



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

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences de la matière

Filière : Chimie

Spécialité : Chimie des matériaux

Réf. :

Présenté et soutenu par :

Chicha Asma

Le : 02/06/2025

**Effet de la polarité des solvants sur la composition chimique
de quatre variétés de *Brassica oleracea***

Jury :

Mr Boukraa Aissam	MCA Université de Biskra	Président
Mme Boubékri Chérifa	Prof Université de Biskra	Rapporteur
Mr Benakcha Rachid	MCB Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur, Madame le Professeur BOUBEKRI Chérifa, pour avoir accepté de me guider tout au long de ce travail. Je la remercie sincèrement pour son accompagnement constant, ses encouragements, sa bienveillance et la confiance qu'elle m'a témoignée tout au long de la réalisation de ce modeste mémoire. Ses conseils avisés, sa patience, sa compréhension et sa politesse exemplaire m'ont permis d'acquérir une formation solide et enrichissante.

Je souhaite également d'adresser mes remerciements aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail de fin d'études :

Docteur Boukraa Aissam, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider ce jury.

Veuillez recevoir ici l'expression de mon profond respect.

Docteur Benakcha Rachid, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire et pour l'intérêt qu'il a porté. Je lui exprime toute ma reconnaissance.

Mes remerciements vont également à tous les ingénieurs du laboratoire pédagogique de l'Université de Biskra pour leur aide technique et leur disponibilité tout au long de ce travail.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, directement ou indirectement, ont contribué à la réussite de ce travail auquel j'ai consacré beaucoup de temps et d'efforts, avec tout mon engagement et ma passion.

Dédicace

Tout d'abord, à moi-même, qui ai travaillé dur pour arriver à ce jour.

*Le voyage n'a pas été facile, le rêve n'a pas été facile et la route n'a pas été pleine de facilités.
Je suis très fière de moi pour tout ce que j'ai fait pour mon rêve et mon avenir.*

*A ma mère, ma chérie, qui m'a appris l'effort et la lutte pour atteindre le but désiré, à celle qui
a toujours été mon premier soutien et ma source de force.*

*A mon père, mon amoureux, qui a quitté notre monde, mais tu n'as jamais quitté mon cœur,
merci, parce que tu es mon père, même si je ne te reverrai jamais. Parce que tu es mon père,
même si je ne te vois jamais.*

*À mes frères et ma sœur Abdelhak, Mohammed, Saleh et Yasmin, qui ont été et sont toujours
mon soutien et mes plus grands supporteurs, qui rendent mes yeux heureux de les voir et mon
cœur heureux d'entendre leurs rires.*

*À mes amis de toujours qui ont partagé mon voyage de diligence, Safaa et Manar et ma belle-
sœur Nesrine.*

À mon magnifique professeur, merci pour tous vos efforts.

*À tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire et qui m'ont aidé, même si ce
n'était que par un mot.*

اولا الى نفسي التي تعبت للوصول الى هذا اليوم

لم تكن الرحلة سهلة و لم يكن الحلم سهلا ولا الطريق مليئا بالتسهيلات فخورة بنفسي جدا على كل ما قدمته من اجل حلمي و
مستقبلي

الى امي حبيبة قلبي من علمتني الجهد و الكفاح لأجل الوصول الى المبتغى الى من كانت دوما الداعم الاول لي و مصدر قوتي

الى ابي فقيدي رحلت عن عالمنا لكن لا لم ترحل عن قلبي يوما شكرا لأنك ابي حتى و ان لم اراك يوما

الى اخوتي و اخي عبد الحق و محمد الصالح و ياسمين من كانوا و لازالوا دوما سندي و اكثر الداعمين لي من تسعد عيني برويتهم
و يفرح فؤادي بسماع ضحكاتهم

الى صديقات العمر من شاركوني رحلة الجد و الاجتهاد صفاء و منار و زوجة اخي نسرين

الى استاذتي الجميلة شكرا لكل مجهود بدرمنك

الى كل من كان له فضل في اتمام مذكرتي هذه و قدم لي العون و لو بكلمة

Résumé

Cette recherche porte sur une comparaison entre quatre variétés de *Brassica oleracea* cultivées dans la région de Biskra : le chou rouge, le chou blanc, le chou-fleur et le chou brocoli vert calabrais. L'étude combine une approche qualitative, à travers un criblage phytochimique, et une approche quantitative, par le dosage des polyphénols totaux. Elle s'intéresse également à l'impact de la polarité des solvants sur l'efficacité de l'extraction.

