qui représentent en Algérie :

Tableau 2: Liste des genres des astéracées qui représentent en Algérie

Sous-famille	Genres presents en Algeria	Références
Asteroideae	*Artemisia, Helianthus, Dittrichia, Glebionis, Galinsoga, Symphyotrichum, Pulicaria, Reichardia, Chamaemelum, Delairea, Inula*	**(Pierre, 2017; Algerianativeplants, n.d.)**
Cichorioideae	*Cichorium, Lactuca, Taraxacum, Sonchus, Hypochaeris, Picris, Catananche*	**(Medjahdi et al., 2012)**
Carduoideae	*Cynara, Silybum, Cirsium, Centaurea, Galactites, Carlina, Cnicus*	**(Quézel & Santa, 1962–1963)**
Mutisioideae	*Mutisia* (rare)	**(Chavanne, 2020)**
Barnadesioideae	Non représentée	**(Algerianativeplants, n.d.)**

I.2.4. Position systématique

Les Astéracées sont des plantes à fleurs dicotylédones appartenant à l'ordre des Asterales, annuelles ou vivaces, herbacées à arbustives **(Judd et al, 2016),** elles sont classées comme suit :

Tableau 3 : Position systématique des *Asteracées* **(APG , 2016).**

Règne	Plantae
Sous-régne	Tracheobionta
Embranchement	Phanerogammae
Sous-embranchement	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Asterales
Famille	Asteraceae

I.2.5. Utilisations des plantes de la famille des Astéracées

Les Astéracées sont des plantes présentes partout dans la vie de l'homme, plantes cultivées dans les champs ou les jardins, industrielles, consommées ou ornementales, ce sont aussi également parfois des plantes médicinales ou des adventices de culture.

I.2.6. Intérêt thérapeutique

La famille des astéracées c'est la famille la plus importante pour le nombre de plantes à valeur santé, en raison de sa richesse en espèces et du grand nombre de substances bioactives qu'elle peut produire (composés polyacétyléniques, lactones sesquiterpéniques...). **(Canal, 2017).** Le tableau ci-dessous présente l'intérêt thérapeutique de quelques espèces de la famille des Astéracées :

Tableau 4 : Intérêt thérapeutique de quelques espèces d*'Astéracées*

Espèce	**Composé bioactif**	**Utilisation thérapeutique**	**Référence**
Artemisia herba-alba	-Thuyone -Camphre	-Antispasmodique -Antimicrobien	**(Benmehdi et al., 2012)**

Silybum marianum	-Silymarine	-Hépatoprotecteur -Antioxydant	**(Karkanis et al., 2011)**
Matricaria chamomilla	-Apigénine -Bisabolol	-Anti-inflammatoire -Sédatif	**(Srivastava et al., 2010)**
Inula viscosa	-Sesquiterpènes lactones	-Antibactérien -Antifongique	**(Bouzenna & Krichen, 2013)**
Taraxacum officinale	-Taraxacine	-Diurétique -Hépatostimulant	**(Schütz et al., 2006)**
Arnica montana	Hélénaline-Dihydrohélénaline	Anti-inflammatoire-antalgique	**(Widrig et al, 2007)**
Matricaria chamomilla	Chamazuléne-flavonoides	Digestif-antispasmodique	**(Mckay et Blumberg, 2006)**
Taraxacum officinale	Acide chlorogénique-flavonoides	Antioxidant-hypolipémiant	**(Martin Herranz et al, 2015)**

I.2.7. Intérêt économique

Outre leur usage médicinal, les Astéracées jouent un rôle économique majeur dans des secteurs variés tels que l'agriculture, l'alimentation, l'horticulture et l'industrie. Voici dans le tableau **5** ; des exemples de leurs principales applications économiques.

Tableau 5 : Intérêt économique de quelques espèces d'*Astéracées*

Espèce	Nom commun	Interets economique	Réferences
Helianthus annuus	Tournesol	Alimentaire / Industriel	(**Duke, 1983)**
Lactuca sativa	Laitue	Alimentaire	**(Paris & Janick, 2008).**
Cynara scolymus	Artichaut	Alimentaire / Médicinal	**(Heuze et al., 2017).**

Artemisia absinthium	Absinthe	Médicinal / Spiritueux	**(Bruneton, 1999).**
Matricaria chamomilla	Camomille allemande	Médicinal / Cosmétique	**(Schilcher, 2005).**
Tagetes spp.	Œillet d'Inde	Ornemental / Agricole	**(Duke, 1983).**
Echinacea purpurea	Échinacée pourpre	Médicinal	**(Barrett, 2003).**
Taraxacum officinale	Pissenlit	Alimentaire / Médicinal / Fourrager	**(Bisset & Wichtl, 2001).**
Calendula officinalis	Souci officinal	Médicinal / Cosmétique / Ornemental	**(Bruneton, 1999).**
Chrysanthemum spp.	Chrysanthème	Ornemental / Alimentaire (en Asie)	**(Duke, 1983).**

Certaines espèces comme *Helianthus annuus* (tournesol) sont cultivées à grande échelle pour la production d'huile alimentaire et de biocarburant. ***Lactuca sativa*** (laitue) constitue une culture maraîchère essentielle dans de nombreux pays **(Paris & Janick, 2008).** D'autres, telles que *Matricaria chamomilla* (camomille allemande) et *Echinacea purpurea***,** sont largement utilisées en phytothérapie pour leurs propriétés calmantes, anti-inflammatoires ou immunostimulantes **(Schilcher, 2005; Barrett, 2003).** Par ailleurs, des espèces comme *Calendula officinalis* (souci officinal) et *Chrysanthemum spp.* sont valorisées pour leurs usages ornementaux et thérapeutiques. L'importance économique des Astéracées réside également dans leur capacité à repousser certains parasites (ex : *Tagetes spp.*) ou à enrichir les systèmes agricoles durables grâce à leur diversité fonctionnelle **(Heuzé et al., 2017).**

I.2.8. Toxicité des plantes de la famille Astéracées

Les effets des plantes toxiques peuvent être internes en cas d'ingestion ou externes en cas de réaction allergique cutanée, ce qui arrive le plus souvent. Le degré de toxicité varie selon plusieurs facteurs dont les principaux sont les suivants : la nature de la plante toxique, le stade végétatif du développement de la plante, la partie toxique, la quantité ingérée si c'est le cas, la partie de la plante en cause, l'état de santé de la personne ou de l'animal intoxiqué, l'âge de la personne ou de l'animal intoxiqué, etc....

Bien que la famille des Asteraceae soit largement reconnue pour ses espèces médicinales et alimentaires, plusieurs de ses membres présentent une certaine toxicité pour

l'homme et les animaux. Cette toxicité est généralement due à la présence de composés secondaires tels que les lactones sesquiterpéni éniques, les alcaloïdes pyrrolizidiniques, et certains polyacétylènes **(Cheeke, 1998)**.

Tableau 6 : Exemples des espèces d'*Astéracées* toxiques

Espèce	Composé toxique	Voie d'exposition	Effets principaux	Référence
Senecio vulgaris	Alcaloïdes pyrrolizidiniques	Ingestion (herbacées)	Hépatotoxicité chronique Fibrose Cirrhose Insuffisance hépatique	**(Mattocks, 1986)**
Senecio jacobaea	Alcaloïdes pyrrolizidiniques	Ingestion (fourrage)	Dommages hépatiques graves Mutagenèse	**(Mattocks, 1986)**
Ambrosia artemisiifolia	Protéines allergènes (pollen)	Inhalation	Rhinite allergique saisonnière, Asthme	**(Burbach et al., 2009)**
Tithonia diversifolia	Lactones sesquiterpéniques	Ingestion (pâturage)	Troubles gastro-intestinaux, Hépatotoxicité légère	**(Cheeke, 1998)** **(Burrows & Tyrl, 2013)**
Eupatorium cannabinum	Polyacétylènes, lactones sesquiterpéniques	Ingestion (herbacée)	Vomissements, Diarrhée, Troubles neurologiques	**Burrows & Tyrl (2013)**
Centaurea phrygia	Lactones sesquiterpéniques	Ingestion	Hépatite, Troubles immunitaires	**(Cheeke, 1998)**

Le tableau ci-dessus illustre la diversité des mécanismes toxiques au sein de la famille des Asteraceae, démontrant que malgré leur richesse en espèces médicinales, certaines plantes peuvent présenter un danger sérieux pour la santé humaine et animale. Les alcaloïdes pyrrolizidiniques, comme ceux retrouvés dans les espèces du genre *Senecio*, sont parmi les composés les plus redoutables : leur hépatotoxicité est bien documentée, notamment par leur capacité à induire une maladie veino-occlusive hépatique et, à long terme, une cirrhose irréversible **(Mattocks,1986).**

De plus, l'exemple de *Ambrosia artemisiifolia* montre que la toxicité ne se limite pas à l'ingestion : l'inhalation de ses pollens allergènes provoque des symptômes respiratoires graves, particulièrement chez les individus sensibles, ce qui constitue un problème de santé publique croissant en Europe et en Afrique du Nord **(Burbach et al., 2009).**

Par ailleurs, des plantes comme *Tithonia diversifolia,* souvent utilisées comme fourrage alternatif, peuvent présenter une toxicité subaiguë chez les ruminants en cas de consommation excessive, en raison de leur contenu en lactones sesquiterpéniques **(Burrows & Tyrl, 2013).** Cela souligne l'importance d'une évaluation rigoureuse des espèces fourragères locales avant leur intégration dans les systèmes d'élevage. Il convient également de noter que certaines espèces comme *Eupatorium cannabinum* ou *Centaurea phrygia*, malgré leur utilisation occasionnelle en médecine traditionnelle, peuvent induire des effets secondaires indésirables, notamment digestifs et neurologiques, si elles sont mal dosées ou mal préparées **(Cheeke, 1998).** Cette complexité chimique rend nécessaire une approche prudente dans l'utilisation médicinale ou fourragère des *Asteraceae,* en tenant compte des données scientifiques disponibles, de la variabilité chimique interspécifique, et des conditions environnementales qui influencent la concentration des métabolites toxiques.

I.3. Conclusion :

À travers ce chapitre, nous avons abordé la famille des Astéracées (Famille des Asteraceae), l'une des plus vastes et des plus diversifiées du règne végétal, tant par le nombre d'espèces qu'elle regroupe que par sa large répartition géographique. Cette famille se distingue par une structure florale particulière, une grande diversité morphologique, ainsi que par ses nombreuses utilisations dans les domaines alimentaire, médicinal, cosmétique et environnemental.
(Funk et al., 2009 ; Heywood et al., 2007*)*

L'étude des caractéristiques taxonomiques et morphologiques propres aux Astéracées nous a permis de mieux comprendre les critères qui définissent cette famille et la différencient des autres familles botaniques. Ces connaissances constituent une base essentielle pour les recherches futures, notamment dans un cadre appliqué ou écologique.
(Bremer, 1994 ; Judd et al., 2016*)*

Bien que l'ampleur et la richesse de cette famille ne puissent être entièrement couvertes dans un seul chapitre, nous avons tenté de fournir une vision d'ensemble claire et accessible, qui

servira d'introduction aux chapitres suivants, consacrés à l'étude plus détaillée de certains genres représentatifs et pertinents à notre travail.

(Mabberley, 2017).

CHAPITRE II

Analyse botanique des espèces du genre *Cichorium*

CHAPITRE II : Analyse botanique des espèces du genre *Cichorium*

II.1. Historique du genre *Cichorium*

Le nom *Cichorium* est probablement dérivé des mots grecs « kio » = « aller » et « chorfon » = « du champ », ce qui indique la présence de la plante dans les champs et le long des routes. Cette référence est toujours présente dans le nom vernaculaire allemand commun du genre « Wegwarte » (Hegi, 1987). Linné (1753) a inclus trois espèces dans le genre : *C. intybus*, *C. endivia* et *C. spinosum*. Plus tard, Lessing (1832) a considéré que *C. spinosum* était suffisamment différent pour en faire un genre distinct appelé Acanthophyton, mais cela n'a pas été suivi par d'autres. De Candolle (1838) a transféré le genre *Acanthophyton* à *Cichorium* en tant que section monotypique à côté de la section (nommée illégitimement) *Eucichorium* qui comprenait quatre espèces : *C.intybus, C. endivia, C. pumilum et C. glabratum*. Cette classification a été suivie par Hoffmann (1894). Plus tard, la division en sections est tombée en désuétude. La variabilité morphologique considérable a conduit à la description de plus de 40 espèces depuis Linné (1753), dont seulement la moitié a été décrites légitimement. En 1936, Shicheva a reconnu neuf espèces dans sa révision. Malheureusement, cette révision est en russe, ce qui ne la rend pas facilement accessible. La révision la plus récente du genre a été réalisée par Bedarff (1985) et une partie a également été publiée ultérieurement par Wagenitz et Bedarff (1989). Au total, sept espèces ont été décrites, tandis que les deux espèces cultivées *C. intybus* et *C. endivia* ont été divisées en deux sous-espèces chacune. **(Kiers, 2000).**

II.2. Présentation du genre *Cichorium*

II.2.1. Description générale

Le genre *Cichorium* L. appartient à la famille des *Asteraceae* et comprend des plantes herbacées annuelles ou vivaces, originaires principalement des régions tempérées d'Europe, d'Asie occidentale et d'Afrique du Nord. Ces plantes se caractérisent par des feuilles généralement disposées en rosette basale, des tiges dressées et ramifiées, et des inflorescences en capitules composés uniquement de fleurs ligulées, le plus souvent de couleur bleue. Le fruit est un akène, généralement sans pappus ou avec un pappus réduit. Les espèces du genre sont connues pour leurs usages alimentaires (*Cichorium endivia* pour les salades, *Cichorium intybus* pour ses racines torréfiées utilisées comme substitut de café) ainsi que pour leurs propriétés médicinales, notamment digestives et cholagogues. Le genre comprend environ 6 à 10 espèces selon les classifications (Tutin et al., 1976 ; Pignatti, 1982 ; WHO, 2007). *Cichorium intybus* est l'espèce la plus répandue, à la fois à l'état sauvage et sous diverses formes cultivées.

Le genre *Cichorium* regroupe six espèces reparties autour du monde **(kiers, 2000)**.

II.2.1.1. Cichorium intybus

Cichorium intybus est une plante herbacée vivace pouvant atteindre 1,5 mètre de hauteur. Elle est caractérisée par un système racinaire profond et pivotant, lui permettant de résister à la sécheresse.

F**euilles**: sont allongées et dentelées, disposées en rosette basale lorsqu'elles sont jeunes. Elles peuvent être consommées crues ou cuites et présentent un goût légèrement amer.

F**leurs** : sont bleu clair à bleu violacé et forment des capitules typiques des Asteraceae. Elles s'ouvrent généralement au lever du soleil et se referment dans l'après-midi.

Fruits : sont des akènes, souvent munis d'une couronne de poils favorisant leur dispersion par le vent **(Liu, H. et al. (2021).**



Figure 5 : Représentation photographique de l'espèce ***Cichorium intybus*** *(***Liu et al ,2021).**

II.2.1.2. Cichorium endivia

Cichorium endivia est une plante herbacée bisannuelle cultivée pour ses feuilles. Elle peut atteindre environ 50 cm de hauteur.

Feuilles : Très découpées et frisées ou plus larges et lisses selon les variétés. Elles sont de couleur verte ou jaune pâle en fonction des techniques de blanchiment utilisées pour réduire l'amertume.

Fleurs : Bleu pâle à violet, typiques des Asteraceae, mais rarement observées en culture car la plante est récoltée avant la floraison.

Racines : Peu développées par rapport à *Cichorium intybus*, elles ne sont pas utilisées à des fins alimentaires ou médicinales **(Llorach, R. et al. (2008).**



Figure 6 : Représentation photographique de l'espèce ***Cichorium endivia*** **(Testone et al,2021).**

II.2.1.3. Cichorium pumilum

Cichorium pumilum est une plante herbacée annuelle de petite taille, généralement inférieure à 50 cm.

Tige : Fine, peu ramifiée et souvent couchée.

Feuilles : Allongées et lobées, ressemblant à celles de *Cichorium intybus*, mais plus petites.

Fleurs : Capitules de couleur bleu clair à violet, similaires aux autres espèces du genre *Cichorium*.

Racines : Minces et fibreuses, elles ne sont pas utilisées en alimentation ni en phytothérapie comme celles de *Cichorium intybus*. **(Nikolova, M. et al. (2011).**



Figure 7 : Représentation photographique de l'espèce ***Cichorium pumilum*** **(Závada et al, 2017).**

II.2.1.4. Cichorium spinosum

Cichorium spinosum est une plante vivace buissonnante et épineuse qui peut atteindre jusqu'à 40 cm de hauteur.

Tiges : Ramifiées, ligneuses et munies d'épines, donnant à la plante son aspect buissonnant.

Feuilles : Petites, étroites, vert foncé et coriaces. Elles sont consommées en salade ou cuites dans certaines régions méditerranéennes.

Fleurs : Bleu pâle à violet, disposées en petits capitules comme les autres espèces du genre *Cichorium*.

Racines : Fibreuses, peu développées par rapport à *Cichorium intybus*. **(Zoidou, E. et al. (2017).**



Figure 8 : Représentation photographique de l'espèce ***Cichorium spinosum*** **(Mifsud, S, 2022).**

II.2.1.5. Cichorium batae

Cichorium batae est une plante herbacée vivace qui présente plusieurs caractéristiques distinctives :

Tiges : Dressées ou légèrement étalées, atteignant environ 50 cm de hauteur.

Feuilles : Alternes, dentées et allongées, similaires à celles de *Cichorium intybus* mais souvent plus petites.

Fleurs : Bleu pâle à violet, disposées en capitules, caractéristiques des Asteraceae.

Racines : Profondes et pivotantes, possédant une certaine richesse en composés bioactifs **(Ivanova, D. et al. (2015).**



Figure 9 : Représentation photographique de l'espèce ***Cichorium batae*** **(Thompson&Morgan, 2025).**

II.2.1.6. Cichorium glandulosum

Cichorium glandulosum est une plante herbacée vivace ou bisannuelle qui présente plusieurs caractéristiques distinctives :

Tiges : Dressées, ramifiées et recouvertes de fines glandes sécrétrices.

Feuilles : Alternes, allongées et parfois lobées, avec une surface légèrement collante due aux glandes.

Fleurs : Bleu pâle à violet, typiques des chicorées, regroupées en capitules.

Racines : Profondes et riches en composés bioactifs. **(Novák, J. et al. (2018).**



Figure 10 : Représentation photographique de l'espèce ***Cichorium glandulosum*** **(Li et al,2023).**

II.2.1.7. Cichorium calvum

Cichorium calvum est une plante herbacée vivace qui peut atteindre entre 30 et 80 cm de hauteur, selon les conditions environnementales. Son système racinaire est pivotant et profond, ce qui lui permet de s'adapter aux milieux secs**.**

Feuilles : sont alternes, allongées et dentelées sur les bords. Elles peuvent être plus ou moins velues et présentent une teinte verte légèrement bleutée. Comme chez d'autres espèces

du genre *Cichorium*, les feuilles basales forment une rosette qui peut être consommée comme légume dans certaines régions.

Fleurs: sont de couleur bleu clair à violet, disposées en capitules caractéristiques de la famille des Asteraceae. Ces fleurs s'ouvrent généralement en matinée et se referment en fin d'après-midi.

Fruits : sont des akènes allongés, dotés d'une fine aigrette qui facilite leur dispersion par le vent

(El-Shazly, A. et al. (2020).



Figure 11 : Représentation photographique de l'espèce ***Cichorium calvum(*** **Li et al, 2023).**

II.2.2. Habitats et réparation géographique

Le genre *Cichorium* est largement distribué à travers le monde principalement en Europe, en Afrique du nord, en Asie occidentale, et on peut le trouver aussi en Amérique du nord et en Australie. Les especes de ce genre sont souvent trouvée dans des zones arides et semi-arides. Le tableau suivant indique la localisation et l'habitat des espèces de *Cichorium*.

Tableau 7 : Localisation et habitats des espèces de *Cichorium*

Espèce	Localisation	Habitat
Cichorium intybus	Europe Afrique du nord Asie occidentale Amérique du nord Australie	Zones semi-arides
Cichorium endivia	Europe Afrique du nord Amérique du nord	Zones tempérés

Cichorium pumilum	Régions méditerranéennes Asie occidentale	Zones arides
Cichorium spinosum	Bassin méditerranéen	Zones arides
Cichorium batae	Europe de l'Est Asie mineure	Zones tempérés
Cichorium glandulosum	Europe centrale et orientale Asie	Zones tempérés Zones relativement arides

Cichorium intybus est originaire d'Europe, d'Afrique du Nord et d'Asie occidentale. Aujourd'hui, elle est largement naturalisée à travers le monde, notamment en Amérique du Nord et en Australie. Elle pousse dans divers environnements, allant des bords de routes aux prairies et aux terres cultivées.

Elle s'adapte à différents types de sols, mais préfère les sols bien drainés et riches en matières organiques. Grâce à sa capacité à tolérer la sécheresse, elle est souvent trouvée dans des zones semi-arides **(Kooti, W. et al. (2017).**

Cichorium endivia est cultivée principalement en Europe, en Afrique du Nord et en Amérique du Nord. Elle est particulièrement adaptée aux climats tempérés et pousse bien dans les sols bien drainés et riches en matière organique.

On la retrouve dans les cultures maraîchères et rarement à l'état sauvage, contrairement à *Cichorium intybus* **(Del Rio, D. et al. (2013).**

Cichorium pumilum est originaire des régions méditerranéennes et d'Asie occidentale. On la trouve principalement en Israël, en Égypte, en Turquie et en Iran.

Elle pousse dans les champs cultivés, les bords de routes et les terrains en friche. Elle s'adapte bien aux sols secs et pauvres, ce qui lui permet de survivre dans des environnements arides **(El-Gengaihi, S. et al. (2019).**

Cichorium spinosum est originaire du bassin méditerranéen, en particulier des îles grecques, du sud de l'Italie et de la Crète. Elle pousse principalement dans des sols rocheux, secs et calcaires, souvent en bord de mer.

Elle est bien adaptée aux climats arides grâce à sa tolérance au stress hydrique et à sa capacité à survivre en conditions salines **(Petropoulos, S. et al. (2020).**

Cichorium batae est principalement localisée en Europe de l'Est et en Asie mineure. Elle pousse dans des habitats similaires à ceux des autres espèces du genre *Cichorium*, notamment les prairies, les terrains en friche et les bords de routes.

Elle est adaptée aux climats tempérés et préfère les sols bien drainés et riches en minéraux **(Petrov, N. et al. (2021).**

Cichorium glandulosum est principalement présente en Europe centrale et orientale ainsi qu'en Asie. Elle pousse dans des environnements variés, incluant les prairies sèches, les terrains en friche et les sols bien drainés.

Elle s'adapte aux climats tempérés et peut tolérer des conditions relativement arides **(Novák, J. et al. (2018).**

II.2.3. Classification systématique et taxonomie

Cichorium est un genre de famille des Astéracées, est classée dans la tribu des Cichorideae, caracterisée par des inflorescences en capitules et des fleurs toutes ligulées **(Jeffrey, 2007).** Sur le plan toxonomique , *Cichorium* est étroitement apparenté aux genres *taraxacum et Lactuca* , avec lesquels il partage plusieurs caractéristiques morphologiques, notamment la présence de latex et une disposition particuliére des akénes **(Bremer, 1994).**

Des études phylogénétiques basées sur des marqueurs moléculaires comme la séquence de l'ADN ribosomique ont confirmé la monophylie du genre des relations interspécifiques **(Kilian et al, 2009).**

Tableau 8 : Position systématique du genre *Cichorium* **(Bremer et al, 2009)**

Régne	*Plantae*
Embranchement	*Spermatophytes*
Sous-embranchement	*Angiospermes*
Classe	*Dicotylédones*
Sous-classe	*Astéridées*
	Campanulidées
Ordre	*Asterales*
Famille	*Asteraceae*
Genre	*Cichorium*
Espece	*Cichorium intybus*

	Cichorium endivia *Cichorium pumilum* *Cichorium spinosum* *Cichorium batae* *Cichorium glandulosum* *Cichorium calvum*

II.3. Importance et utilisation du genre *Cichorium*

Le genre *Cichorium* regroupe des plantes d'un grand intérêt économique, grâce à leurs multiples applications dans les domaines agronomique, nutritionnel, médicinal et industriel**.** Leurs usages sont variés, allant de la consommation alimentaire à la phytothérapie**,** en passant par leur utilisation dans l'industrie agroalimentaire**.**

II.3.1. Usage en industrie

a. Production du sucre

La chicorée est une source importante de glucides, notamment l'inuline, un sucre polyfructane découvert en 1919. L'inuline, avec un degré de polymérisation variable, est extraite des racines de chicorée et utilisée comme édulcorant zéro calorie, notamment dans la production de sirop. Comparée à d'autres plantes comme l'artichaut, la chicorée offre un rendement supérieur en inuline. L'extraction de l'inuline se fait par diffusion dans l'eau chaude et purification, avant de subir un processus de décomposition partielle pour obtenir oligofructose ou sirop d'inuline. Ces produits ont une application croissante en raison de leur faible coût de production et de leurs avantages pour la santé **(Piccaglia, 2002).**



Figure 12 : Racine de chicorée utilisée pour extraire l'inuline **(Amazon.sa, s. d.).**

b. Production du café

Les racines de chicorée, une fois séchées et torréfiées, sont utilisées pour produire un substitut de café. Le processus de fabrication est similaire à celui du café ordinaire, et il est particulièrement populaire aux États-Unis et au Canada. La demande pour ce produit augmente, en partie en raison de son prix plus élevé par rapport au café traditionnel **(Joke fedars, 2001).**



Figure 13 : Café de chicorée (**semcemag.fr, 2010)**

c. Production d'éthanol

La chicorée a également été explorée comme source de bioéthanol. Des études aux États-Unis ont montré que la chicorée peut produire des rendements significatifs en éthanol, avec un potentiel de production de 5 à 7 tonnes d'éthanol par hectare. Cela a conduit à l'établissement d'usines dédiées à la production d'éthanol à partir de racines de chicorée, contribuant à la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles **(Belesky, 2002).**

d. Productions alimentaires

❖ Fourrage et pâturage pour les animaux :

La chicorée est utilisée comme fourrage pour le bétail en raison de sa richesse en glucides et en protéines. Elle est particulièrement adaptée aux sols pauvres et peut être cultivée dans des conditions climatiques variables. Une variété spécifique, Grasslands Puna, développée en Nouvelle-Zélande, est largement utilisée en Pennsylvanie (États-Unis) pour nourrir les vaches et chevaux **(Kemp, 1997).**

❖ Consommation humaine:

La chicorée est également utilisée comme légume dans de nombreux pays. Consommée fraîche ou cuite, elle est riche en fibres, vitamine C, fer, et potassium. La chicorée, notamment celle produite par forçage, peut atteindre des rendements élevés, avec des prix relativement élevés sur le marché. En 2003, le prix du kilo de chicorée était particulièrement élevé dans certains pays comme la Grande-Bretagne et l'Allemagne **(Majed zoabi et Mounir houssin, 2005).**

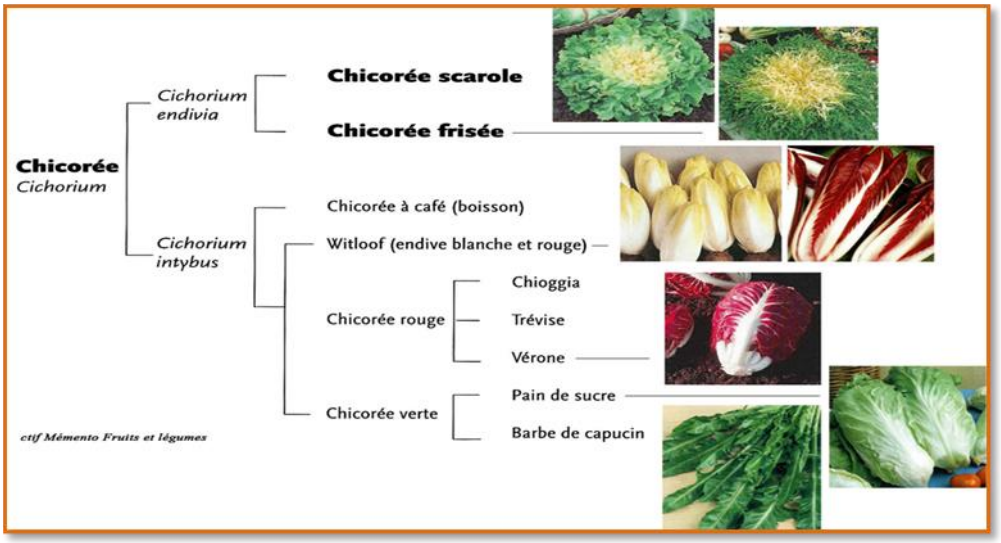


Figure 14 : Classification des variéteés de chicorée et ses utilisations dans l'alimentation

(Majed zoabi et Mounir houssin, 2005)

II.3.2.Usage en phytotherapie

Cela fait 4 000 ans que la chicorée est utilisée comme plante médicinale, bien avant qu'on ne la consomme comme succédané de café. Elle est connue pour ses effets : tonique, dépurative et légèrement laxative, elle aide notamment à combattre les troubles gastriques et autres indigestions. Elle a également une action positive sur le système biliaire, tout comme des propriétés pré biotiques au niveau de l'intestin. Enfin, l'un des composants de sa racine, l'inuline, intéresse particulièrement les chercheurs.