Les résultats ont révélé que les meilleurs rendements d'extraction ont été obtenus en utilisant l'éthanol comme solvant, avec un rendement maximal observé pour le chou rouge (4,5 %). Le criblage phytochimique a donné des résultats très significatifs, mettant en évidence la richesse en composés bioactifs des différentes variétés, ce qui confirme leur valeur nutritionnelle élevée. Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé selon la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu, et les résultats ont montré l'existence des polyphénols dans tous les extraits. La concentration la plus élevée en polyphénols totaux a été observée dans l'extrait du chloroforme du chou vert, avec une valeur de (176,78 mg EAG/g).

Mots clés : ***Brassica oleracea*, criblage phytochimique, extraction, polarité des solvants, polyphénols totaux.**

Abstract

This research focuses on a comparison between four varieties of *Brassica oleracea* grown in the Biskra region: red cabbage, white cabbage, cauliflower, and Calabrian green broccoli. The study combines a qualitative approach, through phytochemical screening, and a quantitative approach, through the determination of total polyphenols. It also examines the impact of solvent polarity on extraction efficiency.

The results revealed that the best extraction yields were obtained using ethanol as a solvent, with a maximum yield observed for red cabbage (4.5%). Phytochemical screening was very significant and showed the richness of all the samples, confirming the nutritional value and content richness of the cabbage. The determination of total polyphenols was carried out using the Folin-Ciocalteu colorimetric method, and the results showed the existence of polyphenols in all extracts. The highest total polyphenol content was observed in the chloroform extract of green cabbage with a value of (176.78 mg EAG/g).

Key words: *Brassica oleracea*, phytochemical screening, extraction, solvent polarity, total polyphenols.

Liste des abréviations

AQR Analyse Quantitative des Résultats

UV-vis Spectroscopie Ultraviolet-visible

°C degré Celsius

Liste des symboles

g : Gramme

LDL : Lipoprotéine de basse densité

m : Mètre

mg : milligramme

mg EAG/g : milligramme équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait

ml : Millilitre

nm : Nanomètre

μl : Microlitre

R % : Rendement en pourcentage

Liste des tableaux

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur Le chou

Tableau I. 1 espèces de Brassicacées	8
Tableau I. 2 le chou de l'antiquité à nos jours	10
Tableau I. 3 valeurs nutritives pour 100g de chou	19

Chapitre II : "Recherche bibliographique sur les compositions phénolique"

Tableau II.1 quelques exemples de sources végétales riches en polyphénols connus pour leurs effets thérapeutiques	31
---	----

Chapitre III : "Matériel et méthodes"

Tableau III. 1 classification systématique de chou	44
Tableau III. 2 produits chimiques	45
Tableau III. 3 matériel du laboratoire.....	46

Chapitre IV : Résultats et discussion

Tableau IV. 1 criblage phytochimique du chou rouge	57
Tableau IV. 2 criblage phytochimique du chou blanc.....	59
Tableau IV. 3 criblage phytochimique du chou-fleur	61
Tableau IV. 4 criblage phytochimique du chou vert brocoli (calabrais).....	62
Tableau IV. 5 rendement des extraits du chou rouge	64
Tableau IV. 6 rendement des extrait de chou blanc	65
Tableau IV. 7 rendement des extraits de chou-fleur	66
Tableau IV. 8 rendement des extraits du chou vert brocoli (calabrais)	67
Tableau IV. 9 valeurs de calibrage par l'acide gallique	69
Tableau IV. 10 teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou rouge	70
Tableau IV. 11 teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou blanc	71
Tableau IV. 12 teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou-fleur	72
Tableau IV. 13 teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou vert brocoli (calabrais)	73

Liste des figures

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur Le chou

Figure I. 1 chou vert	11
Figure I. 2 chou blanc	12
Figure I. 3 chou rouge.....	13
Figure I. 4 chou vert brocoli (calabrais).....	14
Figure I. 5 chou-fleur	14
Figure I. 6 trois grandes classes de précurseurs d'acides aminés des chaînes latérales des glucosinolates	16
Figure I. 7 produits détectionnés après hydrolyse par l'enzyme myrosinase	17
Figure I. 8 structure générale des polyphénols	18
Figure I. 9 structure des anthocyanines	18

Chapitre II : "Recherche bibliographique sur les compositions phénolique"

Figure II. 1 résumé des avantages des polyphénols pour la société humaine	26
Figure II. 2 classification des composés phénoliques.....	27
Figure II. 3 requêtes "polyphénols" et "antioxydant"	28
Figure II. 4 absorption des polyphénols et leur métabolisme.....	30
Figure II. 5 effet des polyphénols sur les différentes maladies	30
Figure II. 6 différents mécanismes et leurs changements associés dans la fonction anti-obésité des polyphénols naturels	36