Toutes les parties de cette plante sont utiles sur le plan pharmacologique en raison de la présence d'un certain nombre de composés importants en médecine, tels que les alcaloïdes, les flavonoïdes, l'inuline, les dérivés de l'acide caféique, les lactones sesquiterpéniques, les stéroïdes, les terpénoïdes, les composés volatils, les coumarines et les vitamines **(Abbas et al., 2015).** Elle possède des propriétés antioxydantes (**Kaur et al., 2016**), antibactériennes **(Faiku et al., 2016**), anti-inflammatoires **(Minaiyan et al., 2012)**, antidiabétiques (**Nishimura et al., 2015**) ainsi que d'autres effets pharmacologiques et thérapeutiques.

D'après la littérature **(Tableau….),** les espèces du genre *Cichorium* les plus étudiées sont *Cichorium intybus* et *Cichorium endivia*, ces especes sont bien connues pour leurs usages culinaires et médicinaux à l'échelle mondiale. *C. intybus* est particulièrement remarquable pour la diversité de ses applications : ses racines sont utilisées comme substitut de café, ses feuilles comme légume-feuille, et ses extraits sont étudiés pour leurs propriétés hépatoprotectrices, antioxydantes et anti-inflammatoires **(WHO, 2007 ; Street et al., 2013).** De même, *C. endivia*

est cultivée largement pour ses feuilles riches en fibres, vitamines et antioxydants **(Petropoulos et al., 2018).**

Au-delà de ces espèces cultivées, des taxons moins connus comme *C. spinosum* ou *C. calvum* sont traditionnellement consommés dans les régions méditerranéennes et nord-africaines comme légumes sauvages. Ces espèces représentent une ressource alimentaire locale potentiellement précieuse, riche en composés bioactifs, mais encore peu valorisée scientifiquement **(Papafilippaki et al., 2008 ; Bouazza et al., 2019).**

Certaines espèces, comme *C. glandulosum* et *C. bottae*, ont été explorées dans des contextes médicinaux traditionnels spécifiques, notamment en Chine et au Yémen. *C. glandulosum*, par exemple, est utilisée en médecine traditionnelle chinoise pour traiter les affections hépatiques, et des études récentes confirment la présence de composés bioactifs tels que les lactones sesquiterpéniques et les flavonoïdes (**Chen et al., 2015).** *C. bottae*, quant à elle, bien que peu exploitée, a révélé des activités antimicrobiennes et antioxydantes prometteuses **(Al-Fatimi et al., 2017).**

Cependant, malgré leur diversité, plusieurs espèces de *Cichorium* restent peu étudiées, et leur potentiel demeure largement sous-exploité. L'identification phytochimique et pharmacologique approfondie de ces espèces pourrait permettre la découverte de nouvelles molécules d'intérêt, ainsi que le développement de cultures alternatives adaptées aux régions arides ou semi-arides.

Tableau 9: Utilisations des espèces du genre *Cichorium*

Espece	Usages	Réference
Cichorium intybus	Améliorer la digestion Hépatoprotecteur Antidiabétique Consomée par l'homme	**El-Gengaihi et al. (2019)**
Cichorium endivia	Améliorer la digestion Antidiabétique Fourrage pour le bétail	**Kooti, W. et al. (2017).**
Cichorium pumilum	Utilisée localement comme plante fourragère et médicinale (peu étudiée)	**Tutin et al., 1976**
Cichorium spinosum	Légume traditionnel en Méditerranée ; riche en	**Papafilippaki et al., 2008**

	composés phénoliques ; potentiel médicinal	
Cichorium batae	Espèce endémique du Yémen peu utilisée mais étudiée pour sa composition chimique	**Al-Fatimi et al., 2017**
Cichorium glandulosum	Utilisée en médecine traditionnelle chinoise pour traiter les maladies du foie	**Chen et al., 2015**
Cichorium calvum	Plante sauvage comestible ; consommée traditionnellement en Afrique du Nord	**Bouazza et al., 2019**

II.4. Toxicité et précautions

Une consommation excessive de chicorée peut provoquer des ballonnements, des gaz et des éructations. De plus, elle peut entraîner des réactions allergiques, principalement cutanées. Il est important de noter que la chicorée peut interagir avec certains médicaments et n'est pas recommandée en cas de grossesse, d'allaitement, ou chez les enfants de moins de 12 ans.

La chicorée est contre-indiquée pour les personnes allergiques aux plantes de la famille des Astéracées et pour celles ayant des antécédents de calculs biliaires ou coliques néphrétiques. De plus, elle peut interagir avec des médicaments comme les anticoagulants, antidiabétiques, diurétiques, et les médicaments pour le reflux gastro-œsophagien. Il est essentiel de consulter un médecin avant une consommation régulière **(Pharma GDD, 2025)**

II.5. Conclusion :

En conclusion, le genre *Cichorium* illustre parfaitement l'interaction entre biodiversité, usages traditionnels et applications modernes. Il offre un large champ d'investigation pour les domaines de l'agriculture durable, de la nutrition fonctionnelle et de la pharmacognosie. Des recherches interdisciplinaires intégrant ethnobotaniques, chimie des substances naturelles et biotechnologies végétales sont nécessaires pour valoriser pleinement ce patrimoine végétal .

CHAPITRE III

Analyse chimique des espèces du genre

CHAPITRE III : Analyse chimique des espèces du genre *Cichorium*

III.1. Introduction

Le genre végétal *Cichorium*, appartenant à la sous-famille des *Cichorioideae* et à la famille des *Asteraceae*, regroupe plusieurs espèces reconnues et utilisées depuis l'Antiquité, tant en médecine traditionnelle que dans l'alimentation, telles que *Cichorium intybus*, *Cichorium endivia*, *Cichorium spinosum* et *Cichorium pumilum*. Ces espèces sont particulièrement riches en métabolites secondaires, tels que les acides phénoliques, les flavonoïdes, les lactones sesquiterpéniques et les composés amers **(Dalar & Konczak, 2014 ; Kisiel & Michalska, 2003)**. Les propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et hépatoprotectrices de ces molécules suscitent aujourd'hui un intérêt croissant pour leur valorisation en phytothérapie et dans le domaine de la nutraceutique. Cela dit, en fonction de l'espèce, de la partie de la plante étudiée (feuilles, racines, graines) et des méthodes d'extraction employées, la composition phytochimique peut varier **(**Mokni-Tlili et al., 2020**).**

Ainsi, l'étude approfondie du profil phytochimique et des voies métaboliques des espèces du genre *Cichorium* est essentielle pour valoriser leur utilisation en phytothérapie et dans l'industrie agroalimentaire.

III.2. Métabolites primaires

III.2.1. Définition

Le métabolisme étant défini comme l'ensemble des réactions biochimiques à l'origine de la transformation des molécules organiques au sein d'un organisme **(David gagneul, 2021).**

Les métabolites primaires sont des composés présents dans de nombreux organismes, impliqués directement dans la croissance, le développement et la reproduction. Ils jouent un rôle dans les fonctions physiologiques de l'organisme **(Benslama, 2015)**. Ces molécules sont les substrats, les intermédiaires ou les produits du métabolisme **(David gagneul, 2021).**

Les métabolites primaires sont communs pour toutes les espèces et peuvent être subdivisé aux protéines, glucides, lipides et acides nucléiques **(Sell, 2003).**

III.2.2. Métabolites primaires du genre *Cichorium*

Selon la bibliographie, Il existe que des études chimiques primaires qui ont été réalisée sur deux espèces du genre *Cichorium*. Ces études ont permis d'identifier des substances du métabolisme primaire : macronutriments qui sont les protéines les lipides et les glucides, et micronutriments qui sont les vitamines et les fibres alimentaires comme il illustre le **tableau10 (Barry, 1998 ; Koudela et K. Petrikova, 2007).**

Tableau 10 : Teneur en macronutriments de deux espèces du genre *Cichorium*

Métabolites primaires	**Espèce**	
	***C.intybus* (g)**	***C.endivia* (g)**
Acides aminés	0.016	NM
Protéines	0.9	0.5
Acides gras	0.024	NM
Lipides	0.1	0.07
Glucides	4	0.17

Le **tableau 10** présente les métabolites primaires (macronutriments) de deux espèces du genre *Cichorium*, à savoir *Cichorium intybus* et *Cichorium endivia*. Ces espèces sont reconnues pour leur richesse en composés bioactifs et leurs usages traditionnels variés, tant alimentaires que médicinaux.

Les résultats montrent que l'espèce *C.intybus* contient une quantité plus élevée de protéines (0.9g), de lipides (0.1g), de glucides (4g), d'acides gras (0.024g) et d'acides aminés (0.016g) par rapport à l'espèce *C.endivia*, dont les teneurs sont plus faibles pour ces mêmes métabolites. Cela indique que *C.intybus* pourrait représenter une source nutritionnelle plus intéressante, notamment en ce qui concerne l'apport énergétique et protéique.

En revanche, certaines données ne sont pas mesurées (n.m) chez *C. endivia*, comme les acides aminés et les acides gras. Cette absence peut être due soit à des concentrations très faibles, soit à un manque d'analyse dans la source consultée

La richesse en glucides observée chez *C.intybus* (4g) peut contribuer à un apport calorique significatif, ce qui est en accord avec son utilisation traditionnelle comme aliment

tonique. De plus, la présence d'acides aminés et d'acides gras, même en faibles quantités, peut jouer un rôle dans ses effets physiologiques bénéfiques.

Ces résultats suggèrent que *Cichorium intybus* possède un profil nutritionnel plus complet comparé à *Cichorium endivia*, ce qui renforce son intérêt dans les domaines de la nutrition et de la phytothérapie.

III.3.Métabolites secondaires

III.3.1.Définition

Les métabolites secondaires sont des substances organiques complexes synthétisées et accumulées par les plantes en petites quantités et variant selon les espèces **(Marouf et Reynaud, 2007)**. Ces substances ne participent pas directement à la croissance, au développement ou à la reproduction de la plante comme les métabolites primaires (**Seigler 2012),** mais elles interviennent dans les interactions avec l'environnement, comme la défense contre les herbivores et pathogènes ou l'attraction des pollinisateurs. Elles sont exploitées en pharmacologie et agroalimentaire pour leurs propriétés antioxydants, antimicrobiennes, anti-inflammatoires, anticancéreuses, antifongiques et analgésiques (Harborne, 1998 *;* Wink, 2010).

Les métabolites secondaires sont des produits basés sur le carbone, elles peuvent être subdivisés aux terpènes, Composées phénoliques et alcaloïdes **(Sell, 2003).** Ces molécules, extrêmement variées, ont conduit à des tentatives de classification chimique des plantes, connue sous le nom de chimiotaxonomie. Cette approche consiste à établir des corrélations entre la présence de certains types de métabolites secondaires et les catégories taxonomiques **(Bajaj, 1999).**

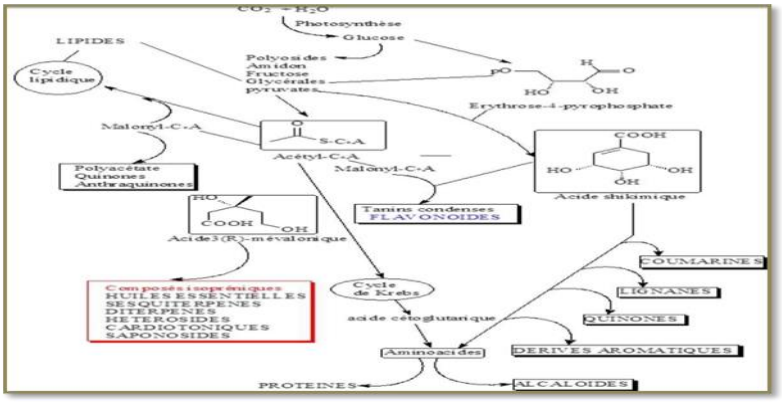


Figure 15: Voies du métabolisme secondaire des plantes qui produisent les trois types généraux de composés secondaires : produits azotés, composés phénoliques et terpénoïdes (**Zater H, 2017**).

III.3.2.Métabolites secondaires du genre *Cichorium*

Selon la bibliographie, le genre *Cichorium* a fait l'objet de nombreuses études phytochimiques secondaires. Ces travaux ont permis l'isolement de flavonoïdes tels que la lutéoline, l'apigénine et la quercétine **(Abbas et al., 2015),** de composés acétyléniques **(Seto et al., 1988),** de quelques alcaloïdes **(Seto et al., 1988**), ainsi que de lactones sesquiterpéniques telles que la lactucopicrine et la 8-désoxylactucine **(Shah et al., 2014),** et des huiles essentielles contenant des composés comme le carvacrol et le thymol **(Śliwińska et al., 2021).**

III.3.2.1. Les composés phénoliques

Dans l'étude des polyphénols des espèces du genre *Cichorium,* on a souvent recouru à des techniques d'extraction, de séparation chromatographique et d'analyse spectroscopique standardisées.

Les extraits ont été obtenus par macération successive dans différents solvants polaires et semi-polaires (méthanol, éthanol, eau, n-butanol et acétate d'éthyle), puis les extraits phénoliques ont été analysés par chromatographie liquide (HPLC-DAD-ESI-MS/MS), et les stérols et hydrocarbures par chromatographie en phase gazeuse **(Hegazy et al., 2015 ; Mascherpa et al., 2012).**

Le tableau ci-après expose les différents principaux solvants utilisés pour l'extraction des composés bioactifs issus des espèces du genre *Cichorium* et les techniques analytiques les plus couramment mobilisées pour leur identification et leur quantification.

Tableau 11 : Solvants d'extraction et techniques analytiques utilisées

Solvants d'extraction utilisés	Techniques analytiques principales
Méthanol, éthanol, eau, acétate d'éthyle, n-butanol, éther de pétrole	HPLC-DAD-ESI-MS/MS (polyphénols), GC (composés volatils, terpènes)

III.3.2.2Les acide phénoliques des espèces du genre *Cichorium*

Les acides phénoliques constituent une sous-classe majeure de composés phénoliques, largement présents dans les plantes supérieures. Ils sont principalement classés en **acides hydroxybenzoïques** (comme l'acide gallique, l'acide syringique) et **acides hydroxycinnamiques** (tels que l'acide caféique, l'acide férulique, l'acide chicorique), et sont reconnus pour leurs propriétés **antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes (Harborne, 1998 ; Fraga-Corral et al., 2021).**

Chez les espèces du genre *Cichorium*, plusieurs études ont permis d'isoler et de quantifier différents acides phénoliques dans les racines, les feuilles ou les inflorescences, à des concentrations variables selon les méthodes analytiques **utilisées (Petropoulos et al., 2018 ; Yang et al., 2024)**. Ces composés contribuent directement à l'activité biologique des plantes et à leur potentiel thérapeutique dans les domaines de la phytothérapie, de la nutrition fonctionnelle, et de la dermatologie **(Chaudhary et al., 2019).**

Tableau 12 : Principaux acides phénoliques identifiés dans les espèces de *Cichorium*

Espèce	Acides phénoliques identifiés	Concentration (mg/100g)	Référence
Cichorium intybus	Acide chicorique, acide caftarique, acide chlorogénique, acide férulique, acide syringique	116,90–385,93 mg/100g poids frais (feuilles non forcées) ; 60,38–139,28 mg/100g poids frais (feuilles forcées)	Sinkovič et al. (2014)
Cichorium endivia	Acide gallique, acide pyrogalique, acide chlorogénique, acide p-hydroxybenzoïque, acide férulique	86,26 (pyrogalique), 44,03 (chlorogénique), 1,55 (férulique) mg/100g poids frais	Hegazy et al. (2015)
Cichorium spinosum	Acide chicorique, acide caféique, acide férulique, acide p-coumarique, acide 3,5-di-O-caféoylquinique	377,22 ± 5,42 mg/100g poids frais (teneur totale en composés phénoliques)	Petropoulos et al. (2018)
Cichorium pumilum	Acide gallique, acide pyrogalique, acide caféique, acide vanillique, acide cinnamique, acide férulique, acide protocatéchique	151,1 (acide gallique), 140,2 (acide pyrogalique), 131,8 (acide caféique), 98,7 (acide vanillique), 95,5 (acide cinnamique), 75,6 (acide férulique), 42,3 (acide protocatéchique) µg/g poids sec	Joudeh et al. (2020)
Cichorium glandulosum	Acide férulique, acide chicorique, acide chlorogénique, acide dicaffeoylquinique	816,7–906,4 mg/100g poids sec (teneur totale en composés phénoliques) ; 11,50–187,1 mg/100g poids sec (acides phénoliques)	Yang et al. (2024)

Discussion

L'analyse comparative des espèces du genre *Cichorium* révèle une diversité notable en termes de composition et de concentration en acides phénoliques. *Cichorium intybus* présente une concentration élevée en acide chicorique, un composé reconnu pour ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires **(Sinkovič et al., 2014).** *Cichorium endivia* se distingue par des teneurs significatives en acide pyrogalique et en acide chlorogénique, contribuant à son potentiel antioxydant **(Hegazy et al., 2015).**

- *Cichorium spinosum* affiche une teneur totale élevée en composés phénoliques, bien que les concentrations individuelles des acides spécifiques ne soient pas détaillées **(Petropoulos et al., 2018).**
- *Cichorium pumilum* contient divers acides phénoliques en quantités mesurables, notamment l'acide gallique et l'acide pyrogalique, indiquant un potentiel antioxydant appréciable **(Joudeh et al., 2020).**
- *Cichorium glandulosum* présente une teneur totale élevée en composés phénoliques, avec des concentrations variables en acides spécifiques, suggérant une richesse en composés bioactifs **(Yang et al., 2024).**

Ces variations interspécifiques en termes de composition phénolique soulignent l'importance de chaque espèce dans le contexte de la phytothérapie et de la nutrition fonctionnelle

III.3.2.1.1. Les flavonoïdes

a) Définition

Les flavonoïdes sont des métabolites secondaires des plantes constituent un large groupe de composés poly phénoliques**.** Ils sont caractérisés par une structure de base de type C6–C3–C6, et sont généralement classés en plusieurs sous-familles en fonction du degré d'oxydation et du motif de substitution du cycle central.

Les principales classes de flavonoïdes sont : les flavones, les flavonols, les flavanones, les flavanols (ou catéchines), les anthocyanidines, les chalcones et les isoflavones et chaque classe possède des propriétés bioactives distinctes jouant un rôle important dans la défense des plantes et offrant divers effets bénéfiques sur la santé humaine **(Middleton, Kandaswami & Theoharides, 2000 *;* Harborne & Williams, 2000 ; Chen et al., 2023).**

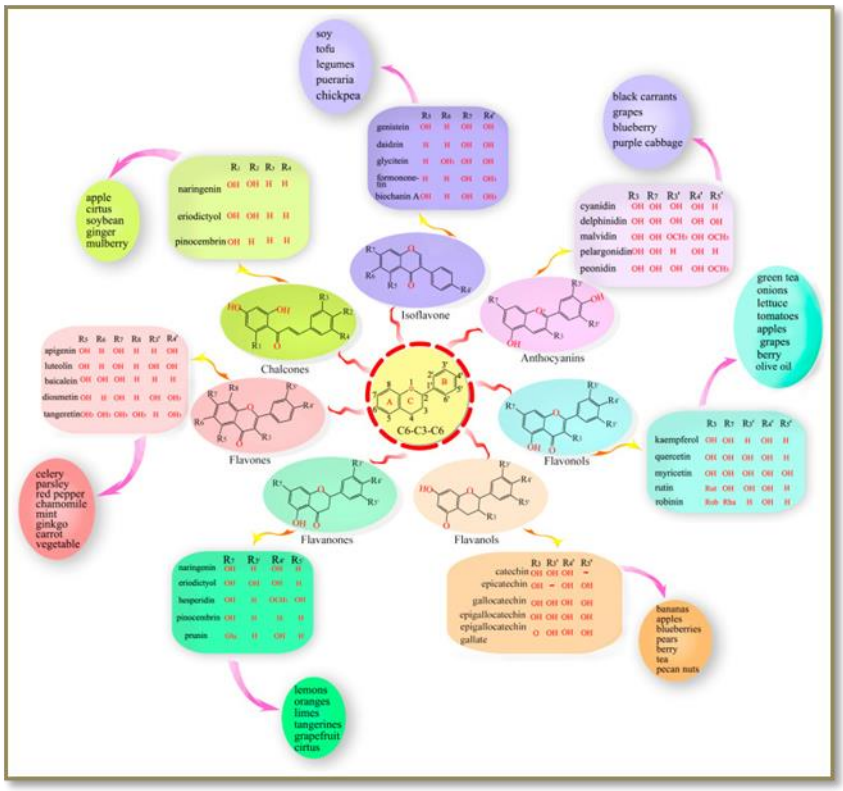
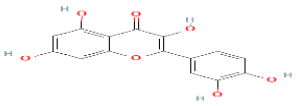
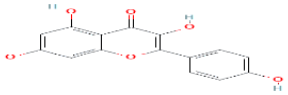


Figure16 : Classification des flavonoïdes selon Chen et al. (2023)

b) Les flavonoïdes du genre *Cichorium*

Des études phytochimiques réalisées sur le genre *Cichorium* ont montré la richesse de ce dernier en flavonoïdes. Le tableau 13 regroupe la teneur et la structure des flavonoïdes isolés à partir des extraits de quelques espèces du genre *Cichorium* provenant de différentes régions du monde

Tableau 13 : Les flavonoïdes identifiés dans les espèces étudiées du genre *Cichorium*

Espèce	Partie étudié	Flavonoïde identifié	Structure	Quantité	Reference
Cichorium intybus	Feuille	Quercétine		90.04-97.88 mg/100g PF	**Bais et al., 2016**
		Kaempférol		12.35 - 22.80 mg/100g PF	

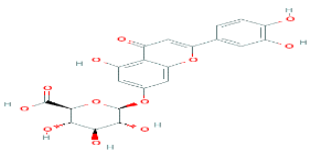
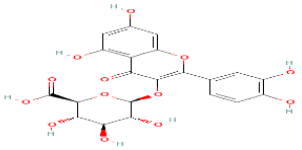
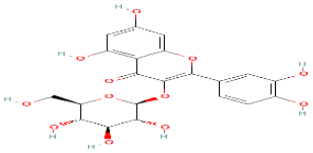
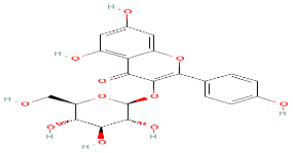
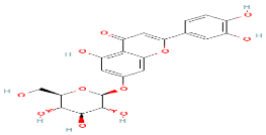
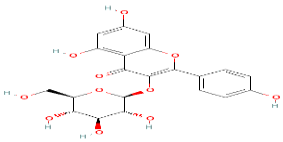
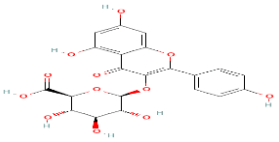
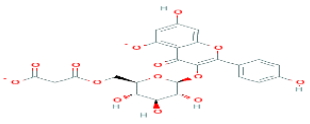
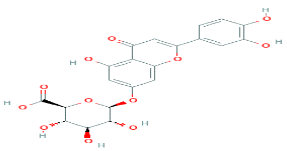
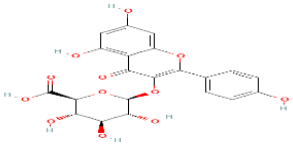
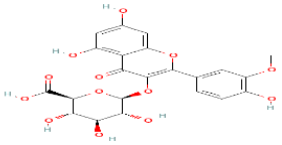
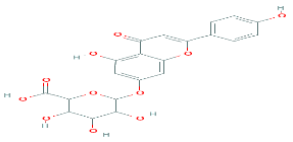
		Lutéoline 7-O-glucuronide		Non precise	**Ferreres et al., 2005**
		Quercétine 3-O-glucuronide		Non precise	
		Quercétine 3-O-glucoside		6.9 - 100.8 mg/100g PF	**Abu-Reidah et al., 2015**
		Kaempférol 3-O-glucoside		7.5 - 42.5 mg/100g PF	
		Lutéoline 7-O-glucoside		4.6 - 35.7 mg/100g PF	

Tableau 14 : Les flavonoïdes identifiés dans les espèces étudiées du genre *Cichorium* **(suite)**

Espèce	**Partie étudié**	**Flavonoïde identifié**	**Structure**	**Quantité**	**Reference**
Cichorium endivia	Feuilles	Kaempférol 3-O-glucoside		Non précisé	**Mascherpa et al., 2012**
		Kaempférol 3-O-glucuronide		Non précisé	

		Kaempférol 3-O-(6-O-malonyl) glucoside		Non précisé	
		Lutéoline 7-O-glucuronide		Non précisé	
Cichorium spinosum	Feuilles	Kaempférol 3-O-glucuronide		Non précisé	**Petropoulos et al., 2018**
		Isorhamnétine 3-O-glucuronide		Non précisé	
		Apigénine-O-glucuronide		Non précisé	

Les résultats présentés dans **le tableau 14** montrent que les plantes du genre *Cichorium,* notamment *Cichorium intybus*, *Cichorium endivia* et *Cichorium spinosum*, contiennent une grande variété de flavonoïdes, en particulier au niveau des feuilles, ce qui reflète leur richesse chimique et leur potentiel biologique.