Chapitre III : "Matériel et méthodes"

Figure III.1 laboratoire pédagogique	43
Figure III.2 quatre variétés de choux étudiées	44
Figure III.3 préparation des extraits de chou blanc (a) et chou rouge (b).....	47
Figure III.4 préparation des extraits de chou vert brocoli (c) et chou-fleur (d)	47
Figure III.5 exemple d'échantillonnage de chou rouge	48
Figure III.6: Protocole d'extraction par macération	51
Figure III.7 gamme d'etalonnage	52
Figure III.8 spectrophotomètre UV-Visible	53

Chapitre IV : Résultats et discussion

Figure IV.1 rendement des extraits du chou rouge	64
Figure IV.2 rendement des extraits de chou blanc.....	65
Figure IV.3 rendement des extraits de chou-fleur	66

Figure IV.4 rendement des extraits du chou vert brocoli (calabrais).....	67
Figure IV.5 comparaison des rendements des extraction de tous les extraits des échantillons du chou	68
Figure IV.6 courbe d'etallonnage de l'acide gallique.....	69
Figure IV.7 teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou rouge	70
Figure IV. 8 : Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou blanc.....	72
Figure IV.8 teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou-fleur.....	72
Figure IV.9 teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou vert brocoli (calabrais)	74
Figure IV.10 teneur en polyphénols totaux dans tous les extraits du chou	75

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des Symboles

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Introduction générale :2

Référence bibliographique :4

PARTIE BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I : "Recherche bibliographique sur le chou"

I.1 Famille des Brassicacées :8

I.2 Le chou (*Brassica oleracea*) :9

I.3 Origine et historique du chou :9

I.4 Préparation du chou :11

I.5 Différents types de choux :11

□ Chou vert :11

□ Chou blanc (*Brassica oleracea* var. *capitata*)12

□ Chou rouge (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) :12

□ Chou brocoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) (calabrais) :13

□ Chou-fleur (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) : la pépite blanche de *Brassica oleracea* :14

I.4 Composition phytochimique du chou :15

□ Glucosinolates :15

□ Isothiocyanates :16

□ Vitamines :17

□ Caroténoïdes :17

□ Polyphénols :18

□ Anthocyanines :.....	18
□ Fibres alimentaires :	19
□ Minéraux :.....	19
I.5 Valeurs nutritionnelles :	19
I.6 Intérêt et Importance des éléments nutritifs dans le chou :.....	20
Références bibliographiques :	21
Chapitre II: "Recherche bibliographique sur les compositions phénolique"	
II.1 Généralités sur les polyphénols :.....	25
II.2 Classification des polyphénols :.....	26
II.3 Polyphénols bien plus que de simples antioxydants :	27
II.4 Les polyphénols et absorption par l'organisme :.....	29
II.5 Polyphénols et santé humaine :	30
II.6. Activités biologiques des polyphénols :	32
□ II.6.1/ Effet cardioprotecteur :.....	32
□ II.6.2/ Effet anticancéreux :	33
□ II.6.3/ Effet antidiabétique :	33
□ II.6.4/ Effet anti-âge :.....	34
□ II.6.5/ Effets neuroprotecteurs :	35
□ II.6.6 Action anti-obésité des polyphénols :.....	35
Références bibliographiques :	37
PARTIE EXPERIMENTALE	
Chapitre III : "Matériel et méthodes"	
Objectif principal :	43
Objectifs spécifiques :.....	43
III.1. Matériels :.....	43
III.1.1. Matière végétale :.....	43
III.1.2. Echantillonnage :	44

III.1.3. Classification systématique de chou :	44
III.1.4. Réactifs chimiques :	45
III.1.5. Matériel du laboratoire :	45
III.1.6. Appareillage :	46
III.2. Méthodes :	46
III.2.1. Criblage phytochimique :	46
<input type="checkbox"/> Traitement des extraits :	46
<input type="checkbox"/> Tests phytochimiques :	48
A/ recherche des alcaloïdes :	48
<input type="checkbox"/> Test de Mayer :	48
<input type="checkbox"/> Test de Wagner :	48
<input type="checkbox"/> Test de Dragendrof :	48
<input type="checkbox"/> Test FeCl₃ :	48
B/Recherche des flavonoïdes :	48
<input type="checkbox"/> Test de Shinoda :	48
<input type="checkbox"/> Test au NaOH :	49
C/Recherche des stérols et terpènes :	49
<input type="checkbox"/> Test de Salkowski :	49
<input type="checkbox"/> Test de Liebermann-Burchard :	49
D/Recherche des tannins :	49
E/ Recherche des coumarines :	49
F/Recherche des saponines :	49
G/Recherche des sucres réducteurs :	49
H/Recherche des glycosides :	50
III.2.2. Extraction des composés phénoliques :	50
<input type="checkbox"/> Extraction par macération :	50
<input type="checkbox"/> Principe :	50