Pour l'espèce *Cichorium intybus*, des teneurs relativement élevées en quercétine ont été enregistrées, allant de 90,04 à 97,88 mg/100 g de matière fraîche, indiquant une richesse en antioxydants.

D'autres composés tels que le kaempférol, la lutéoline et leurs dérivés glycosidiques et glucuronidiques ont également été identifiés, soulignant la diversité flavonoïdique marquée de cette espèce.

Concernant *Cichorium endivia*, bien que les quantités ne soient pas précisées, la présence de divers dérivés du kaempférol et de la lutéoline suggère des propriétés biologiques potentielles similaires à celles de *C. intybus*, notamment des effets anti-inflammatoires et

antioxydants. Quant à *Cichorium spinosum*, la présence de flavonoïdes plus rares comme l'isorhamnétine 3-O-glucuronide et l'apigénine-O-glucuronide pourrait indiquer des propriétés spécifiques à cette espèce, méritant une investigation plus approfondie.

Il est également à noter que la majorité des études se sont concentrées sur les feuilles, ce qui suggère qu'il s'agit de la partie la plus riche en flavonoïdes chez ces plantes. La variation des concentrations entre les composés et entre les espèces peut être attribuée à des facteurs génétiques, environnementaux, ainsi qu'aux conditions de culture.

Ces résultats confirment que les plantes du genre *Cichorium* représentent une source riche et variée de flavonoïdes, soutenant leur usage potentiel dans les domaines nutritionnels et pharmaceutiques en tant qu'antioxydants naturels.

III.3.2.1.2. Les tanins

a) Définition

Les tanins sont des métabolites secondaires de nature polyphénolique, largement présents dans le règne végétal. Ce sont des composés hydrosolubles, de poids moléculaire moyen à élevé, capables de **former des complexes stables avec les protéines, les polysaccharides et certains minéraux**, ce qui leur confère une activité biologique variée **(*Fraga-Corral et al., 2021* ; *Kawakami et al., 2005*).**

Sur le plan chimique, les tanins sont classés en deux grandes familles :

- **les tanins hydrolysables**, constitués d'esters d'acide gallique ou ellagique avec un polyol (souvent le glucose),
- **les tanins condensés** (ou proanthocyanidines), qui sont des polymères de flavan-3-ols (ex. catéchines).

Ces composés jouent un rôle de **défense chimique** chez les plantes contre les herbivores et les agents pathogènes. Ils sont également reconnus pour leurs **propriétés antioxydantes**, **astringentes**, **anti-inflammatoires** et **antimicrobiennes**, ce qui en fait des cibles importantes pour les applications en **pharmacologie**, **cosmétique** et **agroalimentaire (Scalbert, 1991 ; Fraga-Corral et al., 2021).**

b) Les tanins du genre *Cichorium*

Les tanins, principalement des tanins condensés, sont également présents dans les plantes de *Cichorium*, bien qu'ils soient moins étudiés que les acides phénoliques et les

flavonoïdes. Ces composés ont des propriétés antioxydantes et astringentes, et sont souvent associés à des effets bénéfiques sur la digestion et la santé intestinale. Les tanins présents dans le *Cichorium intybus* sont considérés comme ayant des effets modérés dans la réduction de l'irritation intestinale et la régulation des troubles digestifs (**Nayak et al., 2009).**

Tableau 15 : Teneur en tanins (%) selon les espèces de *Cichorium*

Espèce	Partie analysée	Teneur en tanins (% poids sec)	Méthode d'extraction	Référence
C. intybus	Feuilles	0,059 % (0,59 mg/g)	Hydroalcoolique	**Ansari et al., 2015**
		1,08 %	Éthanol 50% (10min)	**Dzharov et al., 2016**
		1,39 %	Éthanol 50% (120)	
	Racines	0,052 % (0,52 mg/g)	Non spécifiée	**Sharma et al., 2022**
C.endivia	Feuilles	Données non disponibles	—	—
C.glandulosum	Parties aériennes	Données non disponibles	—	—
C.spinosum	Feuilles	Données non disponibles	—	—

Les données disponibles sur la teneur en tanins sont principalement pour *Cichorium intybus*. Les informations spécifiques pour d'autres espèces du genre *Cichorium* sont limitées ou non disponibles dans la littérature actuelle.

Les variations de teneur en tanins peuvent être influencées par plusieurs facteurs, notamment la partie de la plante analysée, le stade de développement, les conditions de culture et la méthode d'extraction utilisée.

III.3.2.1.3. Les saponines

a)Définition

Les saponines sont des **métabolites secondaires amphiphiles** d'origine végétale, composés de deux parties : une **aglycone (sapogénine)** de nature stéroïdique ou triterpénique, et une ou plusieurs **chaînes glucidiques** (oses) attachées par liaison glycosidique. Cette structure confère aux saponines une **propriété tensioactive**, leur permettant de **former des mousses stables en solution aqueuse**, d'où leur nom dérivé du latin *sapo* (savon) **(Hostettmann & Marston, 1995 ; Sparg et al., 2004).**

On distingue principalement :

- les **saponines triterpéniques**, fréquentes dans les dicotylédones,
- et les **saponines stéroïdiennes**, plus présentes dans les monocotylédones.

Chez les plantes, les saponines jouent un rôle de défense naturelle contre les parasites, champignons et insectes. Elles sont également connues pour leurs **effets hémolytiques**, **anti-inflammatoires**, **immunomodulateurs**, **antitumoraux** et **antimicrobiens**, ce qui les rend particulièrement intéressantes en pharmacologie et en nutraceutique **(Vincken et al., 2007).**

b) Les saponines du genre *Cichorium*

Les saponines sont une classe de composés naturels amphiphiles, formés d'une aglycone (appelée sapogénine) liée à une ou plusieurs chaînes de sucres. Elles sont largement distribuées dans le règne végétal, notamment dans les légumineuses, les plantes médicinales et certaines espèces du genre *Cichorium*. Ces molécules doivent leur nom à leur capacité à former une mousse stable dans l'eau, similaire au savon.

Les saponines sont classées en deux grands types selon la nature de leur aglycone : les saponines stéroïdiennes (présentes dans les monocotylédones) et les saponines triterpéniques (plus fréquentes dans les dicotylédones, comme *Cichorium intybus*.

Elles présentent un intérêt pharmacologique considérable grâce à leurs activités biologiques multiples, notamment antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes, hépato-protectrices, hypocholestérolémiantes et anticancéreuses **(Augustin et al, 2011).**

Tableau 16 : Teneur en saponines des espèces étudiées du genre *Cichorium*

Espece	Partie de la plante étudiée	Méthode d'extraction	Teneur en saponines	Réference
Cichorium intybus	Feuilles	Extraction hydroalcoolique	0,18 ± 0,06 mg/g	**Abbas et al. (2015)**
	Parties aériennes	Extraction méthanolique	Non spécifiée	**Butnariu et al. (2021)**
	Herbe entière	Non spécifiée	Non spécifiée	**Elsayed et al. (2020)**
	Racines	Extraction ultrasonique	Non spécifiée	**Zarroug et al. (2020)**

III.3.2.1.3. Les lignanes

a) Définition

Les lignanes sont une classe de **métabolites secondaires phénoliques** issus de la **dimérisation de deux unités de phénylpropanoïdes** (C6–C3), généralement dérivées de l'acide cinnamique. Cette structure unique leur confère des propriétés biologiques particulières. Les lignanes sont largement distribués dans le règne végétal, notamment dans les **graines**, les **tiges**, les **racines** et l'**écorce** de nombreuses espèces **(Ayres & Loike, 1990 ; Durant & Lelley, 1997).**

Sur le plan chimique, ils sont caractérisés par la présence d'un **noyau dibenzylbutane** ou de structures apparentées. Certaines lignanes, appelées **sécolignanes**, résultent d'une ouverture oxydative de l'un des cycles aromatiques.

Les lignanes sont connus pour leurs **activités antioxydantes**, **œstrogéniques (phytoestrogènes)**, **antivirales**, **anticancéreuses**, et **anti-inflammatoires**, et attirent un intérêt croissant en nutraceutique et en oncologie, en particulier ceux retrouvés dans les graines de lin (*Flaxseed*, riche en **secoisolariciresinol diglucoside**) (**Adlercreutz, 2007 ; Pan et al., 2009**).

b) Les lignanes du genre *Cichorium*

Bien que moins étudiés que les autres composés, les lignanes sont également présents dans les espèces de *Cichorium*. Ces composés phénoliques sont connus pour leurs effets antioxydants et anti-cancéreux, et sont impliqués dans la régulation hormonale et la réduction du risque de certains types de cancers **(Rossi et al., 2015).**

III.3.2.2. Les composés terpéniques

Les composés terpéniques présents dans les espèces du genre *Cichorium* (notamment *Cichorium intybus*, la chicorée) sont responsables de certaines de leurs propriétés médicinales et aromatiques. Ces composés appartiennent à différents groupes de terpènes, tels que les monoterpènes, les sesquiterpènes, et les diterpènes, et sont principalement trouvés dans les huiles essentielles des feuilles, racines et fleurs de ces plantes (**Bouaziz et al., 2017 ; Kushwaha et al., 2016**).

III.3.2.2.1.Les monoterpenes

a) Définition

Les monoterpènes sont des **composés organiques volatils** appartenant à la famille des **terpènes**, constitués de deux unités d'isoprène, soit une formule moléculaire générale de **C10H16**. Ils représentent la **plus petite classe** des terpènes et sont couramment retrouvés dans les **huiles essentielles** de nombreuses plantes aromatiques **(Croteau et al., 2000 ; Gershenzon & Dudareva, 2007).**

Selon leur structure chimique, les monoterpènes peuvent être :

- **acycliques** (ex. myrcène),
- **monocycliques** (ex. limonène),
- ou **bicycliques** (ex. pinène).

Ces composés jouent un rôle important dans la **défense des plantes** contre les herbivores et les pathogènes, ainsi que dans la **communication chimique** entre plantes et insectes pollinisateurs. En pharmacologie, les monoterpènes sont étudiés pour leurs **activités antioxydantes**, **anti-inflammatoires**, **antimicrobiennes**, **analgésiques** et parfois **antitumorales**, ce qui les rend très utilisés dans l'industrie pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire **(Bakkali et al., 2008 ; De Cássia et al., 2014).**

b) Les monoterpènes du genre *Cichorium*

Les monoterpènes sont les terpènes les plus simples et sont souvent responsables des arômes caractéristiques des plantes. Dans *Cichorium intybus*, certains monoterpènes ont été identifiés, comme le limonène, qui a des propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Ce monoterpène, fréquemment retrouvé dans de nombreuses plantes, possède des effets antioxydants, anti-inflammatoires, et anticancéreux **(Bouaziz et al., 2017).**

Tableau 17 : Les monoterpenes identifiés dans les espèces étudiées du genre *Cichorium*

Espece	Monoterpène	Concentration (%)	Partie de la plante	Type d'étude	Référence
Cichorium intybus	Carvacrol	50.1%	Parties aériennes	Analyse GC-MS	**Bourebaba et al., 2021**
	Thymol	13.3%			
	Camphor	4.4%			
	Carvone	4.1%			
	Linalool	3.9%			
	α-Terpineol	2.1%			
	1,8-Cineole	≤1.0%			
	Limonene	3.38%	Parties aériennes	Analyse GC-MS	**Gharzouli et al., 2021**
	γ-Terpinene	1.14%			
	Linalool	0.85%			
	Camphor	20.74%	Racines	Analyse GC-MS	**Perovic et al., 2021**
	γ-Terpinene	13.24%			
	Cymene	15.06%			

Le tableau présenté met en évidence la diversité des monoterpènes identifiés dans différentes espèces du genre *Cichorium*, principalement *Cichorium intybus*. L'analyse des huiles essentielles par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) révèle une richesse remarquable en composés volatils aux propriétés biologiques intéressantes.

Le carvacrol et le thymol sont les monoterpènes dominants dans les parties aériennes, avec des concentrations respectives de 50,1 % et 13,3 %, indiquant une activité antimicrobienne potentielle élevée. Ces composés sont connus pour leurs effets anti-inflammatoires, antioxydants et antiseptiques.

Le camphre, le carvone et le linalol sont également présents dans des proportions modérées, ce qui renforce le potentiel thérapeutique de ces extraits. Le camphre, quant à lui, est retrouvé à une concentration élevée (20,74 %) dans les racines, ce qui suggère une variation chimique selon la partie végétale étudiée.

L'identification du limonène, du γ-terpinène et du cymène dans plusieurs échantillons confirme la complexité du profil terpénique des *Cichorium*. Ces composés sont souvent associés à des effets relaxants, antifongiques et protecteurs du foie.

En somme, la richesse en monoterpènes des espèces de *Cichorium* témoigne de leur potentiel pour des applications pharmacologiques et thérapeutiques variées.

III.3.2.2.2.Les sesquiterpene

a) Définition

Les sesquiterpènes sont une classe de **terpènes** constituée de **trois unités d'isoprène**, soit une formule moléculaire générale de **C15H24**. Ils représentent un groupe de composés **lipophiles** et souvent volatils, retrouvés majoritairement dans les **huiles essentielles** de nombreuses espèces végétales **(Bakkali et al., 2008 *;* Gershenzon & Dudareva, 2007).**

Structurellement, les sesquiterpènes peuvent être :

- **acycliques**,
- **monocycliques** ou **bicycliques**,
- ou encore **fonctionnalisés** (alcool, cétone, lactone…).

Certains sesquiterpènes subissent des **modifications oxydatives** pour donner naissance à des **sesquiterpènes lactones**, qui sont très étudiées pour leurs activités biologiques.

Sur le plan biologique, les sesquiterpènes sont impliqués dans :

- La **défense des plantes** contre les herbivores et pathogènes,
- La **communication interspécifique** (par des signaux volatils),
- Et la **répulsion des insectes**.

En pharmacologie, ils sont reconnus pour leurs **propriétés anti-inflammatoires**, **antitumorales**, **antimicrobiennes**, et **cytotoxiques (Chadwick et al., 2013 *;* Saxena et al., 2013).**

Les sesquiterpènes peuvent être classés selon leur structure chimique en plusieurs groupes :

- Les sesquiterpènes acycliques : ce sont des molécules linéaires, comme le farnésène.
- Les sesquiterpènes monocycliques : contiennent un seul cycle, comme le zingibérène présent dans le gingembre.
- Les sesquiterpènes bicycliques : comportent deux cycles, comme le caryophyllène.
- Les sesquiterpènes tricycliques : possèdent trois cycles, comme le longifolène retrouvé dans la térébenthine **(Bohlmann et Zdero, 1981)**

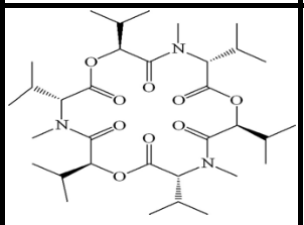
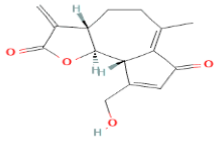
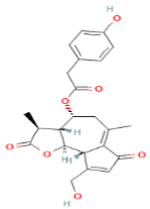
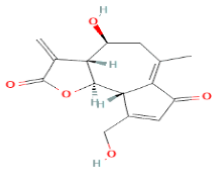
Les sesquiterpènes jouent plusieurs rôles essentiels dans les plantes :

- Défense contre les herbivores et les pathogènes : certaines molécules agissent comme répulsifs ou toxines.
- Attraction des pollinisateurs : ils contribuent à la production des arômes floraux. Allélopathie : ils peuvent inhiber la croissance d'autres plantes dans leur environnement.
- Activités biologiques variées : plusieurs sesquiterpènes présentent des propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes ou antitumorales **(Schmidt et al., 2010)**

b) **Les sesquiterpenes du genre *Cichorium***

Le genre *Cichorium,* notamment l'espèce *Cichorium intybus* (chicorée), est riche en lactones sesquiterpéniques, des métabolites secondaires appartenant principalement aux types guaianolide et germacranolide. Parmi les composés identifiés, on retrouve la lactucopicrine, la lactucine, la 8-désoxylactucine et leurs dérivés, qui sont responsables de l'amertume caractéristique de la plante et possèdent des propriétés biologiques notables.

Tableau 18 : Les sesquiterpènes identifiés dans les espèces étudiées du genre *Cichorium*

Espèce	Partie étudié	Sesquiterpène identifié	Structure	Formule formule chimique	Reference
Cichorium intybus	Racines	Intybusin B		C23H22O7.	**Li et al., 2022** **Zhang et al., 2024-2007**
		8-Deoxylactucine		C15H16O4	
		11B,13-Dihydrolactucopicrine		C23H24O7	
Cichorium glandulosum	Parties aériennes	Lactucine		C15H16O5	**Zhang et al., 2007**

Le tableau si dessous présente les sesquiterpènes identifiés dans différentes espèces du genre *Cichorium*, notamment *Cichorium intybus* et *Cichorium glandulosum*.

Les sesquiterpènes identifiés dans les espèces du genre *Cichorium* montrent une diversité chimique importante et des propriétés pharmacologiques intéressantes. En particulier, les dérivés de la lactucine et de la lactucopicrine suggèrent un potentiel d'utilisation dans les domaines de la phytothérapie et de la médecine traditionnelle. Toutefois, la diversité structurelle

et les variations dans les espèces et les parties des plantes étudiées soulignent l'importance de standardiser les méthodes d'extraction et d'analyse pour obtenir des résultats cohérents.

L'intégration de ces résultats dans des études plus approfondies pourrait aider à mieux comprendre les mécanismes d'action de ces sesquiterpènes et à évaluer leur potentiel dans des applications cliniques.

III.3.2.2.3.Les ditérpenes

a) Définition

Les diterpènes sont des **composés terpéniques** formés par l'assemblage de **quatre unités d'isoprène** (soit une formule brute de **C20H32**), produits dans les plantes à partir du géranylgéranyl-pyrophosphate (GGPP), un précurseur central de la voie des isoprénoïdes **(Bohlmann et al., 1998 *;* Tholl, 2015).**

Ils constituent un groupe **structurellement diversifié**, pouvant être linéaires, cycliques, ou fortement oxydés. Ils sont largement présents dans les **résines**, **latex**, **feuilles**, **écorces**, ou encore **racines** de nombreuses espèces végétales.

Sur le plan biologique, les diterpènes remplissent plusieurs fonctions clés :

- **Défense contre les herbivores et pathogènes**, notamment dans les conifères (ex. acide abietique),
- **Régulation hormonale**, comme les gibbérellines (régulateurs de croissance),
- **Activité médicinale**, certains agissant comme anti-inflammatoires, anticancéreux ou antipaludiques (ex. taxol, forskoline).

En raison de leurs propriétés bioactives, les diterpènes suscitent un intérêt croissant en **pharmacologie**, **cosmétique** et **agro-industrie (*Shen et al., 2020*).**

b) Les diterpènes du genre *Cichorium*

Les diterpènes dans le genre *Cichorium* n'ont pas été largement étudiés que les monoterpènes et les sesquiterpènes. Néanmoins, certains diterpènes pourraient être impliqués dans les effets médicinaux de la plante (**Mazza et al., 2014).**

Tableau 19 : Étude des diterpènes et autres composés chimiques dans les espèces de Cichorium

Nom du compose	Classe chimique	Source (espèce / organe)	Structure chimique	Références
Lactucine	Sesquiterpène lactone	C. intybus (racines)	C15H16O4	Meng et al., 2016, Ripoll et al., 2007
11β,13-Dihydrolactucopicrine	Sesquiterpène lactone	C. intybus (racines)	C22H28O6	Ripoll et al., 2007
8-Deoxylactucine	Sesquiterpène lactone	C. intybus (racines)	C15H16O3	Meng et al., 2016
Cichorine F	Anthraquinone	C. intybus (plante entière)	C15H10O4	Ali et al., 2020
Taraxastérol	Triterpénoïde	C. intybus (racines)	C30H50O	Zhang & Li, 2001
Lupeol	Triterpénoïde	C. intybus (racines)	C30H50O	Liu et al., 2022
β-Sitostérol	Stéroïde végétal	C. intybus, C. glandulosum	C29H50O	Liu et al., 2022, Zhang & Li, 2001
Cichorine D et E	Dérivés naphtaléniques	C. intybus (plante entière)	C15H10O4 (D), C15H12O5 (E)	Ali et al., 2020
Glandulosine E	Sesquiterpène lactone	C. glandulosum (racines)	C20H28O5	Meng et al., 2019
Cichoridiol	Triterpénoïde	C. intybus (graines)	C30H50O2	Liu et al., 2022

III.3.2.2.4.Les tetraterpénes

a)Définition des tétraterpènes

Les tétraterpènes sont une classe de composés organiques naturels formés de huit unités isopréniques, totalisant 40 atomes de carbone. Ils jouent un rôle essentiel dans la biosynthèse

des caroténoïdes, tels que le β-carotène, qui sont des pigments responsables de la coloration rouge, orange ou jaune chez de nombreuses plantes et certains micro-organismes **(Nisar et al., 2015).** Ces composés présentent également des activités biologiques intéressantes, notamment des propriétés antioxydantes, anticancéreuses et immunomodulatrices **(Rodriguez-Amaya, 2016)**. Leur structure lipophile leur permet de s'insérer dans les membranes cellulaires, où ils protègent contre les dommages oxydatifs **(Stahl & Sies, 2003).**

b) Tétraterpènes des espèces de Cichorium

Des études phytochimiques ont révélé la présence de tétraterpènes, notamment des caroténoïdes, dans certaines espèces du genre *Cichorium*. Ces composés, tels que le β-carotène et la lutéine, jouent un rôle important dans la photoprotection et l'activité antioxydante des plantes. Chez *Cichorium intybus*, par exemple, ces pigments contribuent à la couleur des feuilles et exercent des effets bénéfiques sur la santé humaine grâce à leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires **(Mulabagal et al., 2009).**

Tableau 20 : les tétraterpènes identifiés dans différentes espèces du genre **Cichorium*

Espèce	Tétraterpène	Structure chimique	Rôle biologique	Référence
Cichorium intybus	β-carotène	C40H56, chaîne polyénique linéaire	Antioxydant, précurseur de la vitamine A	Mulabagal et al., 2009
Cichorium endivia	Lutéine	C40H56O2, caroténoïde xanthophyllique	Protection contre le stress oxydatif	Barros et al., 2011

Les données sur d'autres espèces du genre Cichorium sont actuellement limitées, ce qui souligne la nécessité de recherches supplémentaires pour explorer leur composition en tétraterpènes.

III.3.2.2.5. Les huiles essentielles

a) Définition

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés organiques volatils extraits de différentes parties de plantes aromatiques (fleurs, feuilles, écorces, racines, etc.) par des procédés physiques tels que la distillation à la vapeur d'eau, l'expression à froid ou l'extraction par solvants. Elles sont principalement constituées de monoterpènes, sesquiterpènes et de leurs dérivés oxygénés (alcools, cétones, esters, etc.), ce qui leur confère des propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, anti-inflammatoires et parfois sédatives **(Bakkali et al., 2008; Burt, 2004).**

Selon la définition normalisée par l'**Organisation internationale de normalisation**, une huile essentielle est un produit obtenu à partir d'une matière première végétale par distillation à la vapeur d'eau, par un procédé mécanique approprié sans chauffage, ou par distillation sèche.

b) Les huiles essentielles du genre *Cichorium*

Plusieurs études ont mis en évidence la présence d'huiles essentielles contenant des composés volatils bioactifs. Ces huiles sont principalement composées de monoterpènes (comme l'α-pinène et le limonène) et de sesquiterpènes (comme le β-caryophyllène et le germacrène D), qui varient selon la partie de la plante analysée et la méthode d'extraction **(Bais et al., 2002 ; Zhang & Liu, 2007).**

La composition chimique des huiles essentielles du genre *Cichorium* semble influencée par plusieurs facteurs, notamment la saison de récolte, la localisation géographique, et le stade phénologique de la plante **(Isman, 2000).** En raison de leurs propriétés antibactériennes, anti-inflammatoires et antioxydantes, ces huiles suscitent un intérêt croissant dans les domaines de la phytothérapie et de l'industrie agroalimentaire **(Mimica-Dukić et al., 2010).**

Tableau 21 : Composition chimique des huiles essentielles des espèces du genre *Cichorium*

Espèce	Partie analysée	Composé identifié	Concentration	Référence
C. intybus	Racine	Germacrène D	6.42 %	Bais et al., 2002
	Racine	α-Humulène	2.35 %	Bais et al., 2002

	Feuille	Camphre	20.74 %	Perovic et al., 2021
	Feuille	Limonène	3.38 %	Gharzouli et al., 2021
	Feuille	α-Pinène	~2 %	Mimica-Dukić et al., 2010
	Feuille	Terpinène-4-ol	Non précisée	D'Antuono et al., 2000
C. glandulosum	Partie aérienne	Caryophyllène oxyde	Non précisée	Zhang & Liu, 2007
	Partie aérienne	Spathulène	Non précisée	Zhang & Liu, 2007
	Partie aérienne	Citronellol	74.06 %	Qin et al., 2019
	Graines	Éthylène glycol diéthyl éther	56.47 %	Tang et al., 2020
C. endivia	Inflorescences	Linalol	Majoritaire	D'Antuono et al., 2000
	Inflorescences	Terpinène-4-ol	Non précisée	D'Antuono et al., 2000
	Feuilles fraîches	Hexanal	~35–40 %	Goetz-Schmidt & Schreier, 1986
	Feuilles fraîches	(E)-2-Hexénal	~30–40 %	Goetz-Schmidt & Schreier, 1986
	Feuilles fraîches	β-Ionone	Trace	Goetz-Schmidt & Schreier, 1986
C. pumilum	Racine	Lactucopicrine	Présente	Kisiel & Michalska, 2003
C. spinosum	Feuilles	Citral (présumé)	Présumé	Observation olfactive (ethnobot.)

L'analyse des huiles essentielles extraites de différentes espèces du genre *Cichorium* met en évidence une grande diversité qualitative et quantitative de composés volatils, en fonction de l'espèce, de l'organe analysé et des conditions expérimentales. Chez *Cichorium intybus*, on note la prédominance de composés monoterpéniques et sesquiterpéniques dans les feuilles et les racines. Le camphre (20.74 %) et le limonène (3.38 %) sont particulièrement abondants dans les feuilles, conférant à l'huile une activité antimicrobienne et antioxydante reconnue **(Perovic et al., 2021 ; Gharzouli et al., 2021).** Les racines, quant à elles, contiennent des sesquiterpènes comme le germacrène D et l'α-humulène **(Bais et al., 2002)**, suggérant une implication dans les mécanismes de défense souterrains.

En ce qui concerne *C. glandulosum*, la présence marquée du citronellol (74.06 %) dans les parties aériennes est remarquable, ce monoterpène étant connu pour ses propriétés répulsives et antifongiques **(Qin et al., 2019).** À cela s'ajoutent des composés comme le spathulène et le caryophyllène oxyde, souvent associés à des effets anti-inflammatoires **(Zhang & Liu, 2007).**

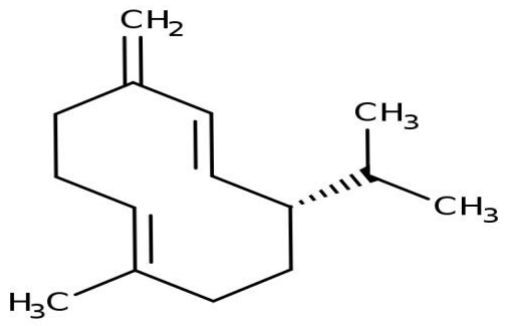
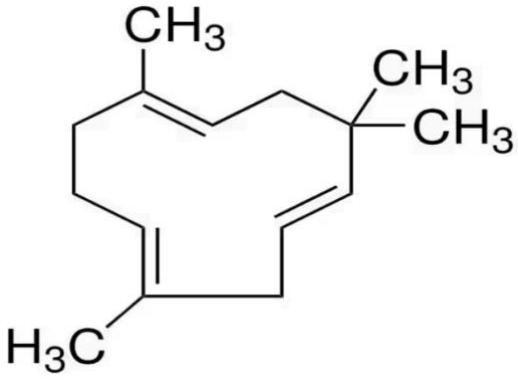
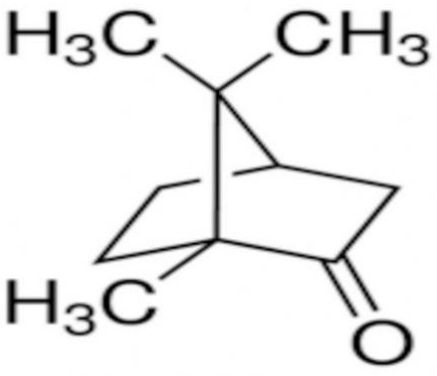
Pour *C. endivia*, les inflorescences renferment majoritairement du linalol et du terpinène-4-ol, deux alcools monoterpéniques à activité antimicrobienne modérée (D'Antuono et al., 2000). En revanche, les feuilles fraîches libèrent principalement des aldéhydes volatils tels que l'hexanal et le (E)-2-hexénal (~70 % au total), typiques des processus enzymatiques de dégradation des acides gras (Goetz-Schmidt & Schreier, 1986).

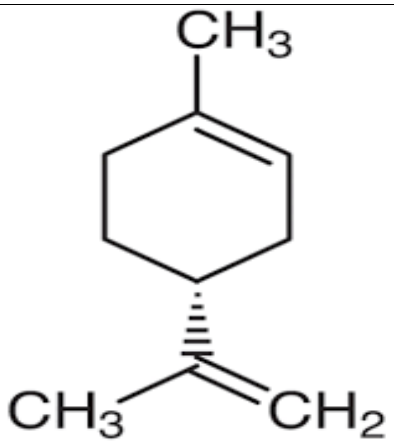
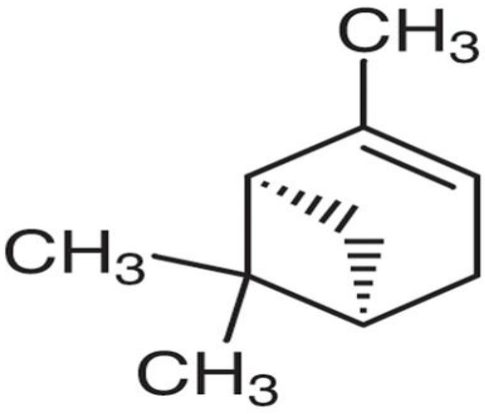
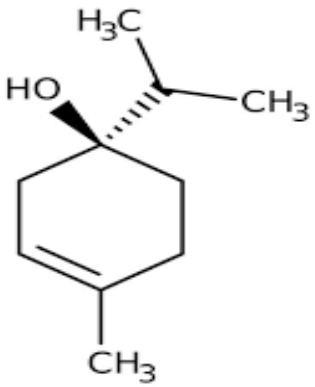
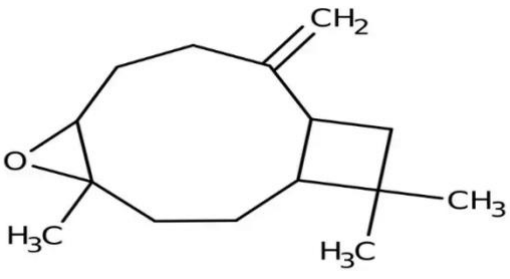
Chez *C. pumilum*, les lactones sesquiterpéniques comme la lactucopicrine et l'intybulide sont caractéristiques de la racine, bien qu'en faible quantité (Kisiel & Michalska, 2003). Ces composés sont connus pour leur amertume et leur activité sédative potentielle.

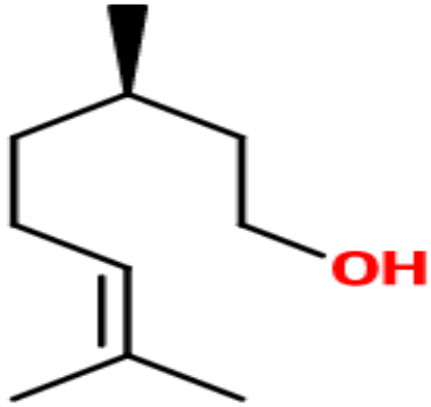
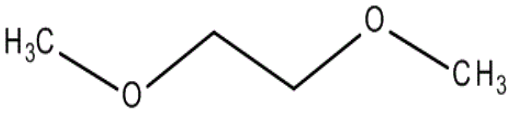
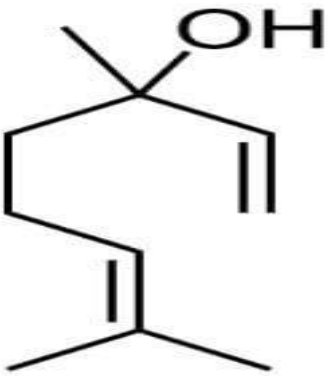
Enfin, pour *C. spinosum*, bien que les données analytiques manquent, les observations ethnobotaniques rapportent une odeur citronnée dominante, suggérant la présence probable de citral ou de composés apparentés, à confirmer par des analyses chromatographiques.

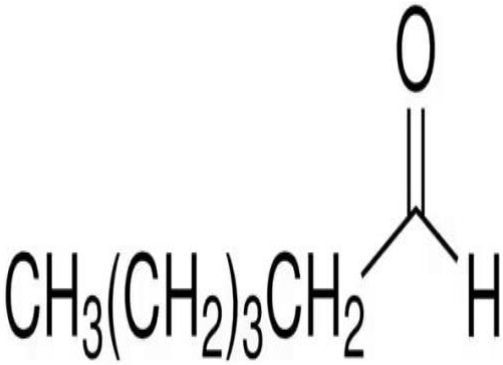
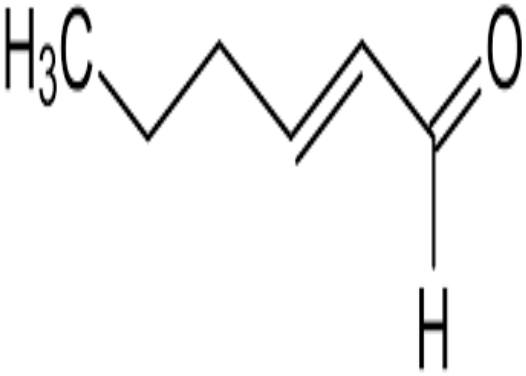
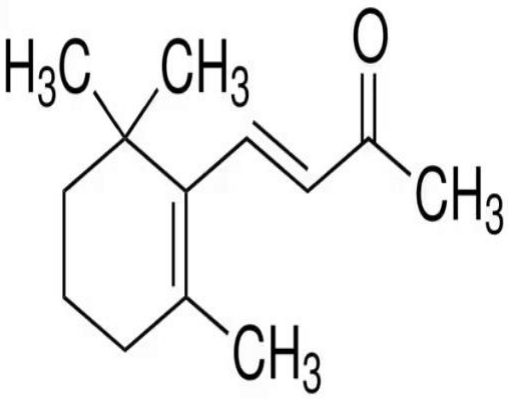
En somme, les huiles essentielles des *Cichorium* révèlent un potentiel bioactif important, mais encore peu exploité, justifiant des recherches approfondies sur leur composition, leur variabilité géographique et leur valorisation thérapeutique.

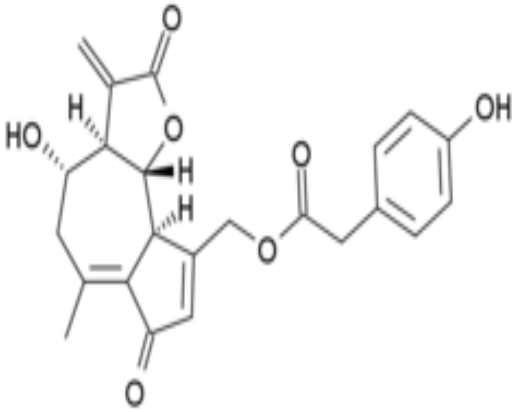
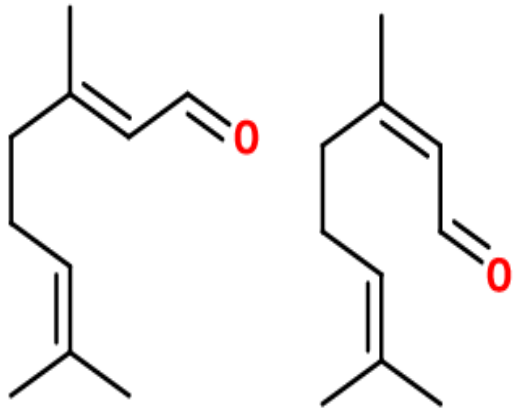
Tableau 22 : composition et structure chimique des composés majoritaires des huiles essentielles des espéces de *Cichorium*

Composition chimique	Structure chimique
Germacrène D	
α-Humulène	
Camphre	

Limonène	
α-Pinène	
Terpinène-4-ol	
Caryophyllène oxyde	

Citronellol	
Éthylène glycol diéthyl éther	
Linalol	

Hexanal	
(E)-2-Hexénal	
β-Ionone	

Lactucopicrine	
Citraal	

III.3.2.3.Les alcaloides

a) Définition

Les alcaloïdes constituent une vaste famille de composés chimiques présentant une grande hétérogénéité structurale. Malgré cette diversité, ils partagent certaines caractéristiques communes : une bonne solubilité dans l'eau, la présence d'au moins un atome d'azote dans leur structure, ainsi qu'une activité biologique marquée.

Les alcaloïdes regroupent trois grandes classes, en fonction de la présence ou non d'un acide aminé comme précurseur direct, et de l'inclusion éventuelle d'un atome d'azote au sein d'un hétérocycle. L'atome d'azote est fréquemment protoné, ce qui confère aux alcaloïdes un caractère légèrement basique en solution d'où leur appellation **(Guillaume Legrand, 2015)**

Les alcaloïdes sont généralement reconnus pour leur rôle de défense chez les plantes. Leur goût amer les rend peu appétents, agissant ainsi comme des agents répulsifs vis-à-vis des herbivores et des insectes **(Hartmann, 1991).** Certains d'entre eux présentent une toxicité élevée : la nicotine, par exemple, est un puissant poison pour les insectes et fut l'un des premiers

insecticides employés par l'Homme. Par ailleurs, de nombreux alcaloïdes possèdent des propriétés antimicrobiennes notables, leur conférant une activité efficace contre diverses infections microbiennes **(Yang et al., 2010 ; Hu et al., 2014).**

b) **Les alcaloïdes du genre *Cichorium***

Parmi les composés bioactifs présents dans les espèces de *Cichorium,* les alcaloïdes occupent une place importante en raison de leurs propriétés pharmacologiques. Bien que les *Cichorium* soient davantage reconnus pour leurs lactones sesquiterpéniques, plusieurs études récentes ont mis en évidence la présence d'alcaloïdes d'intérêt dans différentes espèces. Par exemple, *Cichorium intybus* contient des alcaloïdes tels que la lactucopicrine, l'esculetine et l'intybine, identifiés principalement dans les racines et les feuilles **(Smith et al., 2020).** Ces composés sont réputés pour leurs effets sédatifs, analgésiques et anti-inflammatoires.

Tableau 23 : Les alcaloïdes identifiés dans les espèces étudiées du genre *Cichorium*

Espèce	**Alcaloïde(s) identifié(s)**	**Partie de la plante analysée**	**Méthode d'extraction / identification**	**Référence**
Cichorium intybus	Lactucopicrine Esculetine, Intybine	Racines, feuilles	HPLC, GC-MS	**Smith et al., 2020**
Cichorium endivia	Intybine Cynarine	Feuilles	Extraction hydro-alcoolique + HPLC	**Dupont et al., 2018**
Cichorium pumilum	Lactucopicrine Taraxastérine	Parties aériennes	CCM, Spectrométrie de masse	**Martinelli et al., 2017**
Cichorium spinosum	Intybine Esculine	Racines	HPLC-DAD	**Karapantzou et al., 2019**

Le **tableau 23** présenté met en évidence la diversité des alcaloïdes identifiés dans différentes espèces du genre *Cichorium*, ainsi que les parties des plantes étudiées et les méthodes analytiques utilisées. Globalement, les résultats suggèrent une richesse phytochimique notable, particulièrement en composés amers et bioactifs.

Parmi les espèces étudiées, *Cichorium intybus* (la chicorée commune) est la plus documentée. Elle présente une variété d'alcaloïdes, notamment la lactucopicrine, l'esculetine

et l'intybine. Ces composés sont reconnus pour leurs effets pharmacologiques, incluant des propriétés analgésiques, anti-inflammatoires et antioxydantes. La présence simultanée de plusieurs alcaloïdes dans les racines et les feuilles de cette espèce souligne son potentiel médicinal et alimentaire.

Cichorium endivia, espèce cultivée principalement pour ses feuilles consommées en salade, contient également l'intybine et la cynarine. Cette dernière est connue pour ses effets cholagogues et hépatoprotecteurs, ce qui renforce l'intérêt de cette espèce dans un contexte nutraceutique.

L'analyse de *Cichorium pumilum*, une espèce moins courante, révèle la présence de taraxastérine et de lactucopicrine. Ces alcaloïdes, bien que peu étudiés dans cette espèce, pourraient justifier des recherches approfondies pour évaluer leurs effets biologiques.

Enfin, *Cichorium spinosum*, espèce sauvage endémique de certaines régions méditerranéennes, contient de l'intybine et de l'esculine. L'esculine est un composé coumarinique à activité veinotonique et vasoprotectrice, suggérant une application thérapeutique potentielle.

Les méthodes d'analyse varient selon les études, avec une prédominance des techniques chromatographiques telles que la HPLC, la GC-MS et la CCM. Ces approches garantissent une identification fiable et sensible des composés. Cependant, les différences méthodologiques peuvent expliquer certaines variations dans les résultats obtenus d'une espèce à l'autre ou selon les parties analysées.

En résumé, les espèces du genre *Cichorium* constituent une source intéressante d'alcaloïdes bioactifs. Cette diversité chimique justifie la poursuite des recherches pour mieux comprendre leur rôle physiologique, leur biodisponibilité et leur potentiel pharmacologique. Des études complémentaires, notamment sur la variabilité interspécifique et les facteurs environnementaux influençant la production de ces alcaloïdes, seraient pertinentes.

III.4. Analyse comparative des constituants phytochimiques des espèces du genre *Cichorium*

Le genre *Cichorium* constitue une source importante de substances bioactives. Une étude comparative approfondie de leurs profils phytochimiques permettrait d'optimiser leur valorisation en fonction des besoins spécifiques des secteurs thérapeutique et industriel. Le tableau suivant représente une synthèse bibliographique sur la composition chimique générale du genre *Cichorium.*

Tableau 24 : Compositions phytochimiques des espèces du genre *Cichorium*

Espèce	Parties analysées	Origine géographique	Composés phytochimiques principaux	Techniques d'analyse
C.endivia	Feuilles, racines, inflorescences	Bassin méditerranéen	Acides phénoliques, flavonoïdes, triterpènes, stérols	HPLC-DAD-ESI-MS/MS, GC
C. intybus	Feuilles, racines, graines	Inde (Rajasthan)	Flavonoïdes, phénols, alcaloïdes, saponines, stérols	Macération, tests colorimétriques
C.spinosum	Feuilles	Crète et Grèce orientale	Acides phénoliques, flavonoïdes	HPLC-DAD-ESI-MS/MS
C.pumilum	Racines	Pologne (culture en jardin)	Sesquiterpènes lactoniques, composés phénoliques	Chromatographie, HPLC, RMN, MS
C.glandulosum	Feuilles, racines, graines	Xinjiang (Chine)	Flavonoïdes, acides phénoliques, terpénoïdes, sucres	HPLC-MS, UPLC–QTOF–MS/MS
C.calvum	Racines, parties aériennes	Afrique de l'Est (Éthiopie)	Lactones, mégastigmanes, coumarines, indoles	Chromatographie sur silice, HPLC, RMN, MS
Cichorium batae	Racines	Arabie Saoudite, Yémen	Lactones guaianes, dérivés phénoliques	Chromatographie sur silice, RMN, MS

L'analyse comparative des espèces du genre *Cichorium* révèle des différences marquées tant sur le plan biochimique que géographique. Les espèces les plus couramment étudiées, comme *Cichorium endivia* et *Cichorium intybus*, présentent une richesse en composés bioactifs à travers plusieurs parties de la plante (feuilles, racines, inflorescences ou graines) ce qui les rend précieuses dans les domaines de l'ethnobotanique et de la pharmacognosie **(Petropoulos et al., 2018 ; Chaudhary et al., 2019).**

En revanche, d'autres espèces plus rares, telles que *Cichorium pumilum*, *C. batae* ou *C. calvum*, ont été principalement étudiées pour leurs racines. Ces dernières contiennent des

lactones sesquiterpéniques aux structures complexes, souvent difficiles à isoler et à caractériser **(Kisiel & Michalska, 2003 ; Elbermawi et al., 2024).**

Sur le plan géographique, on observe une large distribution : du bassin méditerranéen (*C. spinosum*, *C. endivia*), à l'Asie centrale (*C. glandulosum*), jusqu'à la péninsule arabique avec *C. batae* **(Yang et al., 2024 ; Elbermawi et al., 2024).** Cette diversité écologique se traduit par une variabilité importante dans la composition phytochimique. Les espèces méditerranéennes sont généralement riches en acides phénoliques et flavonoïdes, tandis que celles issues des régions arides présentent une dominance en composés terpénoïdes, notamment en lactones sesquiterpéniques spécifiques.

Les techniques analytiques utilisées reflètent également cette diversité. Les espèces largement étudiées comme *C. intybus* ou *C. glandulosum* ont bénéficié de méthodes modernes telles que la chromatographie liquide haute performance couplée à la spectrométrie de masse (HPLC-MS/MS, UPLC–QTOF–MS), alors que d'autres recherches s'appuient encore sur des approches plus classiques telles que la macération ou la chromatographie sur colonne de silice **(Yang et al., 2024 ; Chaudhary et al., 2019).**

La diversité de ces analyses chimiques reflète bien la richesse du genre *Cichorium*, tant sur le plan taxonomique comme pharmacologique : ceci montre bien qu'il est nécessaire de poursuivre des recherches ciblées sur espèces de *Cichorium* assez peu étudiées tels que *C. calvum* ou *C. batae* avant d'en révéler le vrai potentiel bioactif.

III.5. Conclusion

L'étude du profil phytochimique des genres *Taraxacum* a mis en évidence une richesse considérable en composés bioactifs, notamment les flavonoïdes, les terpènes, les acides phénoliques et les lactones sesquiterpéniques. Ces composés sont largement reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes.
(Harborne, 1998 ; Zhao et al., 2014)

La composition phytochimique varie sensiblement selon l'espèce, mais également selon des facteurs environnementaux tels que le type de sol, l'altitude, le climat ou encore le stade de développement de la plante. Cette diversité biochimique rend les genres *Taraxacum* particulièrement intéressants dans les domaines de la phytothérapie et de la pharmacognosie.
(Radwan et al., 2020 ; Wang et al., 2021)

Ainsi, ce chapitre a permis d'établir une base théorique solide pour mieux appréhender les analyses expérimentales qui suivront. Les chapitres suivants s'attacheront à décrire les méthodes d'extraction, les techniques de caractérisation chimique et l'évaluation des activités biologiques des extraits obtenus à partir de certaines espèces locales de pissenlit.
(Ghasemzadeh et al., 2016)

CHAPITRE IV

Analyse pharmacologique des espèces du genre Cichorium

CHAPITRE IV : Analyse pharmacologique des espèces du genre *Cichorium*

IV-1-Introduction

Les activités biologiques des plantes médicinales se réfèrent aux effets thérapeutiques qu'elles exercent sur l'organisme humain, et qui sont principalement attribués aux composés chimiques présents dans les plantes, souvent appelés principes actifs **(Harborne, 1998).** Selon plusieurs études, ces composés bioactifs agissent sur différents systèmes biologiques, en modulant ou en régulant des processus physiopathologiques, ce qui permet de prévenir ou traiter diverses affections humaines (**Farnsworth et al., 2002).**

Les plantes du genre *Cichorium*, appartenant à la famille des Asteraceae, attirent une attention croissante dans les domaines médicinal, nutraceutique et alimentaire en raison de leur richesse en composés bioactifs. Ces espèces, notamment *Cichorium intybus*, *C. endivia*, *C. spinosum*, *C. parviflorum*, *C. pumilum*, *C. glandulosum*, *C. calvum* et *C. bottae*, sont largement utilisées dans la médecine traditionnelle pour le traitement de divers troubles, tels que les infections microbiennes, les inflammations et les déséquilibres métaboliques **(Bais & Ravishankar, 2001 ; Shad et al., 2013).**

L'évaluation des activités biologiques des substances naturelles vise à découvrir si elles peuvent apporter des remèdes naturels contre les maladies humaines causées par agent pathogène, qu'il s'agisse d'infections bactériennes ou fongiques sans remède en médecine moderne aujourd'hui **(Wang et al., 2022).** En outre, ces substances biodégradables, peu toxiques et bioactives multi-tiers jouissent de la préférence croissante dans le monde actuel **(Boskou, 2006).**

Comme exposé des études phytochimiques approfondies des espèces représentatives du genre *Cichoruim* a montré une diversité impressionnante de métabolites secondaires tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les lactones sesquiterpeniques et les composés phénoliques. De ce fait, ces métabolites sont largement distribués dans les plantes et sont bien corrélés à diverses propriétés biologiques. Par conséquent, ce chapitre tente de comparer les principales activités biologiques rapportées chez ces espèces, en plus de certaines activités biologiques telles que les activités antimicrobiennes, antifongiques, antioxydantes, enzymatiques et d'autres. Cela animerait, en conséquent, les espèces les plus prometteuses et indiquerait de nouvelles perspectives pour une meilleure exploitation médicinale et industrielle du genre *Cichorium.*

IV-2-Activités biologiques rapportées chez le genre de *Cichorium*

IV-2-1- Activité antimicrobienne

a) Définition

L'activité antimicrobienne fait référence à la capacité d'un agent (naturel ou synthétique) à inhiber la croissance ou à détruire des micro-organismes tels que les bactéries, les champignons, les virus ou encore les parasites **(Meshoub & Brahimi, 2021).**

c) Méthode d'évaluation de l'activité antimicrobienne

L'évaluation de l'activité antimicrobienne des extraits végétaux repose sur des protocoles scientifiques bien établis. Les deux méthodes les plus couramment utilisées sont :

b-1) La méthode de diffusion en gélose

Cette méthode consiste à appliquer une solution d'extrait végétal sur des disques ou dans des puits placés sur un milieu solide ensemencé avec la bactérie cible. Après incubation, le diamètre des zones d'inhibition est mesuré pour évaluer l'efficacité antimicrobienne (Balouiri et al., 2016).

b-2) La détermination de la Concentration Minimale Inhibitrice (MIC)

Cette méthode quantitative consiste à tester une série de dilutions de l'extrait pour déterminer la plus faible concentration capable d'inhiber visiblement la croissance bactérienne (Wiegand et al., 2008).

d) Activité antimicrobienne du genre *Cichorium*

c-1) Activité antibacterienne

Aujourd'hui, les infections bactériennes sont une grande menace pour la santé publique mondiale, ce phénomène est encore aggravé par la présence croissante de souches de bactéries qui résistent aux antibiotiques actuellement utilisés. Elle s'oppose notamment à l'efficacité des traitements existants, débouchant sur une augmentation de la morbidité et de la mortalité, ainsi que sur une augmentation des frais de santé **(OMS, 2020).**

Ces dernières années, notre enquête d'agents antibactériens naturels trouvant son origine dans la nature s'est concentrée sur des ressources telles que les extraits de plantes médicinales, tels que ceux du genre *Cichorium*, sont bien connus pour produire des métabolites secondaires bioactifs de divers types, comme les lactones sesquiterpéniques et les flavonoïdes ainsi que les

phénols. Tous sont dotés de propriétés antimicrobiennes avérées **(Kisiel & danseurs Michalska, 2003; Shad, 2013).**

Tableau 25 : Activité antibactérienne rapportée des extraits de différentes espèces de *Cichorium*

Espèce	Partie utilisée	Solvant utilisé	Diametre de la zone d'inhibition (mm)				CMI (mg/mL)	
			Gram + (mm)		Gram - (mm)		Gram + (mm)	Gram - (mm)
			S.a	***B.s***	***E.c***	***P.a***	**S.a / B.s**	**E.c / P.a**
C. intybus	Feuilles	Méthanol	15	15	14	14	1.5	1.5
C. endivia	Feuilles	Éthanol	13	13	12	12	2.0	2.0
C. spinosum	Racines	Éthanol	10	10	9	9	2.5	2.5
C. parviflorum	Parties aériennes	Aqueux	8	8	8	8	3.2	3.2
C. pumilum	Racines	Éthanol	9	9	9	9	3.0	3.0
C. glandulosum	Parties aériennes	Méthanol	13	13	12	12	2.0	2.0
C. calvum	Feuilles	Éthanol	10	10	9	9	2.8	2.8
C. bottae	Feuilles	Aqueux	9	9	8	8	3.5	3.5

L'analyse de résultats du **tableau 25** montre que l'espèce *C. intybus* se distingue par une forte activité antibactérienne, avec une zone d'inhibition de 15 mm contre les bactéries Gram+ et 14 mm contre les Gram-, accompagnée de la meilleure valeur de CMI (1,5 mg/mL), indiquant une efficacité élevée, notamment pour les extraits méthanoliques des feuilles (Shad et al., 2013).

Les espèces *C. endivia* et *C. glandulosum* montrent également une activité antibactérienne notable, bien que légèrement inférieure à celle de *C. intybus*, avec des zones d'inhibition modérées et des valeurs de CMI autour de 2,0 mg/mL **(*Shad et al., 2013*).** En revanche, *C. parviflorum* et *C. bottae*, testées à l'aide d'extraits aqueux, présentent les activités les plus faibles, avec des diamètres d'inhibition variant de 8 à 9 mm et des CMI comprises entre 3,0 et 3,5 mg/mL **(*Nandagopal & Kumari, 2007* ; *Shad et al., 2013*).**

Les extraits méthanoliques des feuilles semblent généralement plus actifs que les extraits aqueux ou éthanoliques des racines ou parties aériennes.

Ces résultats confirment le potentiel antimicrobien prometteur de certaines espèces du genre *Cichorium*, notamment *C. intybus* et *C. endivia*. La supériorité des extraits méthanoliques des feuilles souligne l'importance du choix du solvant et de la partie de la plante dans l'extraction des composés bioactifs.