□	Mode opératoire :.....	50
□	Détermination du rendement d'extraction.....	51
	III.2.3. Dosage des polyphénols totaux :.....	51
□	Principe :	51
□	Mode opératoire :.....	52
	Références bibliographiques :	54
	Chapitre IV : Résultats et discussion	
	IV.1 Criblage phytochimique :	57
	IV.1.1 Criblage phytochimique de chou rouge :.....	57
□	Interprétation des résultats :	58
	IV.1.2 Criblage phytochimique de chou blanc :	59
□	Interprétation des résultats :	60
	IV.1.3 Criblage phytochimique de chou-fleur :.....	61
□	Interprétation des résultats :	62
	IV.1.4 Criblage phytochimique du chou Brocoli vert calabrais :	62
□	Interprétation des résultats :	63
	IV.2 Rendement des extractions par macération (effet du solvant) :.....	64
□	Rendements des extractions du chou rouge	64
□	Rendements des extractions du chou blanc.....	65
□	Rendements des extractions du chou-fleur	65
□	Rendements des extractions du chou Brocoli vert calabrais	66
□	Comparaison des résultats :	67
	IV.3 Dosage des polyphénols totaux :.....	68
□	Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou rouge	70
□	Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou blanc.....	71
□	Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou-fleur	72
□	Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou brocoli vert calabrais....	73

IV.3.1 Comparaison des résultats :	74
Références bibliographiques :	76
Conclusion générale.....	77

Introduction générale

Introduction générale :

Le chou (*Brassica oleracea*), appartenant à la famille des crucifères, est l'un des légumes les plus cultivés et consommés dans le monde, tant cru que transformé. Il possède également des vertus thérapeutiques reconnues en médecine traditionnelle, notamment en Europe de l'Est, pour le traitement de diverses affections respiratoires, gastro-intestinales et cardiovasculaires, ainsi que dans les régimes destinés aux patients diabétiques ou en surpoids [1,2,3]. En raison de sa périssabilité, la conservation du chou constitue un enjeu important. Bien que le stockage en chambre froide soit efficace, son coût élevé le rend peu rentable à long terme. Ainsi, le séchage apparaît comme une alternative prometteuse. Le chou séché est riche en nutriments essentiels, ce qui a permis son incorporation dans divers produits alimentaires comme les biscuits [5], les barres de riz [6], le pain [7] et les gâteaux chiffon [8] dans un but d'enrichissement nutritionnel [4].

Les polyphénols, composés naturellement présents dans les aliments d'origine végétale, possèdent une grande diversité structurale, leur structure de base étant l'anneau phénolique. Ils sont classés principalement en acides phénoliques, flavonoïdes, stilbènes, alcools phénoliques et lignanes [9]. Ces composés bioactifs jouent un rôle essentiel dans la prévention des maladies chroniques dégénératives, notamment grâce à leur pouvoir antioxydant [10–12]. On les retrouve dans divers aliments comme les fruits, les légumes, les céréales et le café. Leur effet protecteur contre les maladies cardiovasculaires, le cancer, le diabète, l'ostéoporose et les troubles neurodégénératifs est bien documenté [10,11]. Les polyphénols agissent notamment en empêchant l'oxydation des LDL, un facteur clé dans l'athérosclérose [10–12], et en inhibant certaines enzymes comme la lipoxygénase et la télomérase. Des aliments comme le chou frisé, les oignons, le brocoli, le jus de grenade, le thé et le raisin sont particulièrement riches en polyphénols [9,10]. Malgré leur efficacité, leur étude a longtemps été limitée en raison de la complexité de leur structure. Enfin, bien que majoritairement antioxydants, les polyphénols peuvent également exercer des effets pro-oxydants, influençant ainsi divers processus métaboliques cellulaires [13].

Ce travail de recherche se divise en deux sections principales : une section bibliographique et une section expérimentale. La section bibliographique comprend deux

chapitres : le premier est une étude théorique portant sur le chou, tandis que le second regroupe diverses connaissances scientifiques générales concernant les composés phénoliques.