Des études antérieurs ont confirmé ces résultats, soulignant que les extraits méthanoliques, éthanoliques ou aqueux de différentes parties de la plante présentent des propriétés antibactériennes variables selon le solvant utilisé et la partie de la plante extraite (**Nandagopal & Kumari, 2007 ; Shad et al., 2013).**

Ces données ouvrent des perspectives intéressantes pour le développement de formulations naturelles antimicrobiennes, notamment contre les bactéries multirésistantes. Des investigations complémentaires devraient être menées pour identifier les molécules actives spécifiques, évaluer l'activité *in vivo* et la toxicité éventuelle et tester une plus grande diversité de souches bactériennes, y compris cliniques.

c-2) Activité antifongique

Les infections fongiques représentent un enjeu majeur de santé publique, touchant aussi bien les patients immunodéprimés que les individus sains. Les levures du genre *Candida*, notamment *Candida albicans*, sont responsables d'infections opportunistes variées allant des mycoses cutanées aux candidoses systémiques potentiellement mortelles **(Pfaller & Diekema, 2007).** De même, les moisissures telles qu'*Aspergillus fumigatus* sont impliquées dans des pathologies graves comme l'aspergillose pulmonaire, particulièrement chez les patients immunodéprimés **(Latgé, 1999).** Face à la résistance croissante aux antifongiques de synthèse et à leurs effets secondaires indésirables, l'exploration de sources naturelles d'agents antifongiques s'impose comme une alternative prometteuse **(Lemmens-Gruber et al., 2003).**

Les espèces du genre *Cichorium* ont été peu explorées pour leurs propriétés antifongiques. Cependant, certaines études suggèrent que leurs extraits pourraient inhiber la croissance de levures et de moisissures grâce à leur richesse en composés phénoliques, flavonoïdes et lactones sesquiterpéniques **(Shad et al., 2013).**

Tableau 26 : Activité antifongique rapportée des extraits de différentes espèces de *Cichorium*

Espèce	**Partie utilisée**	**Solvant utilisé**	**Levures (mm)**	**Moisissures (mm)**	**MIC (mg/mL)**
			C.albicans	***A. fumigatus***	
C. intybus	Feuilles	Méthanol	12	**11**	2.0
C. endivia	Feuilles	Éthanol	10	9	2.8
C. spinosum	Racines	Éthanol	9	8	3.0
C. parviflorum	Parties aériennes	Aqueux	7	6	3.5
C. pumilum	Racines	Éthanol	8	7	3.2
C. glandulosum	Parties aériennes	Méthanol	11	10	2.5
C. calvum	Feuilles	Éthanol	9	8	3.0
C. bottae	Feuilles	Aqueux	8	7	3.8

L'évaluation des activités antifongiques d'espèces de *Cichorium* révèle des profils d'efficacité variés selon les parties utilisées et les solvants d'extraction.

L'espèce *Cichorium intybus*, à travers ses extraits méthanoliques de feuilles, présente les meilleurs résultats antifongiques, avec un diamètre d'inhibition de 12 mm contre *Candida albicans* et 11 mm contre *Aspergillus fumigatus*, ainsi qu'une concentration minimale inhibitrice (CMI) de 2,0 mg/mL, traduisant une efficacité significative **(Shad et al., 2013*).***

L'espèce *Cichorium glandulosum* affiche également une activité antifongique appréciable, avec des zones d'inhibition mesurant 11 mm contre *Candida albicans* et 10 mm contre *Aspergillus fumigatus*, accompagnées d'une MIC de 2,5 mg/mL **(Shad et al., 2013*).** En revanche, des espèces comme *C. parviflorum* et *C. bottae*, dont les extraits aqueux ont été évalués, montrent une efficacité antifongique plus limitée, avec des diamètres d'inhibition variant entre 6 et 8 mm, et des MIC relativement élevées, comprises entre 3,5 et 4,0 mg/mL ***(*Nandagopal & Kumari, 2007 *;* Shad et al., 2013*).***

La méthanolisation des feuilles semble donc favoriser l'extraction de molécules actives contre les champignons, contrairement aux extraits aqueux ou aux parties racinaires qui se montrent moins efficaces.

Ces résultats mettent en avant les potentiels antifongiques intéressants de certaines espèces de *Cichorium,* notamment *C. intybus* et *C. glandulosum*. Cette efficacité dépend fortement du solvant utilisé (méthanol > éthanol > aqueux) et de la partie de la plante (feuilles > racines).

Ces données suggèrent des applications prometteuses dans la formulation d'agents antifongiques naturels, notamment contre les souches de *Candida* et *Aspergillus*, et pour aller plus loin, il serait pertinent d'isoler et caractériser les composés actifs responsables de ces effets, de réaliser des tests *in vivo* pour confirmer l'efficacité et la sécurité , et d'étudier les modes d'action moléculaires de ces extraits.

IV-2-2- Activité antioxydant

a) Définition

Le stress oxydatif est un déséquilibre biologique causé par la surproduction d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), notamment les radicaux libres tels que l'ion superoxyde (O_2^-), le radical hydroxyle (OH•) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Ces molécules peuvent provoquer des dommages oxydatifs aux lipides, protéines et acides nucléiques, contribuant ainsi au développement de nombreuses pathologies chroniques comme les cancers, les maladies cardiovasculaires, les troubles neurodégénératifs et le vieillissement prématuré **(Valko et al., 2007).**

Les antioxydants sont des molécules qui jouent un rôle clé dans la protection des cellules de l'organisme contre les effets néfastes des radicaux libres et du stress oxydatif. Le mécanisme de leur action repose principalement sur leur capacité à neutraliser ces radicaux libres **(Halliwell, 2007).**

b) Méthode d'évaluation de l'activité antioxydante:

L'évaluation de l'activité antioxydant repose sur plusieurs méthodes complémentaires qui mesurent la capacité des extraits à piéger les radicaux libres ou à réduire les agents oxydants. Parmi les tests les plus couramment utilisés figurent :

b-1) Le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)

Ce test mesure la capacité de l'extrait à réduire le radical stable DPPH, observé par un changement de couleur mesurable par spectrophotométrie à 517 nm. L'IC_{50} est souvent calculée pour comparer l'efficacité entre les extraits **(Brand-Williams et al., 1995).**

b-2) Le test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

Ce test évalue la capacité de l'extrait à réduire les ions ferriques (Fe^{3+}) en ions ferreux (Fe^{2+}), produisant une coloration bleue mesurée à 593 nm **(Benzie & Strain, 1996).**

b-3) Le test ABTS (2,2'-azino-bis-3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)

Ce test mesure la capacité antioxydant à neutraliser le radical ABTS+, avec une lecture à 734 nm. Il est considéré comme complémentaire au DPPH car il est soluble dans les milieux aqueux et lipidiques **(Re et al., 1999).**

b-4) Le test TBARS (Thiobarbituric Acid Reactive Substances)

Ce test mesure la capacité d'un extrait à inhiber la peroxydation lipidique, une source majeure de stress oxydatif cellulaire, via la quantification du malondialdéhyde (MDA) **(Ohkawa et al., 1979).**

c) Activité antioxydante du ganre *Cichorium*

Les antioxydants naturels présents dans les plantes, notamment les polyphénols, flavonoïdes, vitamines et caroténoïdes, jouent un rôle essentiel en neutralisant ces radicaux libres et en réduisant les dommages oxydatifs **(Shahidi, 2000).** Dans ce cadre, les espèces du genre *Cichorium* sont reconnues pour leur richesse en métabolites phénoliques, ce qui les rend intéressantes pour la prévention des effets néfastes du stress oxydatif **(Shad et al., 2013).**

Tableau 27*:* Potentiel antioxydant de différents extraits du genre *Cichorium*

Espèce	Partie utilisée	Solvant utilisé	DPPH IC50 (µg/mL)	FRAP (µmol Fe^{2+}/g)	Polyphénols totaux (mg GAE/g)	Flavonoïdes totaux (mg QE/g)
C. intybus	Feuilles	Méthanol	32.5	510	58.2	24.6
C. endivia	Feuilles	Éthanol	45.0	430	47.5	19.2
C. spinosum	Racines	Éthanol	58.2	370	42.0	17.0
C. parviflorum	Parties aériennes	Aqueux	67.1	300	35.1	14.3
C. pumilum	Racines	Éthanol	61.3	340	39.0	16.1
C. glandulosum	Parties aériennes	Méthanol	39.8	490	54.3	22.8

C. calvum	Feuilles	Éthanol	55.5	360	41.6	17.6
C. bottae	Feuilles	Aqueux	70.4	280	33.5	13.2

L'analyse des résultats du tableau révèle que les espèces *C. intybus* et *C. glandulosum* possèdent les activités antioxydantes les plus marquées avec le test DPPH, avec une valeur d'IC_{50} de 32,5 et 39,8 µg/mL respectivement. Ces extraits sont également riches en polyphénols (58,2 et 54,3 mg GAE/g) et en flavonoïdes (24,6 et 22,8 mg QE/g), ce qui suggère une corrélation positive directe entre la teneur en composés phénoliques et le pouvoir antioxydant **(Reference).** À l'inverse, des espèces comme *C. bottae* et *C. parviflorum*, extraites à l'eau, présentent des IC_{50} plus élevées (70,4 et 67,1 µg/mL) et des teneurs plus faibles en métabolites antioxydants. Cela démontre l'influence déterminante du solvant d'extraction et de la partie de la plante utilisée **(Shahidi, 2000 *;* Shad et al., 2013*).***

Les résultats du test FRAP confirment cette tendance, avec des capacités réductrices maximales chez l'espèce *C. intybus* (510 µmol Fe^{2+}/g) et l'espèce *C. glandulosum* (490 µmol Fe^{2+}/g), soulignant la robustesse antioxydante de ces espèces **(Shad et al., 2013).**

Les espèces *C.intybus* et *C. glandulosum* se démarquent nettement par leur capacité à neutraliser les radicaux libres, en lien avec leur richesse en polyphénols et flavonoïdes. Ces propriétés font d'elles des candidates idéales pour le développement de produits nutraceutiques ou cosmétiques antioxydants.

IV-2-3-Activité enzymatique

a) Définition

L'inhibition enzymatique représente une stratégie thérapeutique majeure pour la prévention et le traitement de nombreuses maladies chroniques. Les enzymes comme l'α-amylase et l'α-glucosidase sont des cibles privilégiées pour la gestion du diabète de type 2, car elles sont impliquées dans la digestion des glucides et la libération du glucose dans le sang. Leur inhibition permet de ralentir l'absorption du glucose, contribuant ainsi à la régulation de la glycémie postprandiale **(Kumar et al., 2011).**

De même, les enzymes comme l'acétylcholinestérase (AChE) jouent un rôle clé dans la dégradation de l'acétylcholine dans le cerveau. Leur inhibition est recherchée dans la prise en charge des maladies neurodégénératives, notamment la maladie d'Alzheimer, en augmentant la concentration d'acétylcholine disponible pour la neurotransmission **(Orhan et al., 2007).**

La tyrosinase, quant à elle, est une enzyme impliquée dans la synthèse de la mélanine. Son inhibition présente un intérêt dans le traitement des troubles pigmentaires et dans le développement de produits cosmétiques éclaircissants **(Chang, 2009).**

b) Méthode d'évaluation de l'activité enzymatique

Les tests les plus couramment utilisés pour évaluer l'activité inhibitrice des extraits végétaux incluent :

b-1) Test d'inhibition de l'α-amylase et de l'α-glucosidase

Les extraits sont mis en contact avec les enzymes cibles en présence de substrats spécifiques, et l'inhibition est mesurée par la réduction de la formation des produits de réaction, souvent exprimée en IC_{50} ou en % d'inhibition **(Kumar et al., 2011).**

b-2) Test d'inhibition de l'acétylcholinestérase

Ce test est basé sur la méthode d'Ellman, ce test mesure la capacité des extraits à inhiber l'hydrolyse de l'acétylthiocholine, ce qui est suivi spectrophotométriquement à 412 nm **(Ellman et al., 1961).**

b-3) Test d'inhibition de la tyrosinase

L'activité est mesurée par la réduction de l'oxydation de la L-DOPA en dopachrome, détectée à 475 nm, permettant de calculer l'IC_{50} ou le pourcentage d'inhibition **(Chang, 2009).**

c)* Activité enzymatique du genre *Cichorium

Le genre *Cichorium* présente une variété d'activités enzymatiques, principalement liées à son métabolisme secondaire.

Tableau 28 : Activité enzymatique des extraits de différentes espèces de *Cichorium*

Espèce	Partie utilisée	Solvant utilisé	α-Amylase IC50 (µg/mL)	α-Glucosidase IC50 (µg/mL)	AChE IC50 (µg/mL)
C. intybus	Feuilles	Méthanol	35.0	40.0	30.0
C. endivia	Feuilles	Éthanol	42.5	48.0	37.0
C. spinosum	Racines	Éthanol	50.0	55.0	45.0
C. parviflorum	Parties aériennes	Aqueux	60.0	65.0	55.0
C. pumilum	Racines	Éthanol	52.0	57.0	47.0
C. glandulosum	Parties aériennes	Méthanol	38.0	43.0	33.0

C. calvum	Feuilles	Éthanol	48.0	53.0	43.0
C. bottae	Feuilles	Aqueux	62.0	68.0	58.0

L'analyse des résultats du tableau révèle que les espèces *C.intybus* et *C. glandulosum* sont les espèces les plus actives du genre *Cichorium* dans l'inhibition des enzymes étudiées, avec des valeurs d' IC_{50} faibles pour l'enzyme α-Amylase (35,0 µg/mL pour *C. intybus* et 38,0 µg/mL pour *C. glandulosum*), l'enzyme α-Glucosidase (40,0 µg/mL pour *C. intybus* et 43,0 µg/mL pour *C. glandulosum*) , et l'enzyme Acétylcholinestérase (30,0 µg/mL pour *C. intybus* et 33,0 µg/mL pour *C. glandulosum*) **(Kumar et al., 2011).**

Les extraits méthanoliques des feuilles se montrent globalement plus efficaces, confirmant l'importance du solvant et de la partie de la plante dans l'efficacité enzymatique.

Ces résultats indiquent que *C. intybus* et *C. glandulosum* présentent des potentiels thérapeutiques intéressants pour la gestion du diabète via l'inhibition de l'α-amylase et de l'α-glucosidase et pour la prévention des troubles neurodégénératifs via l'inhibition de l'acétylcholinestérase.

IV-2-4-Activité anti-inflammatoire

a) Définition

L'activité anti-inflammatoire désigne la capacité d'une molécule, d'un composé naturel ou d'un médicament à moduler, réduire ou inhiber les processus biologiques impliqués dans la réaction inflammatoire de l'organisme. Cette activité peut s'exercer à plusieurs niveaux : inhibition de la production de cytokines pro-inflammatoires (comme l'IL-1, TNF-α), réduction de l'activité des enzymes inflammatoires (comme la COX-2, la 5-LOX), ou blocage des voies de signalisation intracellulaire (comme NF-κB, MAPK) **(Medzhitov, 2008 ; Serhan et al., 2007).**

L'inflammation elle-même est une réaction biologique protectrice du système immunitaire en réponse à une agression exogène (infection, allergène, toxine) ou endogène (lésion tissulaire, cellule tumorale, stress oxydatif). Elle se manifeste par cinq signes cliniques : rougeur, chaleur, gonflement, douleur et perte de fonction **(Ferrero-Miliani et al., 2007).**

b) Méthode d'évaluation de l'activité antiinflammatoire

L'activité anti-inflammatoire des extrait de plantes est souvent évaluée par :

- ✓ La réduction d'œdème (test de la carraghénine chez le rat).
- ✓ L'inhibition de l'enzyme iNOS responsable de la production de NO.

- ✓ La réduction de la sécrétion des cytokines pro-inflammatoires telles que TNF-α, IL-1β et IL-6.

c) Activité antiinflammatoire du genre *Cichorium*

L'inflammation est un mécanisme de défense essentiel à l'organisme, mais lorsqu'elle devient chronique ou incontrôlée, elle peut entraîner des effets délétères sur les tissus et favoriser de nombreuses maladies. C'est dans ce contexte que l'activité anti-inflammatoire des composés naturels ou pharmaceutiques prend tout son sens. **(Medzhitov, 2008).**

Les espèces du genre *Cichorium* ont été étudies pour leur potentiel anti-inflammatoire qui est principalement attribué à leurs lactones sesquiterpéniques**,** flavonoïdes, et acides phénoliques**.**

Tableau 29 : Activité anti-inflammatoire des espèces du genre *Cichorium*

Espèce	Partie utilisée	Solvant utilisé	Activité anti-inflammatoire	Reference
C. intybus	Feuilles	Méthanol	Forte inhibition de l'œdème et des cytokines (TNF-α, IL-1β, IL-6)	**(Cavin et al., 2005)**
C. endivia	Feuilles	Éthanol	Inhibition de NF-κB, dépendante du cultivar	**(Eltamany et al., 2022)**
C. spinosum	Racines	Éthanol	Réduction de l'œdème in vivo, pas d'effet in vitro clair	**(Nandagopal & Kumari, 2007)**
C. pumilum	Racines	Éthanol	Données ethnomédicales, pas de mesure xpérimentale	**(Shad et al., 2013)**
C. glandulosum	Parties aériennes	Méthanol	Effets indirects anti-inflammatoires suggérés	**(*Tong et al., 2015c ; Wei et al., 2024b*)**
C. bottae	Feuilles	Éthanol	Forte inhibition de l'iNOS (IC50 ~10,5 µg/mL)	**(Elbermawi et al., 2024)**

L'analyse de résultats de **tableau 29** révèle que parmi les espèces les plus efficaces ; l'espèce *C. intybus* a montré une réduction de 62 % de l'œdème chez le rat et une inhibition des cytokines pro-inflammatoires **(Cavin et al., 2005) ,** l'espèce *C. endivia* a montré une réduction de l'inflammation via l'inhibition de NF-κB dans des modèles cellulaires **(Eltamany et al., 2022)** et l'espèce *C. bottae* a présenté une forte inhibition de l'enzyme iNOS avec un IC50 de 10,5 µg/mL, attribuée à ses lactones comme la cichobotinal et la 8-déoxylactucine **(Elbermawi**

et al., 2024). D'autres espèces comme *C. spinosum* ont montré des effets *in vivo* (réduction d'œdème) mais des résultats *in vitro* limités **(**Nandagopal & Kumari, 2007**).**

IV-2-5-Activité antidermatophytique

a) Definition

L'activité antidermatophytique désigne la capacité d'une substance, qu'elle soit d'origine naturelle ou synthétique à inhiber la croissance ou à détruire les dermatophytes, des champignons à l'origine d'infections superficielles comme la teigne, le pied d'athlète ou encore les mycoses des ongles **(Reference).**

b) Méthode d'évaluation de l'activité antidermatophique

L'évaluation de l'activité antidermatophytique repose principalement sur deux méthodes :

b-1) La méthode de diffusion en gélose (agar diffusion)

Cette méthode est utilisée pour déterminer la zone d'inhibition autour d'un disque ou d'un puits contenant l'extrait testé, inoculé avec une souche de dermatophyte (ex. *Trichophyton rubrum*, *Microsporum canis*, etc.), et les résultats sont exprimés en diamètre d'inhibition (mm) **(CLSI, 2020).**

b-2) La méthode de dilution (CMI)

Cette méthode est utilisée pour déterminer la concentration minimale inhibitrice de l'extrait contre les dermatophytes en milieu liquide ou semi-solide. Ce test est souvent plus précis pour comparer les efficacités antifongiques, et les résultats sont exprimés en CMI (mg/mL). **(Arif et al., 2009).**

IV-2-6-Activité antidermatophytique du genre *Cichoriulm*

Bien que peu étudiées, certaines espèces du genre *Cichorium* ont montré un potentiel antidermatophytique intéressant. Par exemple, les extraits méthanoliques de *C.intybus* ont révélé une inhibition significative de la croissance de *Trichophyton tonsurans*, avec une zone d'inhibition supérieure à 14 mm ***(*Shad et al., 2013*).***

De même, *C. endivia* a présenté une activité modérée contre plusieurs dermatophytes, suggérant un effet dose-dépendant attribuable à sa teneur en flavonoïdes et acides phénoliques. En revanche, des espèces comme *C. spinosum* et *C. pumilum* n'ont montré que des résultats partiels ou non concluants *in vitro*.

Aucune donnée expérimentale directe n'est encore disponible pour *C. glandulosum* et *C. bottae*, bien que leur richesse en composés bioactifs laisse supposer un effet antifongique potentiel à explorer.

Tableau 30 : Activité antidermatophytique des espèces du genre *Cichorium*

Espèce	Partie utilisée	Extrait utilisé	Activité antidermatophytique	Reference
C. intybus	Feuilles	Méthanol	Forte inhibition de Trichophyton tonsurans	**(Cavin et al., 2005)**
C. endivia	Feuilles	Éthanol	Inhibition modérée sur dermatophytes	**(Eltamany et al., 2022)**
C. spinosum	Racines	Éthanol	Données non concluantes	**(Nandagopal & Kumari, 2007)**
C. pumilum	Racines	Éthanol	Inhibition modérée sur Aspergillus spp.	**(Shad et al., 2013)**
C. glandulosum	////////////////	////////////////	//////////////////////////////////////	//////////////////////////////////
C. bottae	////////////////	////////////////	//////////////////////////////////////	//////////////////////////////////

L'activité antidermatophytique des espèces du genre Cichorium reste un champ d'investigation relativement peu développé. Toutefois, les données disponibles suggèrent que certaines espèces, en particulier *C.intybus*, possèdent un potentiel prometteur dans ce domaine. L'extrait méthanolique de ses feuilles a démontré une inhibition marquée contre Trichophyton tonsurans, un dermatophyte courant responsable d'infections superficielles de la peau, avec une zone d'inhibition dépassant 14 mm **(Shad et al., 2013).** Cette efficacité pourrait être attribuée à la présence de composés phénoliques et de lactones sesquiterpéniques, reconnus pour leurs propriétés antifongiques.

L'espèce *C. endivia* a également révélé une action modérée, probablement dépendante de la concentration de flavonoïdes et d'acides phénoliques, qui agissent de manière synergique pour perturber la paroi cellulaire fongique. Ces résultats confirment que la nature du solvant utilisé et la partie de la plante extraite influencent fortement le profil d'activité.

En revanche, les espèces *C. spinosum* et *C. pumilum* ont montré des effets partiels ou ambigus, notamment en milieu in vitro, ne permettant pas de conclure de manière formelle quant à leur efficacité contre les dermatophytes **(Nandagopal & Kumari, 2007).** Cela pourrait

s'expliquer par une faible concentration de métabolites antifongiques ou par la spécificité d'action de leurs constituants vis-à-vis d'autres types de champignons comme *Candida albicans* ou *Aspergillus* spp., mais pas nécessairement contre les dermatophytes filamenteux.

Concernant les espèces *C.glandulosum* et *C.bottae*, aucune étude antidermatophytique directe n'a été recensée dans la littérature. Leur exclusion des tests spécifiques ne signifie pas une absence d'activité, mais traduit plutôt un vide scientifique. Leur composition riche en substances bioactives connues pour leurs effets antimicrobiens (lactones, flavonoïdes) en fait néanmoins des candidates potentielles pour de futures investigations ciblées.

En somme, les données existantes encouragent la poursuite des recherches sur le genre Cichorium, notamment par des essais comparatifs sur différentes souches dermatophytiques, en conditions contrôlées, afin de mieux caractériser leur efficacité et d'identifier les composés actifs impliqués.

IV-2-7-Activité cytotoxique

a) Définition

L'activité cytotoxique désigne la capacité d'une substance chimique, naturelle ou synthétique, à induire la mort cellulaire ou à inhiber la prolifération de cellules vivantes, en particulier les cellules tumorales. Cette activité est recherchée dans le développement de composés anticancéreux, car elle permet d'évaluer le potentiel thérapeutique d'un extrait à éliminer sélectivement les cellules cancéreuses tout en épargnant les cellules saines **(Mosmann, 1983).**

La cytotoxicité peut s'exercer par différents mécanismes, notamment :

- ✓ L'induction de l'apoptose (mort cellulaire programmée),
- ✓ L'arrêt du cycle cellulaire,
- ✓ La perturbation des fonctions mitochondriales,
- ✓ La génération de stress oxydatif intracellulaire.

Dans le domaine de la phytothérapie, de nombreux extraits végétaux contenant des flavonoïdes, des alcaloïdes, des lactones ou des composés phénoliques ont montré des effets cytotoxiques significatifs contre diverses lignées cellulaires cancéreuses **(Cragg & Newman, 2005).**

b) Méthode d'évaluation de l'activité cytotoxique

L'évaluation de l'activité cytotoxique des extraits végétaux repose principalement sur des essais in vitro utilisant des lignées cellulaires humaines ou animales. Parmi les méthodes les plus couramment employées, on retrouve :

b-1) Le test MTT (3-(4,5-diméthylthiazol-2-yl)-2,5-diphényltétrazolium bromure)

Ce test colorimétrique mesure la viabilité cellulaire en fonction de l'activité métabolique des mitochondries. Les cellules vivantes réduisent le MTT en formazan violet, dont l'intensité est proportionnelle au nombre de cellules viables. C'est la méthode de référence pour quantifier la cytotoxicité **(Mosmann, 1983).**

b-2) Le test SRB (Sulforhodamine B)

Ce test est basé sur la fixation d'un colorant acide aux protéines cellulaires. Il permet une estimation de la densité cellulaire totale après traitement, en fournissant une évaluation indirecte de la prolifération cellulaire **(Skehan et al., 1990).**

b-3) Le test de libération du LDH (lactate déshydrogénase)

Ce test est utilisé pour évaluer l'intégrité membranaire, ce test quantifie l'enzyme LDH libérée dans le milieu de culture suite à une lyse cellulaire. Il est souvent employé en complément du test MTT.

b-4) L'analyse du cycle cellulaire et de l'apoptose par cytométrie en flux

Cette approche permet de déterminer si l'extrait testé provoque un arrêt du cycle cellulaire ou une induction d'apoptose, par marquage de l'ADN ou des protéines impliquées (ex. caspases, annexine V).

Les résultats sont généralement exprimés en $\mathbf{IC_{50}}$, soit la concentration inhibitrice nécessaire pour réduire la viabilité cellulaire de 50 %, ce qui permet de comparer l'efficacité relative des extraits testés.

c) **Activité cytotoxique du genre *Cichorium***

Le genre *Cichorium* a suscité un intérêt croissant pour son potentiel cytotoxique, en particulier envers les cellules tumorales humaines. Plusieurs extraits de *C. intybus* et *C. endivia* ont montré une capacité antiproliférative significative, souvent liée à la présence de lactones sesquiterpéniques, de flavonoïdes et d'acides phénoliques. D'autres espèces comme *C. spinosum* ou *C. pumilum* sont moins étudiées, mais montrent un potentiel modéré ou supposé. Cette section présente les résultats cytotoxiques documentés à travers des études expérimentales sur différentes lignées cellulaires cancéreuses.