La partie expérimentale se compose également de deux chapitres distincts. Le premier chapitre est dédié à la présentation du matériel et des méthodes employés, incluant le criblage phytochimique, les solvants utilisés pour l'extraction ainsi que le dosage des composés phénoliques (notamment les polyphénols totaux) présents dans les différentes variétés de chou analysées. Le second chapitre regroupe l'ensemble des résultats obtenus au cours de cette étude ainsi que leur interprétation.

Référence bibliographique :

- [1] Gilca, M., Tiplica, G. S., & Salavastru, C. M. (2018). Traditional and ethnobotanical dermatology practices in Romania and other Eastern European countries. *Clinics in dermatology*, 36(3), 338-352.
- [2] Castelão-Baptista, J. P., Barros, A., Martins, T., Rosa, E., & Sardão, V. A. (2021). Three in one: The potential of Brassica by-products against economic waste, environmental hazard, and metabolic disruption in obesity. *Nutrients*, 13(12), 4194.
- [3] Ray, L. R., Alam, M. S., Junaid, M., Ferdousy, S., Akter, R., Hosen, S. Z., & Mouri, N. J. (2021). Brassica oleracea var. capitata f. alba: A Review on its Botany, Traditional uses, Phytochemistry and Pharmacological Activities. *Mini reviews in medicinal chemistry*, 21(16), 2399-2417.
- [4] Adeoye, B. K., Adeyele, S. O., Adeyeye, J. A., Oyerinde, O. O., Olanrewaju, M. F., & Ani, I. F. (2019). Therapeutic effect of white cabbage (Brassica oleracea) aqueous extract on hyperglycemia in prediabetes-induced male albino rats. *Journal of Applied Sciences*, 19(5), 413-420.
- [5] Gül, H., Yanik, A., & Acun, S. (2013). Effects of white cabbage powder on cookie quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(1), 68-72.
- [6] Joo, S. Y., & Choi, H. Y. (2016). Quality characteristics of cabbage rice nutritional bars made with varying ratios of cabbage powder. *Korean journal of food and cookery science*, 32(4), 441-448.
- [7] Kim, S. H., Lee, H. J., Paik, J. E., & Joo, N. M. (2012). Quality characteristics and storage stability of bread with cabbage powder. *Korean journal of food and cookery science*, 28(4), 431-441.
- [8] Kim, H. J., Lee, Y. J., & Chun, S. S. (2020). Quality characteristics of chiffon cake with cabbage powder. *The Korean Journal of Food and Nutrition*, 33(1), 9-16.
- [9] Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Bursac, D., & Boras, M. (2007). The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food chemistry*, 102(3), 966-975.
- [10] D'Archivio, M., Filesi, C., Di Benedetto, R., Gargiulo, R., Giovannini, C., & Masella, R. (2007). Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Annali-Istituto Superiore di Sanita*, 43(4), 348.
- [11] Scalbert, A., Johnson, I. T., & Saltmarsh, M. (2005). Polyphenols: antioxidants and beyond. *The American journal of clinical nutrition*, 81(1), 215S-217S.
- [12] Miró-Casas, E., Gimeno, E., López-Sabater, M. C., de la Torre, R., & Farré, M. (2004). Effects of differing phenolic content in dietary olive oils on lipids and LDL oxidation. *European journal of nutrition*, 43(2004), 0-0.

[13] Geogé, S., Brat, P., Alter, P., & Amiot, M. J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 53(5), 1370-1373.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I:
**"Recherche bibliographique sur le
chou"**

I.1 Famille des Brassicacées :

La famille des Brassicacées, autrefois appelée Crucifères, regroupe plus de 350 genres et environ 3200 espèces. Il s'agit principalement de plantes herbacées, largement répandues dans l'hémisphère Nord. Cette famille comprend des espèces cultivées pour diverses utilisations : la production d'huile (comme le colza), l'alimentation humaine et animale (par exemple le chou ou le navet), ainsi que l'ornement (telles que la giroflée ou la lunaire) [1]. Le tableau suivant (I.1) regroupe les espèces de Brassicacées couramment cultivées dans les potagers et les exploitations maraîchères :

Tableau I.1. Espèces de Brassicacées

Genre	Espèce	Nom commun
<i>Armoracia</i>	<i>rusticana</i>	Raifort
<i>Brassica</i>	<i>napus</i>	Chou navet, rutabaga
<i>Brassica</i>	<i>oleracea</i>	Chou
<i>Brassica</i>	<i>rapa</i>	Navet, chou chinois
<i>Eruca</i>	<i>Sativa</i>	Roquette
<i>Lepidium</i>	<i>sativum</i>	Cresson alénois
<i>Raphanus</i>	<i>sativus</i>	Radis
<i>Nasturtium</i>	<i>Officinale</i>	Cresson de fontaine

De nombreuses autres espèces de plantes peuvent être cultivées dans nos régions : Les moutardes blanches ou jaunes (*Brassica hirta* ou *Sinapis alba*), les moutardes noires (*Brassica nigra*) et les moutardes brunes ou de Chine (*Brassica juncea*) sont utilisées pour produire le condiment bien connu.

Plusieurs espèces sont cultivées dans diverses régions du monde pour l'alimentation humaine. La famille des Brassicacées comprend également de nombreuses espèces sauvages telles que la ravenelle (*Brassica raphanistrum*), la moutarde sauvage (*Brassica arvensis*), la capselle (*Capsella bursa-pastoris*) ou encore les diplotaxis. Des hybridations peuvent parfois se produire entre ces espèces sauvages et certaines variétés cultivées [1].

I.2 Le chou (*Brassica oleracea*) :

Le chou est une plante particulièrement polyvalente, caractérisée par une grande diversité de variétés. Celles-ci se distinguent par la forme, la taille, la couleur ainsi que la texture de leurs feuilles. Parmi les types les plus connus, on peut citer le **chou frisé**, le **chou-fleur**, le **chou rouge**, le **chou de Bruxelles**, le **chou-rave**, entre autres. Cette richesse variétale résulte des nombreux processus de sélection et d'hybridation menés au cours des siècles [2].

Le chou est largement apprécié pour ses qualités nutritionnelles. Il constitue une excellente source de vitamines, notamment la vitamine C, la vitamine K et les vitamines du groupe B, ainsi que de minéraux essentiels tels que le calcium, le potassium et le magnésium. Il contient également des composés phytochimiques aux effets positifs sur la santé, comme les flavonoïdes et les substances soufrées. Sa consommation régulière est liée à divers bénéfices pour la santé, notamment une diminution du risque de maladies cardiovasculaires, de certains types de cancer et de pathologies chroniques [3].

I.3 Origine et historique du chou :

Le chou trouve ses origines dans la région méditerranéenne. Cette plante potagère est aujourd'hui cultivée à grande échelle dans le monde entier pour ses feuilles comestibles et ses nombreuses qualités nutritionnelles [4]. Bien que l'on ait du mal à déterminer précisément quand il a commencé à être cultivé, des découvertes archéologiques indiquent que les civilisations anciennes de la Méditerranée, notamment les Grecs et les Romains, faisaient déjà pousser diverses variétés de chou il y a plusieurs millénaires. Sa culture s'est ensuite étendue à l'ensemble de l'Europe et à d'autres régions du globe [5].

Le chou était un aliment essentiel à bord des navires grâce à sa richesse en vitamine C, il constituait une arme efficace contre le scorbut, une maladie redoutée des marins. Au Moyen Âge, il devint l'aliment de base des paysans européens, bien avant l'introduction de la pomme de terre. Toutefois, il conquiert également les palais royaux, étant servi sous forme de soupe lors des réceptions nocturnes de la noblesse. À cette époque, le chou n'avait pas encore l'apparence ronde et compacte qu'on lui connaît aujourd'hui, son évolution étant le fruit de longs processus de sélection variétale. Par ailleurs, les Chinois furent les premiers à maîtriser la fermentation des choux en saumure, une technique qu'ils transmirent indirectement aux Européens grâce aux migrations des Huns et des Mongols [6]. Le tableau I.2. Montre l'historique du chou de l'antiquité à nos jours.

Tableau I.2 : Le chou de l'antiquité à nos jours [7].

Période	Événements majeurs
Antiquité (6^{ème} siècle avant J.-C. - 5^{ème} siècle après J.-C.)	Le chou a été domestiqué pour la première fois dans la région méditerranéenne, vraisemblablement en Grèce ou en Italie. Les civilisations grecque et romaine en cultivaient déjà plusieurs types, comme le chou pommé, le chou frisé et le chou kale. À cette époque, le chou était non seulement un aliment de base, mais également reconnu pour ses propriétés médicinales.
Moyen Âge (5^{ème} siècle - 15^{ème} siècle)	Le chou reste un aliment essentiel dans l'alimentation des populations rurales européennes. Au fil du temps, de nouvelles variétés voient le jour, telles que le chou-rave et le chou de Bruxelles. Par ailleurs, le chou sert également de nourriture pour le bétail, renforçant son importance dans les systèmes agricoles.
16^{ème} et 17^{ème} siècles	Le chou est apporté sur le continent américain par les colons européens. Par la suite, de nouvelles variétés sont créées, notamment le chou-fleur et le brocoli. Parallèlement, le chou gagne en popularité en Chine et dans plusieurs autres pays asiatiques, où il devient un ingrédient courant dans l'alimentation.
18^{ème} et 19^{ème} siècles	Le chou acquiert une place majeure en tant que culture commerciale, notamment en Europe et en Amérique du Nord. Grâce à l'essor de nouvelles méthodes de culture et de conservation, sa disponibilité s'étend sur une plus longue période de l'année. Il est également intégré dans une grande variété de plats traditionnels à travers le monde, témoignant de son importance culinaire internationale.
20^{ème} et 21^{ème} siècles	Le chou demeure un légume apprécié pour ses qualités nutritionnelles. De nouvelles variétés sont continuellement mises au point, offrant de meilleures résistances aux maladies et aux ravageurs. Par ailleurs, il se décline aujourd'hui sous de nombreuses formes dans une large gamme de produits alimentaires.