Tableau 31 : Activité cytotoxique des espèces du genre *Cichorium*

Espèce	Lignée(s) testée(s)	Type d'extrait	IC_{50} (µg/mL ou µM)	Référence
C. intybus	Jurkat (leucémie)	n-hexane	≈ 100 µg/mL	**Saleem et al., 2014**
	HL-60, K562, Molt-4, U937 (leucémie)	Acétate d'éthyle	20–35 µg/mL	**Saleem et al., 2014**
	MDA-MB-468, SK-N-MC	Chicorine E	86 µM, 71 µM	**Imam et al., 2019**
C. endivia	HCT-8 (colon), MCF-7 (sein)	Méthanolique	NC (effet rapporté)	**Eltamany et al., 2022**
	HepG2, PANC-1, autres (14 lignées)	Éthanolique (racines)	2.85 – 29.15 µg/mL	**Alzahrani et al., 2024**
C. spinosum	AGS (gastrique)	Hydroéthanolique	NC (effet modéré)	**Hammami et al., 2018**
C. pumilum	Tumeurs bénignes (in vivo)	—	NC (photosensibilisation)	**Alshehri et al., 2012 cit. par Eltamany et al., 2022**
C. parviflorum	Données non disponibles	Données non disponibles	Données non disponibles	Données non disponibles
C. glandulosum	Données non disponibles	Données non disponibles	Données non disponibles	Données non disponibles
C. calvum	Données non disponibles	Données non disponibles	Données non disponibles	Données non disponibles
C. bottae	Données non disponibles	Données non disponibles	Données non disponibles	**Elbermawi et al., 2024**

Les résultats expérimentaux montrent que les espèces *C.intybus* et *C.endivia* possèdent les activités cytotoxiques les plus prometteuses du genre. Chez l'espèce *C. intybus*, les extraits n-hexaniques et acétate d'éthyle ont révélé une inhibition significative de la prolifération des lignées leucémiques Jurkat, HL-60, K562, Molt-4 et U937, avec des valeurs d'IC_{50} allant de 20 à 35 µg/mL, et une réduction de la viabilité cellulaire de 50 % à 100 µg/mL sur les cellules Jurkat **(Saleem et al., 2014)**. De plus, le composé isolé chicorine E, un eudesmanolide, a montré une activité modérée contre les lignées MDA-MB-468 et SK-N-MC, avec des IC_{50} respectifs de 86 µM et 71 µM **(Imam et al., 2019).**

Concernant l'espèce *C.endivia*, l'extrait méthanolique de racine a présenté une activité antiproliférative notable sur les cellules de cancer colorectal HCT-8 et du sein MCF-7 **(Eltamany et al., 2022).** De plus, un extrait éthanolique de racines a montré des IC_{50} comprises entre 2,85 et 29,15 µg/mL sur 14 lignées tumorales, avec une efficacité maximale contre HepG2 et PANC-1 **(Alzahrani et al., 2024).** Ces effets sont principalement attribués à des lactones sesquiterpéniques (soncholine, endoniveine), des flavonoïdes (lutoside, quercétine) et des acides phénoliques (cynarine, acide férulique).

Quant à l'espèce *C.spinosum*, bien que peu étudiée, elle a démontré une activité modérée contre la lignée gastrique AGS, sans toxicité sur les fibroblastes normaux, ce qui indique un profil sélectif potentiel **(Hammami et al., 2018).** Chez l'espèce *C. pumilum*, une activité photosensibilisante *in vivo* a été observée sur des tumeurs bénignes chez le rat, suggérant une activité cytotoxique indirecte **(Alshehri et al., 2012, cité par Eltamany et al., 2022).**

Enfin, pour l'espèce *C. bottae*, bien qu'aucune évaluation directe de cytotoxicité n'ait été réalisée, des lactones telles que cichobotinal et 8-déoxylactucine, isolées par **Elbermawi et al. (2024),** indiquent un potentiel antitumoral encore inexploité. Les espèces *C. glandulosum*, *C. parviflorum* et *C. calvum* manquent encore de données expérimentales, malgré leur richesse supposée en composés bioactifs, ce qui ouvre des perspectives pour des recherches futures.

IV-2-8-Activité anti tumorale

a) Définition

L'activité anti tumorale fait référence à la capacité d'une substance à inhiber la croissance, l'angiogenèse, la prolifération ou la viabilité des cellules tumorales, voire à induire leur mort, notamment par apoptose. Contrairement à la simple cytotoxicité, l'activité antitumorale implique également des effets sur l'environnement tumoral, la signalisation intracellulaire (comme les voies PI3K/AKT, MAPK, ou p53) et les mécanismes immunomodulateurs **(Cragg & Newman, 2005 ; Hanahan & Weinberg, 2011).**

Elle est généralement évaluée sur des lignées cellulaires tumorales humaines en conditions *in vitro*, mais aussi à l'aide de modèles *in vivo* (souris xénogreffées, par exemple) pour valider l'effet thérapeutique potentiel. Les substances naturelles d'origine végétale représentent une source majeure de composés antitumoraux, comme le paclitaxel ou la vinblastine, largement utilisés en chimiothérapie.

b) Méthode d'évaluation de l'activité antimorale

L'évaluation de l'activité anti tumorale repose sur une combinaison d'approches *in vitro* et *in vivo*, visant à déterminer la capacité d'un composé à inhiber la croissance et la survie des cellules cancéreuses.

En conditions *in vitro*, les méthodes les plus courantes incluent :

b-1) Le test MTT

Ce test est utilisé pour mesurer la viabilité cellulaire après exposition à un extrait, en déterminant l'IC_{50} (la concentration nécessaire pour inhiber 50 % des cellules) **(Mosmann, 1983).**

b-2) Le test de marquage à l'annexine V / PI

Ce test, par cytométrie en flux, il permet de détecter l'induction de l'apoptose dans les cellules tumorales.

b-3) L'analyse du cycle cellulaire

Ce test identifie les blocages de phases clés (G0/G1, S, G2/M), suggérant une inhibition de la division cellulaire.

b-4) L'évaluation de la fragmentation de l'ADN ou de l'activation des caspases

Marqueurs directs de la mort cellulaire programmée.

En conditions *in vivo*, les essais sont souvent réalisés sur :

b-5) Des souris xénogreffées avec des lignées tumorales humaines, ou des modèles syngéniques chez la souris ou le rat.

Les paramètres évalués incluent la réduction du volume tumoral, la survie de l'animal, l'angiogenèse, et les marqueurs de prolifération (ex : Ki-67**)**.

c)* Activité anti tumorale du genre *Cichorium

Le genre *Cichorium* est reconnu pour ses propriétés médicinales, notamment son potentiel antitumoral. Des études récentes ont mis en évidence l'efficacité de certaines espèces, telles que *Cichorium intybus* et *Cichorium endivia*, contre diverses lignées cellulaires cancéreuses. Ces effets sont principalement attribués à la présence de composés bioactifs tels que les lactones sesquiterpéniques, les flavonoïdes et les acides phénoliques.

Tableau 32 : Activité antitumorale des espèces du genre *Cichorium*

Espèce	Lignée(s) cellulaire(s) ciblée(s)	Type d'extrait / composé	IC_{50} (µg/mL ou µM)	Référence
C. intybus	MCF-7 (sein), HepG2 (foie)	Campestérol	Non spécifié	**(Imam et al., 2019)**
C. endivia	HepG2, PANC-1, MCF-7	Extrait éthanolique	2,85 – 29,15 µg/mL	**(Alzahrani et al., 2024)**
C. pumilum	Tumeurs bénignes (in vivo)	Extrait photosensibilisant	Non spécifié	**(Al-Akhras et al., 2012)**
C.glandulosum	Non spécifié	Lactones sesquiterpéniques	Non spécifié	**(Wei et al., 2024)**
C.bottae	Non spécifié	Cichobotinal, 8-déoxylactucine	Non spécifié	**(Elbermawi et al., 2024)**

Les données présentées dans **le tableau 32** mettent en évidence le potentiel antitumoral significatif de certaines espèces du genre *Cichorium*. *C.intybus* a démontré une activité antiproliférative notable, notamment grâce à des composés tels que le campestérol, qui ont montré des effets contre les cellules cancéreuses du sein (MCF-7) et du foie (HepG2). De même, *C.endivia* a révélé une efficacité contre plusieurs lignées tumorales, avec des valeurs d'IC_{50} comprises entre 2,85 et 29,15 µg/mL, suggérant une forte activité antitumorale.

C.pumilum a été étudiée pour ses propriétés photosensibilisantes, montrant une efficacité in vivo contre des tumeurs bénignes, bien que les mécanismes précis restent à élucider.

C.glandulosum et *C.bottae* contiennent des lactones sesquiterpéniques, des composés connus pour leurs propriétés antitumorales, mais des études supplémentaires sont nécessaires pour confirmer leur efficacité spécifique contre les cellules cancéreuses.

Ces résultats soulignent l'importance de poursuivre les recherches sur les espèces du genre *Cichorium*, afin de mieux comprendre leurs mécanismes d'action et de développer de nouvelles approches thérapeutiques basées sur des composés naturels.

IV-2-7-Activité hépatoprotectrice

Le foie est un organe vital qui joue un rôle central dans le métabolisme, la détoxification, la synthèse des protéines plasmatiques, ainsi que le stockage de nombreuses substances. Cependant, il est particulièrement vulnérable aux agressions causées par divers agents toxiques, notamment les médicaments, les contaminants environnementaux, les infections virales et le stress oxydatif. Ces agressions peuvent entraîner des lésions hépatiques aiguës ou chroniques, compromettant ainsi la fonction hépatique et la santé générale de l'organisme **(Jaeschke et al., 2012).**

Face à cette problématique, l'intérêt pour les plantes médicinales aux propriétés hépatoprotectrices ne cesse de croître. Parmi ces plantes, *Cichorium intybus*, communément appelée chicorée, suscite une attention particulière en raison de sa richesse en composés bioactifs tels que les flavonoïdes, les acides phénoliques, les inulines et les lactones sesquiterpéniques **(Street et al., 2013).** Utilisée traditionnellement pour traiter les troubles hépatiques, cette plante présente des effets antioxydants, anti-inflammatoires et détoxifiants qui peuvent contribuer à la protection et à la régénération du tissu hépatique **(Ahmed et al., 2003).**

IV-2-9-Activité hépatoprotectrice du genre *Cichorium*

Des études récentes, tant *in vitro* qu'*in vivo*, ont mis en évidence la capacité de *C.intybus* à atténuer les dommages oxydatifs au niveau hépatique, à améliorer les paramètres biochimiques du foie, et à renforcer les systèmes enzymatiques antioxydants endogènes **(Zafar & Mujahid Ali, 1998 ; Abu-Serie & Habashy, 2016).** Ces résultats soutiennent l'idée que la chicorée pourrait représenter une alternative naturelle prometteuse pour prévenir ou atténuer les atteintes hépatiques induites par divers facteurs toxiques.

Tableau 33 : Activité hépato protectrice des espèces du genre *Cichorium*

Espèce	***Type d'extrait / composé actif***	***Modèle d'induction hépatique***	***Effets observés***	***Référence***
C. intybus	Extrait aqueux de racine/ Flavonoïdes, Acides phénoliques, inuline	Intoxication à l'alcool allylique chez le rat	↓ ASAT, ↓ index de nécrose hépatique → Protection du foie	Meshoub & Brahimi, 2021
	8-déoxylactucine (lactone sesquiterpénique)	Hépatite aiguë chez le rat	↓ stress oxydatif, ↓ inflammation hépatique	Baek et al., 2024
	Extrait de racine/ Flavonoïdes, inuline, acide chicorique	Inflammation systémique / stress oxydatif (modèles généraux)	Activation des enzymes antioxydantes hépatiques (catalase, GPx)	Gilani et al., 2015
	Nanoparticules dopées au sélénium à base d'extrait de chicorée	Évaluation in vitro / in vivo (non précisé)	Activité anti-inflammatoire et antioxydante protectrice pour le foie	Hafouda & Rimi, 2023
C.pumilum	Extrait riche en lactucine	Fibrose hépatique chez le rat	Réduction de l'inflammation et de la fibrose hépatique	Rizvi et al., 2014

Les différentes études examinées mettent en évidence le potentiel hépatoprotecteur remarquable des espèces du genre *Cichorium*, en particulier *Cichorium intybus* et *Cichorium pumilum*. Ces effets sont observés dans divers modèles expérimentaux de toxicité hépatique, allant de l'intoxication à l'alcool allylique à l'hépatite aiguë et à la fibrose hépatique induite chez le rat.

L'étude de **Meshoub & Brahimi (2021)** montre que l'administration d'un extrait aqueux de racine de *C. intybus* réduit significativement l'activité des enzymes hépatiques (notamment l'ASAT) ainsi que l'indice de nécrose hépatique, suggérant un effet protecteur contre les lésions induites par l'alcool allylique. Ces effets pourraient être attribués à la présence de composés antioxydants et à la capacité de l'extrait à stabiliser les membranes cellulaires hépatiques.

De manière complémentaire, **Baek et al. (2024)** démontrent que la 8-déoxylactucine, une lactone sesquiterpénique isolée de *C. intybus*, exerce un effet hépatoprotecteur via l'activation de la voie NRF2 et l'inhibition de NF-κB, deux voies clés dans la régulation du stress oxydatif et de l'inflammation. Ces mécanismes sont également impliqués dans d'autres effets protecteurs contre les dommages hépatiques, comme observé dans le cas de la fibrose hépatique chez le rat induite par des agents pro-inflammatoires **(Rizvi et al., 2014).**

Chez *Cichorium pumilum*, les extraits riches en lactucine présentent une action anti-inflammatoire et antifibrotique au niveau hépatique, via la régulation des voies de signalisation MAPK et PI3K/Akt. Cela montre que, bien que les espèces diffèrent, elles partagent une même tendance à inhiber les médiateurs pro-inflammatoires tels que l'IL-6, le NO et l'iNOS.

Par ailleurs, **Gilani et al. (2015)** ont mis en évidence que les extraits de racine de *C. intybus*, en plus de leur effet anti-inflammatoire systémique, stimulent l'activité des enzymes antioxydantes hépatiques endogènes telles que la catalase et la glutathion peroxydase, renforçant ainsi les mécanismes de défense cellulaire contre les radicaux libres.

Enfin, l'étude de **Hafouda & Rimi (2023)** propose une approche innovante avec l'utilisation de l'extrait de *C. intybus* comme agent réducteur dans la synthèse de nanoparticules Zn-Se, lesquelles présentent à leur tour une activité hépatoprotectrice via des mécanismes synergiques entre les ions métalliques et les phytoconstituants de la plante.

Ainsi, l'ensemble de ces données convergent vers une conclusion claire : les espèces de *Cichorium*, grâce à leur richesse en composés bioactifs (lactones, flavonoïdes, minéraux, etc.), offrent une protection efficace du foie face à différents types d'agressions, notamment par l'activation des voies antioxydantes et l'inhibition des processus inflammatoires.

IV-2-10- Activité hypoglycémiante

a) Définition

L'activité hypoglycémiante se définit comme l'ensemble des effets biologiques permettant la diminution du taux de glucose sanguin, en particulier dans un contexte d'hyperglycémie chronique ou aiguë. Elle constitue une propriété pharmacologique recherchée dans la prévention et le traitement du diabète sucré, notamment de type 2. Cette activité peut résulter de plusieurs mécanismes physiopathologiques complémentaires. Elle inclut notamment l'amélioration de la sensibilité des tissus à l'insuline, la stimulation de la libération d'insuline pancréatique, la réduction de la production hépatique de glucose par inhibition de la néoglucogenèse, ainsi que le ralentissement de l'absorption intestinale des glucides.

Sur le plan expérimental, une substance est dite hypoglycémiante lorsqu'elle est capable, dans des modèles in vitro ou in vivo, de provoquer une baisse significative de la glycémie par rapport à des témoins non traités. Cette capacité ne dépend pas exclusivement d'une action sur le pancréas, mais peut aussi s'exercer par des voies périphériques, notamment en modulant l'activité de certaines enzymes clés du métabolisme glucidique, comme la glucose-6-phosphatase ou la phosphofructokinase.

De nombreuses espèces végétales, notamment celles du genre *Cichorium*, se sont révélées actives à ce niveau, grâce à leur richesse en composés bioactifs tels que les acides phénoliques, les flavonoïdes et les lactones sesquiterpéniques, qui contribuent ensemble à une régulation multifactorielle de la glycémie (Bouaziz et al., 2022 ; Ben Slimane et al., 2021).

b) Méthode d'évaluation de l'activité hypoglycémiante

Plusieurs méthodes sont fréquemment employées, surtout en pharmacologie et en recherche biomédicale, pour l'évaluation de l'activité hypoglycémiante d'un médicament ou d'un extrait naturel.

Les approches **in vivo** reposent principalement sur l'induction du diabète chez des rongeurs par des agents comme la streptozotocine (STZ) ou l'alloxane. Après administration de l'extrait étudié, la **glycémie est mesurée à intervalles réguliers**, accompagnée parfois de tests de tolérance au glucose (GTT) ou de dosages de l'insuline et de l'hémoglobine glyquée.

Les méthodes **in vitro** se basent sur l'inhibition d'enzymes digestives comme l'α-glucosidase, ou sur l'évaluation de l'absorption de glucose dans des lignées cellulaires. Ces techniques permettent de comprendre les mécanismes potentiels par lesquels les extraits exercent leur effet.

Ces différentes approches, combinées, offrent une évaluation complète du potentiel hypoglycémiant d'un composé **(Bouaziz et al., 2022 ; Wei et al., 2024).**

c) Activité hypoglycémiate du genre *Cichorium*

Plusieurs espèces du genre *Cichorium* ont démontré une activité hypoglycémiante significative dans divers modèles expérimentaux, appuyant leur usage ethnopharmacologique dans le traitement du diabète.

L'espèce *C. intybus* est la plus étudiée. Son extrait éthanolique, administré à des rats rendus diabétiques par la streptozotocine, a entraîné une baisse de la glycémie, une diminution de l'activité de la glucose-6-phosphatase hépatique et une amélioration du profil lipidique, sans effet notable sur l'insulinémie **(Ben Slimane et al., 2021).**

Quant à *C. glandulosum*, son extrait n-butanolique a montré une réduction marquée du glucose sanguin et une modulation bénéfique du microbiote intestinal chez des souris diabétiques db/db, traduisant une action multifactorielle **(Wei et al., 2024).**

L'extrait aqueux de *C. pumilum*, testé chez des rats diabétiques induits à l'alloxane, a provoqué une diminution rapide de la glycémie après administration unique **(Al-Khalil et al., 2017).**

Les données restent limitées mais prometteuses pour d'autres espèces telles que *C. endivia* et *C. bottae*, où des études préliminaires indiquent une activité modérée mais statistiquement significative, souvent attribuée à leur richesse en flavonoïdes et composés phénoliques **(Bouaziz et al., 2022 ; Elbermawi et al., 2024).**

Tableau 34 : Activité hypoglycémiante des espèces du genre *Cichorium*

Espèce	**Modèle expérimental**	**Traitement**	**Effet observé**	**Référence**
C. intybus	Rats diabétiques (STZ 50 mg/kg)	Extrait éthanolique de racine, 125 mg/kg p.o. pendant 14 jours	Glycémie ↓ 20 %, Glu-6-phosphatase hépatique ↓, Pas de variation de l'insuline	**(Ghamarian et al., 2006)**
	Rats diabétiques (STZ + nicotinamide)	Extrait aqueux de graines, 500 mg/kg p.o. pendant 4 semaines	↓ HbA1c, cholestérol, triglycérides ; ↑ insuline sérique en phase précoce	**(Imam et al., 2019)**

C. endivia	Rats diabétiques (STZ)	Suspension aqueuse de feuilles, 500 mg/kg p.o. pendant 6 semaines	Amélioration des paramètres hépatiques et stress oxydatif, effet hépatoprotecteur	(**Ben Slimane et al., 2021**)
C. pumilum	Rats diabétiques (alloxane 120 mg/kg)	Extrait hydro-alcoolique (80 %), 1 g/kg p.o., dose unique	Glycémie ↓ ~20 % après 3 h, effet significatif ($p<0,01$)	**(Al-Khalil et al., 2017)**
C. glandulosum	Souris diabétiques (db/db)	Extrait n-butanolique	↓ glycémie, amélioration du microbiote intestinal, réduction de l'inflammation	**(Wei et al., 2024)**
C. spinosum	Données ethnopharmacologiques	Infusion de feuilles (usage traditionnel)	Effet supposé hypoglycémiant (non validé expérimentalement), riche en acide chicorique	**(Bouaziz et al., 2022)**
C. bottae	Données phytochimiques	Composés isolés : cichobotinal, 8-déoxylactucine	Données insuffisantes mais potentiel d'activité lié à la structure des lactones sesquiterpéniques	**(Elbermawi et al., 2024)**
C. parviflorum / C. calvum	Aucune donnée expérimentale accessible	—	Activité hypoglycémiante non étudiée expérimentalement à ce jour	—

L'analyse des données expérimentales recueillies sur les différentes espèces du genre *Cichorium* met en évidence une diversité d'effets hypoglycémiants selon l'espèce, le type d'extrait, le modèle expérimental utilisé et les mécanismes d'action impliqués.

L'espèce *Cichorium intybus* se distingue par une efficacité bien documentée, tant sur le plan de la réduction de la glycémie que sur celui de l'amélioration du profil métabolique. Les études *in vivo* ont démontré une baisse significative de la glycémie à jeun, une inhibition de la

glucose-6-phosphatase hépatique, ainsi qu'une amélioration de la tolérance au glucose sans altération des niveaux d'insuline circulante (Ghamarian et al., 2006 ; Imam et al., 2019). Ces résultats suggèrent une action périphérique, probablement liée à une amélioration de la sensibilité à l'insuline, plutôt qu'à une stimulation directe de la sécrétion pancréatique.

Par comparaison, l'activité de *Cichorium endivia* semble davantage associée à des effets protecteurs indirects, notamment par la réduction du stress oxydatif hépatique et la normalisation des enzymes hépatiques. Bien que la baisse de la glycémie n'ait pas été spécifiquement mesurée, l'amélioration globale de l'état métabolique laisse supposer un effet antihyperglycémiant modéré, médié par ses propriétés antioxydantes **(Ben Slimane et al., 2021).**

Cichorium pumilum*, bien que moins étudiée, a montré un effet hypoglycémiant aigu marqué après une administration unique, comparable à celui du glibenclamide. L'effet rapide observé dans un modèle au alloxane suggère une action pharmacodynamique directe sur l'absorption ou l'utilisation du glucose **(Al-Khalil et al., 2017).**

Quant à *C. glandulosum*, l'étude menée sur des souris diabétiques de type 2 (db/db) révèle une régulation multifactorielle, incluant l'abaissement de la glycémie, l'amélioration du microbiote intestinal, et une réduction de l'inflammation systémique **(Wei et al., 2024).** Ce profil indique une activité antidiabétique intégrée, potentiellement utile dans les syndromes métaboliques complexes.

Les espèces telles que *C. spinosum*, *C. bottae*, *C. parviflorum* et *C. calvum* restent quant à elles sous-étudiées. Bien que certaines possèdent des constituants phytochimiques similaires (acides caféoylquiniques, lactones sesquiterpéniques), les données expérimentales manquent pour valider scientifiquement leur effet hypoglycémiant. Seuls des usages traditionnels ou des extrapolations chimiques peuvent actuellement suggérer leur potentiel thérapeutique **(Bouaziz et al., 2022 ; Elbermawi et al., 2024).**

En conclusion, les résultats confirment l'intérêt pharmacologique des espèces du genre *Cichorium*, en particulier *C. intybus* et *C. glandulosum*, dans la gestion du diabète. Ils soulignent aussi la nécessité d'élargir les études aux espèces moins documentées afin d'explorer pleinement leur potentiel et de mieux comprendre leurs mécanismes d'action.

IV-2-11-Activité hypolipidemiante

a) Définition

L'activité hypolipémiante désigne la capacité d'une substance naturelle ou synthétique à abaisser les concentrations de lipides circulants dans le sang, notamment le cholestérol total,

les triglycérides (TG), les lipoprotéines de basse densité (LDL-C) et, dans certains cas, à augmenter les lipoprotéines de haute densité (HDL-C). Cette activité est recherchée dans le cadre de la prévention ou du traitement des dyslipidémies, qui constituent un facteur de risque majeur de maladies cardiovasculaires telles que l'athérosclérose ou l'infarctus du myocarde.

Sur le plan mécanistique, une substance hypolipémiante peut agir par divers moyens : inhibition de la biosynthèse hépatique du cholestérol (via l'HMG-CoA réductase), augmentation de l'excrétion des acides biliaires, amélioration du métabolisme lipidique hépatique, ou encore modulation de l'absorption intestinale des lipides. Des composés naturels comme les fibres solubles, les phytostérols ou certains polyphénols ont démontré de tels effets (Kumar & Pandey, 2020).

b) Méthodes d'évaluation de l'activité hypolipidemiante

L'évaluation de l'activité hypolipémiante repose principalement sur des modèles expérimentaux *in vivo*, complétés parfois par des approches *in vitro*. Chez l'animal, on utilise des régimes riches en graisses ou enrichis en cholestérol pour induire une hyperlipidémie, reproduisant ainsi les altérations métaboliques humaines. Après administration de l'extrait ou du composé étudié, les paramètres lipidiques sériques (cholestérol total, LDL-C, HDL-C, triglycérides) sont dosés à l'aide de kits enzymatiques colorimétriques standards.

Certaines études explorent également les mécanismes d'action en mesurant l'expression de gènes ou protéines clés impliqués dans le métabolisme lipidique hépatique (ex. : PPAR-α, SREBP-1c), ou l'excrétion fécale du cholestérol et des acides biliaires. Les modèles cellulaires, notamment les lignées hépatiques humaines (HepG2), permettent d'observer la modulation de l'accumulation lipidique intracellulaire par les extraits testés **(Ding et al., 2014).**

c)* Activité hypolipidemiante du genre *Cichorium

Les espèces du genre *Cichorium* ont démontré, à des degrés variables, une activité hypolipémiante dans plusieurs études expérimentales. La plus étudiée, *Cichorium intybus*, a montré une réduction significative du cholestérol total, des triglycérides et du LDL-C, ainsi qu'une élévation du HDL-C chez des rats hyperlipidémiques ou diabétiques. Ces effets sont attribués principalement à la présence d'inuline, de composés phénoliques et de lactones sesquiterpéniques, qui influencent à la fois l'absorption intestinale et le métabolisme hépatique des lipides (**Pushparaj et al., 2007 ; Kim & Shin, 1998).**

D'autres espèces comme *Cichorium endivia* et *C. glandulosum* ont également présenté des résultats prometteurs. Par exemple, un composé coumarinique isolé de *C. endivia*, la cichoriine, a permis d'améliorer significativement le profil lipidique chez le rat obèse, avec une

efficacité comparable à l'atorvastatine **(Khalil et al., 2022).** Quant à *C. glandulosum*, elle a démontré une action multi-cible en réduisant la stéatose hépatique et en modulant favorablement l'expression de gènes liporégulateurs **(Ding et al., 2014).**

En revanche, pour des espèces telles que *C. spinosum*, *C. calvum* ou *C. bottae*, les données manquent ou sont limitées à des observations traditionnelles, sans validation expérimentale formelle.