I.4 Préparation du chou :

Le chou peut être préparé selon différentes façons, il peut être dégusté cru, cuit, fermenté ou intégré dans une grande diversité de préparations culinaires, comme les salades, les soupes, les plats sautés, les gratins, les conserves ou encore les condiments. On retrouve des recettes à base de chou dans de nombreuses traditions culinaires à travers le monde, illustrant ainsi sa popularité et sa grande adaptabilité [8].

I.5 Différents types de choux :

Le chou regroupe plusieurs variétés :

➤ **Chou vert :**

Le chou vert *Brassica oleracea L.* (**figure I.1**) est la variété de chou la plus connue et la plus consommée. Sa tête dense et ronde est dotée de feuilles vertes lisses et vibrantes. Sa saveur douce et légèrement poivrée en fait un ingrédient de base dans la salade de chou, les sautés et divers plats européens et asiatiques [9].



Figure I.1 : Chou vert

➤ **Chou blanc** (*Brassica oleracea var. capitata*)

Le chou blanc hollandais, souvent appelé simplement « chou blanc » (**figure I.2**), est une variété de chou bien connue. Originnaire d'Europe, il prospère dans les climats tempérés et possède des feuilles denses, vert pâle. Il offre également une saveur douce, légèrement sucrée [9].



Figure I.2 : Chou blanc

➤ **Chou rouge** (*Brassica oleracea var. capitata f. rubra*) :

Le chou rouge (**figure I.3**) (variétés à feuilles violettes) est une sorte de chou, également connu sous le nom de Blaukraut après préparation. Ses feuilles sont colorées en rouge foncé/violet. Cependant, la plante change de couleur en fonction de la valeur du pH du sol en raison d'un pigment appartenant aux anthocyanes [10].

Dans les sols acides, les feuilles deviennent plus rougeâtres ; dans les sols neutres, elles deviendront plus violettes, tandis qu'un sol alcalin produira des choux plutôt de couleur jaune-vert. Cela explique le fait que la même plante soit connue sous différentes couleurs dans diverses régions. On le trouve dans toute l'Europe, dans toute l'Amérique, en Chine et surtout en Afrique. Le jus de chou rouge peut être utilisé comme indicateur de pH maison, devenant rouge dans les solutions acides et vert/jaune dans les solutions basiques. Lors de la cuisson, le

chou rouge devient normalement bleu ; ajouter du vinaigre ou des fruits acides dans la casserole est nécessaire pour conserver la couleur rouge du chou [11].

Le chou rouge a besoin d'un sol bien fertilisé et d'une humidité suffisante pour pousser. C'est une plante saisonnière qui est semée au printemps et récoltée à la fin de l'automne.[12] Le chou rouge se conserve mieux que ses parents « blancs » et n'a pas besoin d'être converti en choucroute pour durer l'hiver.



Figure I.3 : chou rouge

➤ **Chou brocoli (*Brassica oleracea var. italica*) (calabrais) :**

Le brocoli calabrais (**figure I.4**) possède une tige épaisse et une grande tête centrale de 4 à 5 pouces, composée de petits boutons vert foncé et compactés, lui donnant l'apparence d'un petit arbre. Il s'agit de l'un des types de brocoli les plus populaires, que l'on trouve fréquemment dans les supermarchés [13].



Figure I.4 : Chou vert brocoli (calabrais)

- **Chou-fleur (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) : la pépite blanche de *Brassica Oleracea* :**

Le chou-fleur (**figure I.5**), une variété spécifique de *Brassica oleracea*, provient de la région méditerranéenne. Contrairement à d'autres types de choux, il est cultivé principalement pour sa fleur comestible, apprécié pour sa grande polyvalence, il se prête à de nombreuses préparations telles que des purées, des gratins, des pizzas à base de croûte de chou-fleur, et bien d'autres encore. Sa texture légère et son goût doux en font une excellente alternative aux glucides dans diverses recettes [14].