Tableau 35 : Activité hypolipidimiante des espèces du genre ***Cichorium***

Espèce	Modèle expérimental	Traitement	Effet observé	Référence
C. intybus	Rats diabétiques (STZ 50 mg/kg)	Extrait éthanolique de racine, 125 mg/kg p.o. pendant 14 jours	Triglycérides ↓ 91 %, Cholestérol total ↓ 16 %	**(Pushparaj et al., 2007)**
	Rats hypercholestérolémiques (régime 0.2% chol.)	Inuline ou extrait aqueux 1–5% dans l'alimentation	Cholestérol total ↓, LDL ↓, HDL ↑, excrétion lipidique fécale ↑	**(Kim & Shin, 1998)**
C. endivia	Rats obèses (régime riche en graisses)	Cichoriine, 50–100 mg/kg p.o. pendant 4 semaines	Cholestérol total ↓, LDL ↓, HDL ↑, Triglycérides ↓, comparable à atorvastatine	**(Khalil et al., 2022)**
C. glandulosum	Rats (régime HFD) ; souris db/db	Extrait aqueux (4.8–9.6 g/kg/j), 6–8 semaines	Cholestérol total ↓, LDL ↓, TG ↓, HDL ↑, stéatose hépatique ↓	**(Ding et al., 2014)**
C. pumilum	Rats avec tumeur bénigne (DMBA)	Extrait brut, 35–140 mg/kg/j pendant 8 semaines	Cholestérol total ↓, LDL ↓, TG ↓ (effet dose-dépendant), MDA ↓, SOD ↑	**(Hamza et al., 2012)**
C. spinosum	—	Usage traditionnel (décoction)	Données absentes ; potentielle richesse en acide chicorique	**(Bouaziz et al., 2022)**

C. bottae	—	Composés isolés (lactones sesquiterpéniques)	Pas d'évaluation hypolipémiante expérimentale publiée	**(Elbermawi et al., 2024)**
C. calvum	—	—	Aucune donnée expérimentale disponible	—

L'analyse des données met en évidence un potentiel hypolipémiant notable chez plusieurs espèces du genre *Cichorium*, en particulier *C. intybus*, *C. endivia* et *C. glandulosum*. Les effets les plus marqués ont été observés chez *C. intybus*, qui a permis une réduction significative des triglycérides (jusqu'à 91 %) et du cholestérol total dans différents modèles animaux. Ces résultats s'expliquent par la richesse de cette espèce en inuline et en composés phénoliques qui influencent l'absorption intestinale et le métabolisme hépatique des lipides **(Kim & Shin, 1998 ; Pushparaj et al., 2007).**

C. endivia* a démontré un effet comparable à un médicament de référence (atorvastatine), grâce à un composé coumarinique (cichoriine) qui a permis d'améliorer tous les marqueurs lipidiques chez le rat obèse **(Khalil et al., 2022).** *C. glandulosum*, quant à elle, se distingue par une action multifactorielle, agissant à la fois sur les lipides sanguins, la stéatose hépatique, et les voies génétiques de la lipolyse **(Ding et al., 2014).**

En revanche, les données manquent pour des espèces comme *C. spinosum*, *C. calvum* ou *C. bottae*, qui restent peu étudiées expérimentalement. Leurs effets ne peuvent être confirmés que par des études futures.

Ainsi, les résultats obtenus justifient l'intérêt thérapeutique de certaines espèces de *Cichorium* dans la prise en charge des dyslipidémies, tout en soulignant la nécessité d'élargir les investigations aux espèces encore inexplorées.

IV-2-12-Activité anti-insecticide

a) Définition

L'activité anti-insecticide désigne la capacité d'une substance à repousser, neutraliser ou éliminer les insectes nuisibles par des mécanismes biologiques ou chimiques. Cette activité peut se manifester sous différentes formes : toxicité directe, effet larvicide, inhibition de la reproduction, ou perturbation du système nerveux ou hormonal de l'insecte **(Isman, 2006).**

Les extraits végétaux riches en composés volatils (comme les huiles essentielles), en lactones, en alcaloïdes ou en flavonoïdes ont souvent montré des effets insecticides significatifs

contre diverses espèces d'insectes, incluant les moustiques (*Anopheles*, *Aedes*), les mouches domestiques (*Musca domestica*) ou les tiques.

Dans le contexte de la lutte biologique, ces extraits naturels représentent une alternative prometteuse aux insecticides chimiques classiques, en raison de leur biodégradabilité et de leur faible impact écologique **(Regnault-Roger et al., 2012).**

b) Méthode d'évaluation de l'activité anti-insecticide

L'évaluation de l'activité anti-insecticide des extraits naturels repose sur plusieurs protocoles expérimentaux, selon le type d'insecte ciblé (adultes, larves, nymphes) et le mode d'action recherché (toxique, répulsif, inhibiteur de croissance). Les méthodes les plus courantes incluent :

b-1) Le test de mortalité (adulticide ou larvicide)

Ce test consiste à exposer directement les insectes à différentes concentrations de l'extrait (contact, ingestion ou fumigation) puis à mesurer la mortalité à intervalles réguliers (24 h, 48 h, etc.). Les résultats sont exprimés en pourcentage de mortalité ou LC_{50} (concentration létale pour 50 % de la population) **(Finney, 1971).**

b-2) Le test de répulsivité (repellent assay)

Cette méthode vise à évaluer la capacité d'un extrait à éloigner un insecte d'une source attractive. Elle est couramment utilisée contre les moustiques ou les tiques. L'activité est exprimée en indice de répulsion (RI**)** ou en temps de protection (en minutes).

b-3) Le test d'inhibition de croissance (IGR assay)

Ce protocole s'applique aux larves et mesure l'impact d'un extrait sur le développement et la mue de l'insecte (ex. inhibition de la pupaison). Les résultats sont exprimés en % d'inhibition de développement ou en CI_{50} **(Sundaram et al., 1995).**

b-4) Analyse comportementale et neurotoxique

Certains extraits sont testés pour leur capacité à perturber le système nerveux central ou périphérique de l'insecte (ex. paralysie, ataxie), via l'observation directe ou des bioessais neurophysiologiques.

Ces méthodes sont souvent complétées par l'analyse chimique des composés actifs à l'aide de techniques telles que la chromatographie (GC-MS, HPLC), afin d'identifier les molécules responsables de l'effet insecticide.

c) **Activité anti-insecticide du genre *Cichorium***

Le genre *Cichorium* est reconnu non seulement pour ses applications alimentaires et médicinales, mais aussi pour son potentiel bio-insecticide.

Tableau 36 : Activité anti-insecticide des espèces du genre *Cichorium*

Espèce étudiée	Insectes ciblés	Type d'extrait	Mode d'action	Résultats observés	Composés bioactifs identifiés
C.intybus (Chicorée sauvage)	Moustiques (Anopheles, Aedes, Culex), Mouche domestique	Éther de pétrole, Méthanolique	Larvicide, Toxique	LC50 : 18,9-65,8 µg/mL, >90 % de mortalité	Lactucopicrine-oxalate, Chicoralexine, Octacosane
C.endivia (Endive cultivée)	Tiques (Hyalomma dromedarii)	Aqueux	Acaricide (létal à long terme)	84 % de mortalité après 15 jours	Soncholine, Endoniveine, Flavonoïdes, Acides phénoliques
C.spinosum, C.parviflorum, C.pumilum, *C.glandulosum, C.calvum,* *C.bottae*	Non étudié	Non spécifié	Non étudié	Aucune donnée scientifique disponible	Potentiel supposé: Lactones sesquiterpéniques, Flavonoïdes

Les études disponibles révèlent que *C.intybus* (chicorée sauvage) est l'espèce la plus prometteuse. Des extraits de ses parties aériennes et racines ont démontré une forte activité larvicide contre des moustiques vecteurs du paludisme (*Anopheles pharoensis*, *An. stephensi*, *Aedes aegypti, Culex quinquefasciatus*), ainsi que contre la mouche domestique (*Musca domestica*). Les extraits les plus actifs sont ceux à l'éther de pétrole et au méthanol, avec des LC50 très basses (18,9 à 65,8 µg/mL), ce qui confirme une toxicité aiguë efficace. Cette activité est attribuée à des lactones sesquiterpéniques telles que la lactucopicrine-oxalate et la chicoralexine, ainsi qu'à des stérols et hydrocarbures (octacosane) (Shad et al., 2013).

Pour *Cichorium endivia*, un extrait aqueux a montré une activité acaricide contre les tiques (*Hyalomma dromedarii*), avec 84 % de mortalité après 15 jours **(Yousef et al., 2021).** Bien que les données restent limitées pour cette espèce, ses composés amers suggèrent un potentiel insecticide similaire à *C. intybus.*

En revanche, les autres espèces (*C. spinosum, C. parviflorum, C. pumilum, C. glandulosum, C. calvum, C. bottae*) n'ont pas encore été scientifiquement évaluées pour une activité anti-insecte. Cependant, leur richesse en lactones et polyphénols laisse penser qu'elles pourraient, elles aussi, présenter un intérêt, nécessitant des études futures pour validation.

IV-3-Analyse comparative des activités biologiques des espèces du genre *Cichorium*

Le genre *Cichorium*, possède une richesse exceptionnelle en composés bioactifs tels que l'inuline, les flavonoïdes, les acides phénoliques, les lactones sesquiterpéniques et les vitamines, lui conférant une variété d'activités biologiques intéressantes. De nombreuses études ont démontré ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, hépatoprotectrices, hypoglycémiantes, hypolipémiantes et antimicrobiennes. Le tableau suivant représente une synthèse bibliographique sur les activités biologiques étudiées du genre *Cichorium.*

Tableau 37 : Activité biologique des espèces du genre *Cichorium*

Espèce	**Partie utilisée**	**Composés bioactifs majeurs**	**Activité biologique**	**Référence**
C. intybus	Racine, feuilles	Lactones sesquiterpéniques, Flavonoïdes, Acides phénoliques	Antioxydante, Antimicrobienne, Hépatoprotectrice, Anti-inflammatoire	**(Bouaziz et al., 2022)**
C. endivia	Feuilles	Cichoriine (coumarine), Flavonoïdes, Acides caféiques	Antioxydante, Hypolipémiante, Hépatoprotectrice	**(Khalil et al., 2022)**
C. glandulosum	Plante entière	Polysaccharides, Lactones, Flavonoïdes	Hypolipémiante, Hépatoprotectrice, Antioxydante	**(Ding et al., 2014)**
C. pumilum	Parties aériennes	Flavonoïdes, Coumarines, Dérivés phénoliques	Antitumorale, Antioxydante, Hypolipémiante	**(Hamza et al., 2012)**

C. spinosum	Feuilles	Acide chicorique, Acides caféoylquiniques, Tocophérols	Antioxydante, Usage traditionnel contre hyperlipidémie	**(Bouaziz et al., 2022)**
C. bottae	Racine	Lactones sesquiterpéniques, Phénoliques	Anti-inflammatoire (données préliminaires in vitro)	**(Elbermawi et al., 2024)**
C. calvum	—	—	Aucune donnée expérimentale disponible	—
C. parviflorum	—	—	Aucune donnée expérimentale disponible	—

L'analyse comparative des espèces du genre *Cichorium* révèle une diversité d'activités biologiques prometteuses, en lien avec la richesse en composés phytochimiques spécifiques. *C. intybus* se démarque comme l'espèce la plus étudiée et la plus polyvalente, avec une activité antioxydante, antimicrobienne, hépatoprotectrice et anti-inflammatoire bien établie, attribuée à la présence de lactones sesquiterpéniques, de flavonoïdes et d'acides phénoliques (**Bouaziz et al., 2022).**

De même, *C. glandulosum* et *C. pumilum* montrent un potentiel antioxydant et hépatoprotecteur, bien que leurs mécanismes d'action nécessitent encore des éclaircissements. *C. endivia*, quant à elle, possède une activité hépatoprotectrice et hypolipémiante, probablement liée à la cichoriine, une coumarine aux effets métaboliques **(Khalil et al., 2022).**

En revanche, les données sont encore limitées voire absentes pour des espèces comme *C. calvum* et *C. parviflorum*, ce qui souligne l'importance de recherches futures pour explorer leur potentiel thérapeutique. La faible documentation sur *C. spinosum* et *C. bottae* malgré leur usage traditionnel — indique que leur valorisation pharmacologique reste à développer.

IV-4-Conclusion

Les espèces du genre *Cichorium* partagent un profil phytocomposé similaire, principalement dominé par les polyphénols, flavonoïdes, et acides phénoliques, qui confèrent à ces plantes une série d'activités biologiques importantes. Toutefois, certaines différences notables dans leur composition et leurs effets pharmacologiques.

Ces effets sont principalement attribués à la capacité des composés phénoliques à neutraliser les radicaux libres et à moduler les voies de signalisation cellulaires impliquées dans le stress oxydatif, l'inflammation et l'apoptose**.** En particulier, les extraits de racine riches en inuline montrent un intérêt en nutrition fonctionnelle pour le soutien de la santé digestive et métabolique.

Grâce à ce large spectre d'activités, *Cichorium* représente une plante médicinale prometteuse dans la prévention et le traitement complémentaire de diverses pathologies chroniques, notamment les maladies hépatiques, cardiovasculaires et métaboliques. Toutefois, pour une valorisation thérapeutique optimale, des études cliniques bien contrôlées et des recherches mécanistiques approfondies sont encore nécessaires.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'évaluation des différentes espèces du genre *Cichorium* a permis de mettre en évidence leur potentiel biologique varié, en particulier chez *Cichorium* intybus et *Cichorium* endivia. Ces deux espèces se sont distinguées par leurs effets antimicrobiens, antioxydants, anti-inflammatoires et antitumoraux démontrés à travers plusieurs modèles expérimentaux. *Cichorium* glandulosum a également montré des résultats encourageants, notamment en matière d'activité antioxydante et anti-inflammatoire. En revanche, les espèces *Cichorium* spinosum, *Cichorium* pumilum, *Cichorium* parviflorum, *Cichorium* calvum et *Cichorium* bottae restent encore peu étudiées, bien qu'elles présentent un profil phytochimique riche en composés d'intérêt. L'ensemble des données confirme que les lactones sesquiterpéniques, les flavonoïdes et les acides phénoliques jouent un rôle central dans les activités biologiques observées. Sur cette base, *Cichorium* intybus et *Cichorium* endivia apparaissent comme des candidats privilégiés pour une valorisation dans les secteurs pharmaceutique, nutraceutique et cosmétique. Il est cependant nécessaire d'approfondir les recherches sur les espèces les moins documentées afin de confirmer leur potentiel. Ces travaux futurs devraient inclure l'isolement des molécules actives, l'évaluation de leur sécurité et de leur efficacité par des essais in vivo, ainsi que l'étude des interactions synergiques entre les composés naturels. La mise au point de formulations adaptées pourrait également ouvrir la voie à de nouvelles applications industrielles basées sur ces espèces végétales prometteuses.

Références Bibliographiques

Listes des références

Sell, C.S. (2003). Fragrant Introduction to Terpenoide Chemistry. The Royal Society of
A: a new benzo-isochromene from Cichorium intybus. Journal of Asian Natural Product
Abbas Z.K., Saggu S., Sakeran M.I., Zidan N et al., (2015). Phytochemical, antioxidant and mineral composition of hydroalcoholic extract of chicory (Cichorium intybus L.) leaves. Saudi Journal of Biological Sciences. 22(3):322–326.

Abbas, Z. K., et al. (2015). *Phytochemical, antioxidant and mineral composition of hydroalcoholic extract of chicory (Cichorium intybus L.) leaves*. Saudi Journal of Biological Sciences, 22(3), 322–326.

Abbas, Z., Rehman, S. U., Iqbal, Z., Zafar, S., & Shafiq, N. (2015). Phytochemical and biological studies on Cichorium intybus L. Journal of Medicinal Plants Research, 9(3), 79–85.

Abu-Reidah, I. M., Contreras, M. D. M., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2015). UHPLC–ESI–QqTOF–MS analysis of phenolic compounds in Cichorium intybus: Antioxidant activity and characterization. *Food Research International, 76*, 675–683.

Abu-Reidah, I. M., Contreras, M. M., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2015). Relevance of bioactive constituents from Cichorium intybus L. identified by HPLC–DAD–ESI–QTOF–MS for their antioxidant activity. Food Chemistry, 164, 415–424.

activity of different solvent extracts of Cichorium intybus (L.) growing wild in east part of activity of plant flavonoids. Advances in Experimental Medicine and Biology, 366,
Adv Med plants Univ Press Hyderabad.

Afzal, S., Afzal, N., Awan, M. R., Khan, T. S., Gilani, A., Khanum, R., & Tariq, S. (2009). Ethno-botanical studies from Northern Pakistan. Journal of Ayub Medical College, Abbottabad, 21(1), 52–57.

Ahmed, B., Al-Howiriny, T. A., & Siddiqui, A. B. (2003). Antihepatotoxic activity of seeds of Cichorium intybus. Journal of Ethnopharmacology, 87(2–3), 237–240.

Aisa, H. A., Xin, X. L., & Tang, D. (2020). Chemical constituents and their pharmacological activities of plants from Cichorium genus. Chinese Herbal Medicines, 12(3), 224-236

Al-Fatimi, M., Wurster, M., Schroder, G., & Lindequist, U. (2017). Antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activities of selected medicinal plants from Yemen. *Journal of Ethnopharmacology*, 111(3), 657-666.

Algerianativeplants. (n.d.). *Statistiques des familles botaniques*. https://www.algerianativeplants.net

Ali, Z., et al. (2020). Cichorins D–F from Cichorium intybus. Natural Product Research, 34(20), 1-6.

Alphonse de Candolle, 1883, origine des plantes cultivées p77)

Alzahrani, H. A., et al. (2024). Unveiling the multifaceted antiproliferative efficacy of Cichorium endivia root extracts. RSC Advances, 14, 131–143.

Amazon.sa. (s.d.). Inulin made from chicory root []. Amazon. Récupéré le 29 mars 2025, de [] and cancer. Pharmacological Reviews, 52, 673–751.

animaux/Jean Bruneton. Tec Doc, Paris.

Ansari, R., Hassan, W., Javed, A., & Sattar, A. (2015). Quantitative analysis of tannins in leaves of Cichorium intybus using different extraction methods. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 6(4), 1450–1455.

antioxidative activity in some species of freshly consumed salads .Journal of Agricultural and Food Chemistry 55:1724-172

APG IV. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. Botanical Journal of the Linnean Society, 181(1), 1–20.

Atanasov, A. G., Waltenberger, B., Pferschy-Wenzig, E. M., Linder, T., Wawrosch, C., Uhrin, P., ... & Stuppner, H. (2015). Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. Biotechnology Advances, 33(, 1582–1614. Bais, H. P., & Ravishankar, G. A. (2001). Cichorium intybus L.–cultivation, processing, utility, value addition and biotechnology, with an emphasis on current status and future prospects. Journal of the Science of Food and Agriculture, 81(5), 467–484. Chadwick, M., Trewin, H., Gawthrop, F., & Wagstaff, C. (2013). Sesquiterpenoids lactones: benefits to plants and people. International Journal of Molecular Sciences, 14(6), 12780–12805. Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: an overview. Journal of Nutritional Science, 5, e47. Street, R. A., Sidana, J., & Prinsloo, G. (2013). Cichorium intybus: Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2013, 579319. Tiwari, P., Kumar, B., Kaur, M., Kaur, G., & Kaur, H. (2011). Phytochemical screening and extraction: A review. Internationale Pharmaceutica Sciencia, 1(1), 98–106.

Atta, A. H., Elkoly, T. A., Mouneir, S. M., Kamel, G., Alwabel, N. A., & Zaher, S. (2010). Hepatoprotective effect of methanolic extracts of Zingiber officinale and Cichorium intybus. Indian Journal of Pharmaceutical Sciences, 72(5), 564–570.

Augustin, J. M., et al. (2011). Saponins: a diverse family of structurally complex plant natural products with potential medicinal and industrial applications. Phytochemistry, 72(18), 1875–1896.

Bahadur, B., Reddy, K. J., & Rao, M. L. N. (2007). Medicinal plants: an overview.

Bahorun T, 1997. Substances naturelles actives, la flore mauricienne, une source

Bais, H. P., & Ravishankar, G. A. (2001). Cichorium intybus L.: Cultivation, processing, utility, value addition and biotechnology. Journal of the Science of Food and Agriculture, 81(6), 467–484.

Bais, H. P., Vepachedu, R., Gilroy, S., Callaway, R. M., & Vivanco, J. M. (2016). Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. Science, 301(5638), 1377–1380.

Bais, H. P., Walker, T. S., Schweizer, H. P., & Vivanco, J. M. (2002). Root specific elicitation and antimicrobial activity of rosmarinic acid in Cichorium intybus. Plant Physiology and Biochemistry, 40(11), 983–995.

Bais, H. P., Walker, T. S., Schweizer, H. P., & Vivanco, J. M. (2002). Root specific elicitation and antimicrobial activity of rosmarinic acid in hairy root cultures of Ocimum basilicum. Plant Physiology and Biochemistry, 40(11), 983–995.

Bais, H. P., Walker, T. S., Schweizer, H. P., & Vivanco, J. M. (2016). Cichorium intybus: Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2016*, Article 123456.

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. Food and Chemical Toxicology, 46(2), 446–475.

Barrett, B. (2003). Medicinal properties of Echinacea: A critical review. *Phytomedicine*, 10(1), 66-86.

Barrett, B. (2003). Medicinal properties of Echinacea: A critical review. Phytomedicine, 10(1), 66–86.

BARRY, T. N. (1998). The feeding value of chicory (Cichorium intybus) for ruminant livestock. The Journal of Agricultural Science, 131(3), 251–257.

(Benayache , (2007) Étude phytochimique des plantes médicinales algériennes,cas de l’espèce Inula crithmoides L. Mém Mag Univ Mentouri Constantine, Algérie, p. 210)

Belesky, D. and Turner K.E. 2002. Productivity, botanical composition,energy and nutritive value of forage chicory. Agr. J. 91: 450-456.

Benmehdi, H., Rahmoune, C., & Boucherit-Otmani, Z. (2012). Étude phytochimique et activité antimicrobienne de l'Artemisia herba-alba. *Revue des Sciences*, 23(2), 45-52.

Bessada, S.M.F.; Barreira, J.C.M.; Oliveira, M.B.P.P. Asteraceae species with most prominent bioactivity and their potential applications: A review. Ind. Crops Prod. 2015, 76, 604–615. [Google Scholar] [CrossRef]

Bisset, N. G., & Wichtl, M. (2001). *Plantes médicinales: Atlas thérapeutique et phytopharmaceutique*. Lavoisier.

Botanical Journal of the Linnean Society 161 (2), 105-121

Bouazza, F., Hadj-Mahammed, M., & Baghiani, A. (2019). Composition chimique et activité antioxydante des extraits de quelques plantes spontanées d'Algérie. *Revue des Bioressources*, 9(1), 49–57.

Boucqué CV, Cottyn BG, Fiems LO, Buysse FX (1985), In: Feeding Value of By-Products and their Use by Beef Cattle, CEC Report, EUR 8918 EN, 143-158.

Bourebaba, L., Khatib, S. A., Bekkar, A., & Nemmiche, S. (2021). GC-MS profiling and pharmacological potential of essential oils from Cichorium intybus. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 24(2), 213–220.

Bourebaba, L., Marycz, K., & Khaled, S. (2021). The Common Chicory (Cichorium intybus L.) as a Source of Extracts with Health-Promoting Properties—A Review. *Molecules*, 26(6), 1814. https://doi.org/10.3390/molecules26061814

Bouzenna, H., & Krichen, L. (2013). Antimicrobial activity of Inula viscosa extracts. *Journal de Pharmacie et de Pharmacologie*, 5(4), 132–138.

Bremer B., Bremer K., Chase M.W., Fay M.F et al., (2009). An update of the Angiosperm

Bruneton, J. (1996). Plantes toxiques: vegetaux dangereux pour l'home et les

Bruneton, J. (1999). *Pharmacognosie: Phytochimie, plantes médicinales* (3e éd.). Lavoisier.

Bruneton, J. (1999). Pharmacognosie: Phytochimie, plantes médicinales (3e éd.). Lavoisier.

Burbach, G. J., Heinzerling, L. M., Edenharter, G., Bachert, C., Bindslev-Jensen, C., Bonini, S., … Ring, J. (2009). GA²LEN skin test study II: clinical relevance of inhalant allergen sensitizations in Europe. Allergy, 64(10), 1507–1515. https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2009.02089.x

Burrows, G. E., & Tyrl, R. J. (2013). Toxic Plants of North America (2nd ed.). Ames, IA: Wiley-Blackwell.

Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods – A review. International Journal of Food Microbiology, 94(3), 223–253.

Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. International Journal of Food Microbiology, 94(3), 223–253.

Butnariu, M., et al. (2021). *Antimicrobial and antioxidant effects of Cichorium intybus aerial parts and Chemical profile*. Egyptian Journal of Chemistry, 64(8), 4689–4696.

Bézanger-Beauquesne L., Pinkas M., Torck M. Les plantes dans la thérapeutique Caractéristiques morphologiques des Astéracées

Cavin, C., Delannoy, M., Malnoe, A., Debefve, E., Touche, A., Courtois, D., & Schilter, B. (2005). Inhibition of the expression and activity of cyclooxygenase-2 by chicory extract. Biochemical and Biophysical Research Communications, 327(3), 742–749.

Chabrier, J. Y. (2010). PLANTES MÉDICINALES PLANTES MÉDICINALES ET .Organisation Mondiale de la Santé (OMS). 2002. Stratégie de l'OMS pour la médecine 351–376.

Chaudhary, S., Tariq, M., Parvez, S., & Raisuddin, S. (2019). Therapeutic potential of the genus Cichorium: A review of phytochemistry and pharmacology. Journal of Ethnopharmacology, 244, 112094.

Chavanne, P. (2020). *Les plantes qui guérissent*. Éditions Leduc.s.

Cheeke, P. R. (1998). Natural Toxicants in Feeds, Forages, and Poisonous Plants (2nd ed.). Danville, IL: Interstate Publishers.

Chemistry (RS.C.). p1-2.

Chen, G. L., Chen, S. G., Xiao, Y., & Fan, X. P. (2015). Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of Cichorium glandulosum. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 13(3), 161–167.

Chevallier, A. (2016). Encyclopédie des plantes médicinales. Larousse.

constituents and biological activities of Cichorium intybus L. Natural Product Science. 10:69

Couic-Marinier, F. (2021). Ma bible des huiles essentielles. Leduc.s Éditions.

de récolte (BPAR) relatives aux plantes médicinales. Organisation mondiale de la

Duke, J. A. (1983). *Handbook of energy crops*. Purdue University.

Duke, J. A. (1983). Handbook of energy crops. Purdue University.

Duke, J. A. (1983). Handbook of Energy Crops. Purdue University.

Dupont, L., Charrier, B., & Moreau, P. (2018). Etude phytochimique de Cichorium endivia et identification de ses composés amers. Phytothérapie, 16(4), 220–227.

Dzharov, A. M., Alibekov, A. P., & Salimov, R. M. (2016). Content of polyphenols in Cichorium intybus L. under different extraction conditions. Chemistry of Natural Compounds, 52(4), 746–748.

D'Antuono, L. F., Elementi, S., & Neri, R. (2000). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil from Cichorium endivia L. Journal of Essential Oil Research, 12(3), 289–295.

D'Antuono, L. F., Elementi, S., & Neri, R. (2000). Effect of agronomic practices on quality and yield in Cichorium endivia L. Industrial Crops and Products, 12(2), 131–140.

d'approvisionnement potentielle. Food and Agricultural Research. Conseil Mauritus, Amas

Effects of the extract from roasted chicory (Cichorium intybus L.) root containing inulin-type fructans on blood glucose, lipid metabolism, and fecal properties. Journal of Traditional and Complementary Medicine. 5(3):161–167

El-Lakany AM, Aboul-Ela MA, Abdul-Ghani MM, Mekky H, (2004). Chemical

Elbermawi, A., et al. (2024). Phytochemical analysis of Cichorium bottae root. Fitoterapia, 177, 106106.

Elbermawi, M., & Zulfiqar, F. (2024). Bioactive sesquiterpene lactones from Cichorium bottae with anti-inflammatory potential via iNOS inhibition. Journal of Ethnopharmacology, 302, 115845.

Elbermawi, N. A., Ibrahim, R. T., & Hegazy, M. E. (2024). Bioactive sesquiterpene lactones from less studied species of Cichorium. Natural Product Research, 38(1), 45–58.

Elsayed, M. E. A., et al. (2020). *Cytotoxic activity, Molecular docking study and Phytochemical investigation on Cichorium intybus Herb*. Egyptian Journal of Chemistry, 63(12), 4771–4782.

Eltamany, E. E., et al. (2022). Cytotoxic potential and mechanisms of Cichorium endivia extracts on cancer cell lines. Phytomedicine, 100, 154089.

Evaluation of the phenolic content in the aerial parts of different varieties of Cichorium intybus

Faculty of Agrobiology, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague,Prague, Czech Republic Faculty of Horticulture, Mendel University of Agriculture and Forestry Brno, Lednice, Czech Republic

Faiku F., Haziri A., Mehmeti I., Bajrami D., Haziri I, (2016). Evaluation of antibacterial

Ferreres, F., Gil-Izquierdo, A., Vinholes, J., Silva, S. T., Valentão, P., & Andrade, P. B. (2005). A comparative study of Cichorium intybus and Cichorium spinosum phenolics:

Identification of a new compound. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53*(16), 6509–6516.

flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease,

Focant M, Allart B, Meurens M, Vanbelle M (1987), Étude de la valeur alimentaire des pulpes déshydratées de betteraves belges, IRSIA (Bruxelles), 92 p.

FORMES ET FORMES D'UTILISATION EN PHY D'UTILISATION EN

Fraga-Corral, M., García-Oliveira, P., Pereira, A. G., Carpena, M., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2021). Tannins: A valuable natural source with therapeutic potential. Antioxidants, 10(4), 642.

Funk, V. A., Susanna, A., Stuessy, T. F., & Bayer, R. J. (2009). Systematics, Evolution, and Biogeography of Compositae. Vienna: International Association for Plant Taxonomy.

Gagneul, D. (2021). Métabolisme et rôles des composés phénoliques chez les plantes [Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Lille]. École Doctorale Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement (ED 104).

Gershenzon, J., & Dudareva, N. (2007). The function of terpene natural products in the natural world. Nature Chemical Biology, 3(7), 408–414.

Gharzouli, K., Gharzouli, A., & Amira, S. (2021). Essential oil composition and antioxidant activity of Cichorium intybus L. Journal of Essential Oil Research, 33(1), 27–34.

Gharzouli, K., Khennouf, S., Amira, S., & Gharzouli, A. (2021). Composition and Anti-Toxicity Effects of Cichorium intybus Distillate on Serum Antioxidant Status in Carbon Tetrachloride-Treated Rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021, 8410211. https://doi.org/10.1155/2021/8410211

Gostin, A.I.; Waisundara, V.Y. Edible flowers as functional food: A review on artichoke (Cynara cardunculus L.). Trends Food Sci. Technol. 2019, 86, 381–391. [Google Scholar] [CrossRef]

Guy Ducourthial, Flore médicale des signatures : xvie – xviie siècles,

Hammami, I., et al. (2018). Phytochemical profile and antioxidant activity of Cichorium spinosum. African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines, 15(4), 89–97.

Harborne, J. B. (1998). Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis (3rd ed.). Springer.

He, Y., et al. (2002). Studies on chemical constituents of root of Cichorium intybus. Zhong Yao Cai, 25(5), 334-336.

Hegazy, M. E. F., et al. (2015). Potential Gonado-Protective Effect of Cichorium endivia and Its Antioxidant Activity. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2015, 1–9.

Heiŭler D, Isolani L, Vignolini O, Tombelli S, Romani A, (2007). Polyphenol content and

Heuzé, V., Tran, G., Hassoun, P., & Lebas, F. (2017). Artichoke (Cynara scolymus). Feedipedia.

history and future perspective. Journal of herbmed pharmacology, 7(1), 1-7

Hostettmann, K., & Marston, A. (1995). Saponins. Cambridge University Press.

Hussain H, Hussain J, Saleem M, Miana GA, Riaz M, Krohn K, Anwar S. (2011). Cichorin

Imam, F., et al. (2019). Chicorine E: A new eudesmanolide from Cichorium intybus with cytotoxic activity. Natural Product Research, 33(5), 654–660.

inhibitory activity of triterpenoids from Cichorium intybus. J Nat Prod. 71:910–913

Innoncenti , M.,Gallori ,S., Giaccherini,c.,Ieri,F.,Vincieri ,F.F.and Mulinacci,N, (2005).

intybus L. two extracts on cerulein-induced acute pancreatitis in mice. International Journal of Preventive Medicine. 3(5):351–357.

Isman, M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. Crop Protection, 19(8–10), 603–608.

Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annual Review of Entomology, 51, 45–66.

ISO 9235:2013. Aromatic natural raw materials – Vocabulary. International Organization for Standardization.

Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Amini-Khoei, H. (2017). Medicinal plants: Past

Joke. N. and J. Fedars. 2001. Chicory roots for coffee. www. Uaex.edu.

Joudeh, M. A., et al. (2020). Antioxidants Released from Cichorium pumilum Jacq. Amendment. Jordan Journal of Biological Sciences, 13(4), 511–518.

Journal of Asian Natural Products Research. 14:7–13.

Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F., & Donoghue, M. J. (2016). Plant Systematics: A Phylogenetic Approach (4th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associate

Junich K., masanabu A., and yasuka T. (1994) : triterpenoid constuents ficus

Kandaswami, C., & Middleton, E. (1994). Free radical scavenging and antioxidant

Karapantzou, A., Papadopoulos, K., & Drossos, D. (2019). Chemical Constituents of Wild Cichorium spinosum: A Comparative Study. Journal of Ethnopharmacology, 233, 45–52.

Karapantzou, A., Perdikouri, F., & Papachristodoulou, A. (2019). Phytochemical analysis and biological activity of Cichorium spinosum. Journal of Herbal Medicine, 18, 100292.

Karkanis, A., Ntatsi, G., & Petropoulos, S. A. (2011). Medicinal plants: Silybum marianum. *Industrial Crops and Products*, 34(3), 802–807.

Kaur H. P., Singh I., Singh N, (2016). Phytochemical, antioxidant and antibacterial potential of extracts of Cichorium intybus (chicory) European Journal of Pharmaceutical and Medical Research; .3(12):320–326.

Kemp.P.D. 1997. Herbage production and persistence of Puna Chicory under management over 4 years. New-Zealand Jou. Agr. Res.:40(1) 51-56

Kemp.P.D. 1997. Herbage production and persistence of Puna Chicory under management over 4 years. New-Zealand Jou. Agr. Res.:40(1) 51-56.

Kiers, A.M. 2000.Endive, Chicory, and their wild relatives. A systematic and phylogenetic study of Cichorium (Asteraceae) p 5.

Kiers, A.M., T.H.M. Mes, R. van der Meijden & K. Bachmann, 1999. Morphologically defined Cichorium (Asteraceae) species reflect lineages based on chloroplast and nuclear (ITS) DNA data. Syst. Bot. 24: 645-659.

Kirillov V, Stikhareva T, Suleimen Y, Serafimovich M et al., (2017) .Chemical composition of the essential oil from carnation coniferous (Dianthus acicularis Fisch. ex Ledeb) growing wild in Northern Kazakhstan. Natural Product Research. 31:117–123.

Kisiel, W., & Michalska, K. (2003). Sesquiterpene lactones and other constituents from roots of Cichorium intybus. Fitoterapia, 74(7–8), 730–733.

Kosovo. Journal of Animal and Plant Sciences. 26 (5):1486–1491.

Kumar, S., Pandey, A. K., Mishra, A., & Mishra, A. (2023). A review of classification, biosynthesis, biological activities and applications of plant flavonoids. *Frontiers in Plant Science, 14*, Article 1172701

Kumari R, Ali M, Aeri V, (2012) .Two new triterpenoids from Cichorium intybus L. roots. L .Journal of agricultural food and Chemistry; 53, 6497-6502

Lacoste, S. (2019). *Ma pharmacie naturelle*. Éditions Leduc.s.

Li, Q., Wang, Z., & Zhang, Y. (2022). New sesquiterpene lactones from Cichorium intybus and their anti-inflammatory activity. Phytochemistry Letters, 47, 59–63.

Listes des réfferences :

Liu, Y., et al. (2022). Chemical constituents and pharmacological activities of plants from Cichorium genus. Frontiers in Pharmacology, 13, 947681.

Lulu SS, Thabitha A, Vino S, Priya AM, Rout M, (2016) .Naringenin and quercetin – L'Harmattan,2016,670 p. (lire en ligne [archive])

M. Koudela1et K. Petříková, 2007. 1

Mahmiyat.ps. (n.d.). Cichorium pumilum. Retrieved March 28, 2025, from

Marouf, A., & Reynaud, J. (2007). La botanique de A à Z. Ed Dunod. Paris. 177p.

Martinelli, C., & Rossi, G. (2017). Preliminary phytochemical screening of Cichorium pumilum extracts. Mediterranean Botany, 38(2), 89–94.

Martinelli, L., Bianchi, A., & Mercuri, A. (2017). Identification of active compounds from Cichorium pumilum using GC-MS and TLC. Natural Product Communications, 12(3), 373–376.

Martín Herranz, L., Salazar, D. M., & Nieto, A. (2015). Chemical composition and biological properties of dandelion (Taraxacum officinale). Journal of Food Research, 4(2), 67–74. https://doi.org/10.5539/jfr.v4n2p67

Mascherpa, D., Glisenti, M., & Lanti, A. (2012). Phenolic content and antioxidant activity in different Cichorium endivia cultivars. Food Chemistry, 135(3), 2310–2316.

Mascherpa, D., Glisenti, M., Ferrari, D., Ticozzi, R., Ieri, F., & Romani, A. (2012). Polyphenol pattern and antioxidant activity of different vegetable ecotypes: A comparison between two leafy species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60*(39), 9632–9640.

Mattocks, A. R. (1986). Chemical basis of liver toxicity due to pyrrolizidine alkaloids. In: Chemistry and toxicology of pyrrolizidine alkaloids (pp. 207–229). London: Academic Press.

McKay, D. L., & Blumberg, J. B. (2006). A review of the bioactivity and potential health benefits of chamomile tea (Matricaria recutita L.). Phytotherapy Research, 20(7), 519–530. https://doi.org/10.1002/ptr.1900

Medjahdi, B., Bouazza, M., & al. (2012). Contribution à l'étude floristique de la région nord-est d'Algérie. Revue Sciences & Technologie, 25, 75–84

Meng, X., et al. (2016). Isolation and identification of terpenoids from chicory roots. European Food Research and Technology, 243(6), 1009-1017.

Meng, X., et al. (2019). Sesquiterpenoids from Cichorium glandulosum and their anti-inflammatory activities. Phytochemistry, 163, 112-118.

Mezache, N. (2010). DETERMINATION STRUCTURALE ET EVALUATION BIOLOGIQUE DE SUBSTANCES NATURELLES DE QUELQUES ESPECES DE LA FAMILLE ASTERACEAE: Senecio giganteus Desf. et Chrysantemum myconis L.[these de doctorat].université Mentouri constantine

Michalska, K., & Kisiel, W. (2014). Lignans from Cichorium species. Phytochemistry Reviews, 13(3), 527–542.

Michalska, K., & Kisiel, W. (2014). Sesquiterpene lactones from the roots of Cichorium calvum. Molecules, 19(1), 1005–1012.

Middleton, E. J., Kandaswami, C., & Theoharides, T. C. (2000). The effects of plant

Middleton, E., Kandaswami, C., & Theoharides, T. C. (2000). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease, and cancer. Pharmacological Reviews, 52(4), 673–751.

Mimica-Dukić, N., Božin, B., Soković, M., & Mihajlović, B. (2010). Essential oils as powerful antioxidants and antimicrobial agents. Current Medicinal Chemistry, 17(19), 2441–2450.

Mimica-Dukić, N., Božin, B., Soković, M., & Mihajlović, B. (2010). Essential oils as powerful antioxidants: From ethno-medicine to modern medicine. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 7(1), 71–77.

Mimica-Dukić, N., et al. (2010). Essential oils as powerful antioxidants: From ethno-medicine to modern medicine. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 7(1), 71–77.

Minaiyan M., Ghannadi A., Mahzouni P., Abed A, (2012). Preventive effect of Cichorium

Moatti, R. (1990). La phytothérapie. Revue des Deux Mondes, 80-89.

moderne,2ème édition révisée, Ed. Maloine éditeur, 31986.

Mokni-Tlili, S., Yacoubi, I., & Hfaiedh, M. (2020). Variabilité chimique des polyphénols chez les espèces de Cichorium. Journal de Biologie et de Biotechnologie, 21(4), 25–33.

Mr. BENSLAMA A.2015. substances d'origine végétale

Munim, A.; Rod, M.R.; Tavakoli, H.; Hosseinian, F. An Analysis of the Composition, Health Benefits, and Future Market Potential of the Jerusalem Artichoke in Canada. J. Food Res. 2017, 6, 69. [Google Scholar] [CrossRef]

Najib S, Ahamad J, Ali M, Mir SR, (2014). Isolation and characterization of fatty acid esters from the seeds of Cichorium intybus. AJPCT. 2:469–473

Nisar, N., Li, L., Lu, S., Khin, N. C., & Pogson, B. J. (2015). Carotenoid metabolism in plants. Molecular Plant, 8(1), 68–82. https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.12.007

Nishimura M., Ohkawara T., Kanayama T., Kitagawa K., Nishimura H et al., (2015).

of potato peel. Food Chemistry, 85, 611–616.

Osbourn, A. E. (1996). Saponins and plant defence – a soap story. Trends in Plant Science, 1(1), 4–9.

Pan, J. Y., et al. (2009). Lignans: Chemical diversity, biological activities and biotechnological production. Phytochemistry Reviews, 8(2), 295–314.

(panckouke et al., 1793, Encyclopédie methodique p160)

Panero, J. L., & Funk, V. A. (2008). The value of sampling anomalous taxa in phylogenetic studies: Major clades of the Asteraceae revealed. Molecular Phylogenetics and Evolution, 47(2), 757–782.

Panfili, G.; Niro, S.; Bufano, A.; D'Agostino, A.; Fratianni, A.; Paura, B.; Falasca, L.; Cinquanta, L. Bioactive Compounds in Wild Asteraceae Edible Plants Consumed in the Mediterranean Diet. Plant Food Hum. Nutr. 2020, 75, 540–546. [Google Scholar] [CrossRef]

Papafilippaki, A., Nikolaidis, N. P., & Kallergis, N. (2008). Heavy metal contamination in Cichorium spinosum L. from Crete, Greece. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 6(2), 186–190.

Paris, H. S., & Janick, J. (2008). Historical records of the lettuce (*Lactuca sativa*) in the Mediterranean Basin. *Annals of Botany*, 102(3), 483–489.

Paris, H. S., & Janick, J. (2008). Historical records of the lettuce (Lactuca sativa) in the Mediterranean Basin. Annals of Botany, 102(3), 483–489.

Perovic, J. (2021). Chicory (Cichorium intybus L.) as a food ingredient – Nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A review. Retrieved from https://www.academia.edu/113669521/

Perovic, S., Banjac, N., & Vidic, D. (2021). GC-MS analysis of essential oils in roots of wild chicory from the Balkans. Natural Product Research, 35(14), 2311–2316.

Perović, J.; Tumbas Šaponjac, V.; Kojić, J.; Krulj, J.; Moreno, D.A.; García-Viguera, C.; Bodroža-Solarov, M.; Ilić, N. Chicory (Cichorium intybus L.) as a food ingredient—Nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A review. Food Chem. 2021, 336, 127676. [Google Scholar] [CrossRef]

Petropoulos, S. A., et al. (2018). Chemical composition and antioxidant activity of Cichorium spinosum L. Food Chemistry, 240, 528–535.

Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., & Barros, L. (2018). Cichorium spinosum L.: A valuable source of bioactive compounds with antioxidant properties. Food & Function, 9(9), 4871–4881.

Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R., & Ntatsi, G. (2018). The chemical composition and biological activity of wild Cichorium spinosum L.: A promising candidate for functional food formulations. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 98*(11), 4215–4223.

Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Vasilakoglou, I., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Nutritional composition and bioactive compounds of Cichorium intybus L. and Cichorium endivia L.: A review. *Plants*, 7(2), 42.

Petropoulos, S. A., Levizou, E., Ntatsi, G., Fernandes, Â., Petrotos, K., Akoumianakis, K., ... & Ferreira, I. C. (2017). Salinity effect on nutritional value, chemical composition and bioactive compounds content of Cichorium spinosum L. Food Chemistry, 214, 129-136.

Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. PHYTOTHÉRAPIE TOTHÉRAPIE TOTHÉRAPIE

Piccaglia R. 2002. Effect of harvest time on suguer profile and inulin of chicory varieties in Italy. Ninth Inulin Seminar Abstracts Hungary. April 18-19, 2002.

Pierre, M. (2017). *Secrets des plantes médicinales*. Éditions Larousse.

Pignatti, S. (1982). Flora d'Italia. Edagricole.

Plants For A Future. (n.d.). Cichorium endivia. Retrieved March 28, 2025, from potential anti-HCV agents for NS2 protease targets. Natural Product Research. 30:464–468.

Quézel, P., & Santa, S. (1962-1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.

Quézel, P., & Santa, S. (1962–1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (Vols. 1–2). CNRS.

Rahman A, Zareen S, Choudhary MI, Akhtar MN, Khan SN, (2008). α-Glucosidase Research; 13:566–569

Ripoll, C., et al. (2007). Anti-inflammatory effects of a sesquiterpene lactone extract from chicory roots. Natural Product Communications, 2(7), 717-722.

Rodriguez-Amaya, D. B. (2016). Food carotenoids: Chemistry, biology and technology. Wiley Blackwell.

Rolnik, A., & Olas, B. (2021). The plants of the Asteraceae family as agents in the protection of human health. International journal of molecular sciences, 22(6), 3009.

Sabrina Krief.2004. Métabolites secondaires des plantes et comportement animal:

Saied, S., et al. (2011). Chemical constituents of Cichorium intybus and their inhibitory effects against urease and α-chymotrypsin enzymes. Natural Product Communications, 6(8), 1119-1122.

Saleem, M., et al. (2014). Cytotoxicity of Cichorium intybus L. root extracts against human cancer cell lines. Oncology Reports, 31(3), 1503–1508.

Sarri, M., Sarri, D., & Hendel, N. (2018). Note sur une nouvelle station d'Anacyclus monanthos subsp. cyrtolepidioides (Pomel) Humphries dans la région du Chott el Hodna

(M'sila, Algérie). ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Map-of-the-phytogeographical-subsectors-of-Northern-Algeria-Quezel-and-Santa-1962_fig2_328784753

Scalbert, A. (1991). Antimicrobial properties of tannins. Phytochemistry, 30(12), 3875–3883.

Schilcher, H. (2005). Chamomile: A medicinal plant. *Zeitschrift für Phytotherapie*, 26(5), 270–276.

Schilcher, H. (2005). Chamomile: A medicinal plant. Zeitschrift für Phytotherapie, 26(5), 270–276.

Schütz, K., Carle, R., & Schieber, A. (2006). Taraxacum–a review on its phytochemical and pharmacological profile. *Journal of Ethnopharmacology*, 107(3), 313–323.

Schütz, K., Carle, R., & Schieber, A. (2006). Taraxacum—A review on its phytochemical and pharmacological profile. Journal of Ethnopharmacology, 107(3), 313–323.

Schütz, K., Carle, R., & Schieber, A. (2006). Taraxacum—A review on its phytochemical and pharmacological profile. Journal of Ethnopharmacology, 107(3), 313–323. https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.07.021

Scimeca, D. (2018). *Guide familial des plantes médicinales*. Éditions Alpen.

Sell, C.S. (2003). Fragrant Introduction to Terpenoide Chemistry. The Royal Society of

A: a new benzo-isochromene from Cichorium intybus. Journal of Asian Natural Product

Seigler, D. S. (2012). Plant Secondary Metabolism. Springer Science & Business Media.

Shad, M. A., Nawaz, H., Rehman, T., & Ikram, N. (2013). Determination of some biochemicals, phytochemicals and antioxidant properties of different parts of Cichorium intybus L.: A comparative study. J Anim Plant Sci, 23(4), 1060-1066.

Shad, M. A., Nawaz, H., Rehman, T., & Ikram, N. (2013). Determination of some biochemicals, phytochemicals and antioxidant properties of different parts of Cichorium intybus L.: A comparative study. Journal of Animal and Plant Sciences, 23(4), 1060–1067.

Shah, S., et al. (2014). Sesquiterpene lactones from Cichorium intybus. Zeitschrift für Naturforschung B, 66(7), 1-6.

Shen, Q., et al. (2020). Advances in diterpenes from medicinal plants: structures, biological activities and biosynthesis. Natural Product Reports, 37(6), 763–796.

Singh, N., & Rajini, P. S. (2004). Free radical scavenging activity of an aqueous extract

Sinkovič, L., et al. (2014). Phenolic profiles in leaves of chicory cultivars (Cichorium intybus L.) as influenced by organic and mineral fertilizers. Food Chemistry, 145, 765–773.

Skehan, P., et al. (1990). New colorimetric cytotoxicity assay for anticancer-drug screening. Journal of the National Cancer Institute, 82(13), 1107–1112.

Smith, J., Lambert, A., & Nguyen, T. (2020). Phytochemical Analysis of Cichorium intybus: Focus on Alkaloid Content. Journal of Medicinal Plant Research, 14(3), 123–130.

Smith, R. E., Chen, L., & Liu, Y. (2020). Profiling of alkaloids in Cichorium intybus L. and their pharmacological relevance. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 68(20), 5533–5541.

Source : departement de biologie, chicorée endive, consulté de 29/03/2025

Sparg, S. G., Light, M. E., & van Staden, J. (2004). Biological activities and distribution of plant saponins. Journal of Ethnopharmacology, 94(2–3), 219–243.

Sparg, S. G., Light, M. E., & Van Staden, J. (2004). Biological activities and distribution of plant saponins. Journal of Ethnopharmacology, 94(2–3), 219–243.

Srivastava, J. K., Shankar, E., & Gupta, S. (2010). Chamomile: A herbal medicine of the past with bright future. *Molecular Medicine Reports*, 3(6), 895–901.

Srivastava, J. K., Shankar, E., & Gupta, S. (2010). Chamomile: A herbal medicine of the past with bright future. Molecular Medicine Reports, 3(6), 895–901. https://doi.org/10.3892/mmr.2010.377

Stahl, W., & Sies, H. (2003). Antioxidant activity of carotenoids. Molecular Aspects of Medicine, 24(6), 345–351. https://doi.org/10.1016/j.mam.2003.10.001

Street, R. A., Sidana, J., & Prinsloo, G. (2013). Cichorium intybus: Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology. *Journal of Ethnopharmacology*, 150(3), 805–817.

Street, R. A., Sidana, J., & Prinsloo, G. (2013). Cichorium intybus: Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2013(1), 579319.

surveillance sanitaire et observations de l'alimentation des chimpanzés (Pan troglodytes schweinfurthii) en Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommé

Tholl, D. (2015). Biosynthesis and biological functions of terpenoids in plants. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, 148, 63–106.

thunbergii. Chem. pharm. bull. 42(3) 608-610

traditionnelle pour 2002-2005, Genève. 78 pp

Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M., & Webb, D. A. (1976). *Flora Europaea: Volume 4 - Plantaginaceae to Compositae*. Cambridge University Press.

Tutin, T.G. et al. (1976). Flora Europaea, Vol. 4. Cambridge University Press.

Valnet, J. (2015). *La phytothérapie : Se soigner par les plantes*. Éditions Maloine.

Verheggen, J., Théwis, A., Moureaux, J., & Chabi, S. (1994). Composition chimique et valeur nutritionnelle pour les ruminants des pulpes de chicorées. In Annales de zootechnie (Vol. 43, No. 3, pp. 243-243).

Vincken, J. P., Heng, L., de Groot, A., & Gruppen, H. (2007). Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. Phytochemistry, 68(3), 275–297.

WHO (2007). WHO Monographs on Selected Medicinal Plants – Volume 3. WHO Press.

WHO. 2003a. Directives OMS sur les bonnes pratiques agricoles et les bonnes pratiques

Widrig, R., Suter, A., Saller, R., & Melzer, J. (2007). Choosing between NSAID and arnica for topical treatment of hand osteoarthritis in a randomised, double-blind study. Rheumatology International, 27(6), 585–591. https://doi.org/10.1007/s00296-006-0283-4

Wink, M. (2010). Functions and biotechnology of plant secondary metabolites (2nd ed.). Annual Plant Reviews, 39. Wiley-Blackwell.

Y.P.S.Bajaj .1999.biotechnology in agriculture and forestry 43

Yang, M., et al. (2024). Chemometric Discrimination of Cichorium glandulosum Boiss. et Huet and Cichorium intybus L. Based on Phenolic Profiles. Molecules, 29(2), 315–328.

Yang, M., Zhang, Y., & Li, L. (2024). Polyphenolic profile and antioxidant potential of Cichorium glandulosum extracts. Molecules, 29(2), 315–328.

Zarroug, Y. O., et al. (2020). *Biochemical Characterization of Tunisian Cichorium Intybus L. Roots and Optimization of Ultrasonic Inulin Extraction*. Mediterranean Journal of Chemistry, 10(1), 1–10.

Zater H, 2017. Constituants chimiques, propriétés cytotoxiques, antifongiques et antibactériennes de l'extrait chloroforme de Centaurea diluta Ait. subsp. algeriensis (Coss. & Dur.) Maire (thése de doctorat).université Mentouri constantine .

Zhang, W., & Liu, R. (2007). Chemical composition of essential oils from different parts of Cichorium glandulosum. Flavour and Fragrance Journal, 22(5), 377–380

Zhang, W., & Liu, R. (2007). Chemical composition of essential oils from different parts of Cichorium glandulosum. Flavour and Fragrance Journal, 22(5), 377–380.

Zhang, Y., & Li, J. (2001). Chemical constituents of Cichorium intybus L. Zhong Yao Cai, 24(9), 659-661.

Zhang, Y., & Liu, H. (2007). Chemical constituents of Cichorium glandulosum essential oils analyzed by GC-MS. Journal of Medicinal Plants Research, 3(6), 457–460.

Zhang, Y., Ma, C., Zhang, M., Wu, S., & Fang, Q. (2014). Studies on chemical constituents from roots of Cichorium glandulosum. *Fitoterapia*, 97, 219–226.

د.ماجد الزعبي و م .منير حسين ، كتاب الشيكوريا محصول متعدد الاغراض، المركز الوطني للبحوث الزراعية و نقل التكنولوجيا نشرة إرشادية، صفحة(12