Figure I.5 : Chou-fleur

I.4 Composition phytochimique du chou :

Le chou se distingue par sa forte teneur en composés phytochimiques bénéfiques pour la santé. Ces substances sont liées à de nombreuses vertus préventives et thérapeutiques, ce qui fait du chou un aliment essentiel pour maintenir une alimentation saine et équilibrée [15]. Il contient les composés suivants :

➤ Glucosinolates :

Les glucosinolates (figure I.6) sont des hétérosides d'acide thiosulfonique, caractérisés par une structure commune comprenant un groupe aglycone et un groupe sucre. Plus de 120 glucosinolates ont été recensés dans le règne végétal, dont une trentaine présente dans le chou. Cette diversité de structures entraîne une gamme variée de propriétés biologiques. Les glucosinolates eux-mêmes ne possèdent pas d'activité biologique directe. Leur effet se manifeste après hydrolyse par l'enzyme myrosinase, libérant ainsi des composés tels que les isothiocyanates.

Les composés dérivés des glucosinolates ont fait l'objet de nombreuses études en raison de leurs effets potentiels dans la prévention du cancer. En particulier, ils sont reconnus pour leur capacité à induire la mort des cellules cancéreuses, à inhiber la croissance des tumeurs et à protéger l'ADN contre les dommages [16].

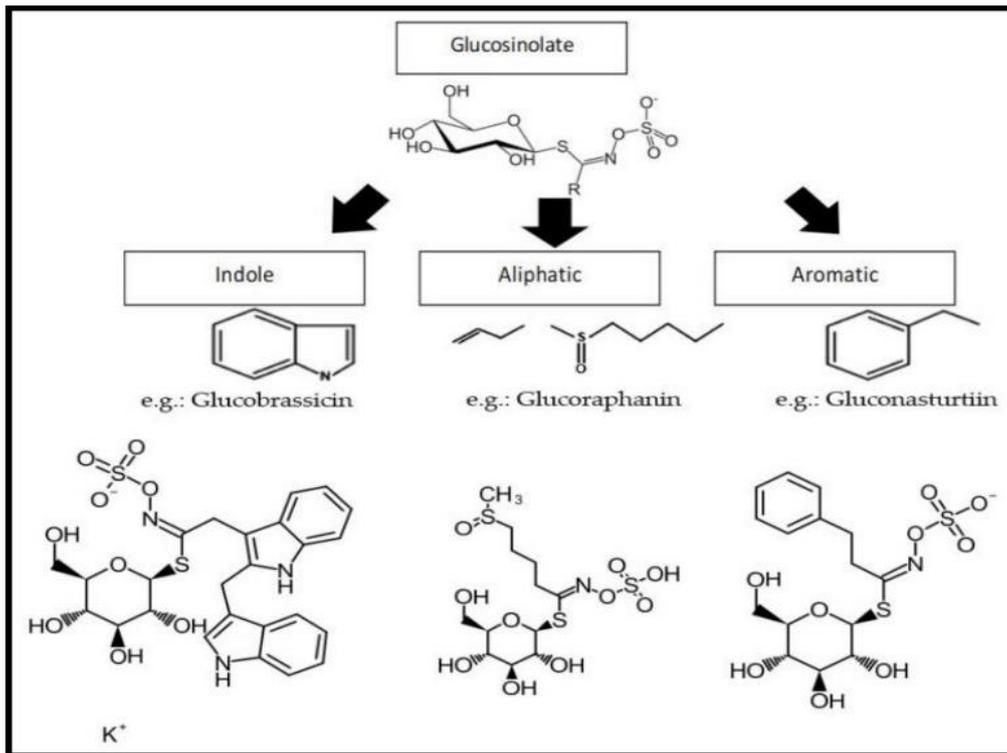


Figure I.6 : Trois grandes classes de précurseurs d'acides aminés des chaînes latérales des glucosinolates (R)

➤ **Isothiocyanates :**

Les isothiocyanates se forment lors de l'hydrolyse enzymatique des glucosinolates (figure I.7), principalement lorsqu'on mâche ou hache le chou. Plus de 100 isothiocyanates ont été identifiés, chacun ayant des propriétés biologiques distinctes.

Ils sont réputés pour leurs effets antimicrobiens, qui aident à lutter contre les infections bactériennes, fongiques et virales. Par ailleurs, ces composés ont montré des effets anti-inflammatoires en inhibant les enzymes responsables de l'inflammation et en régulant les voies de signalisation du système immunitaire [17].

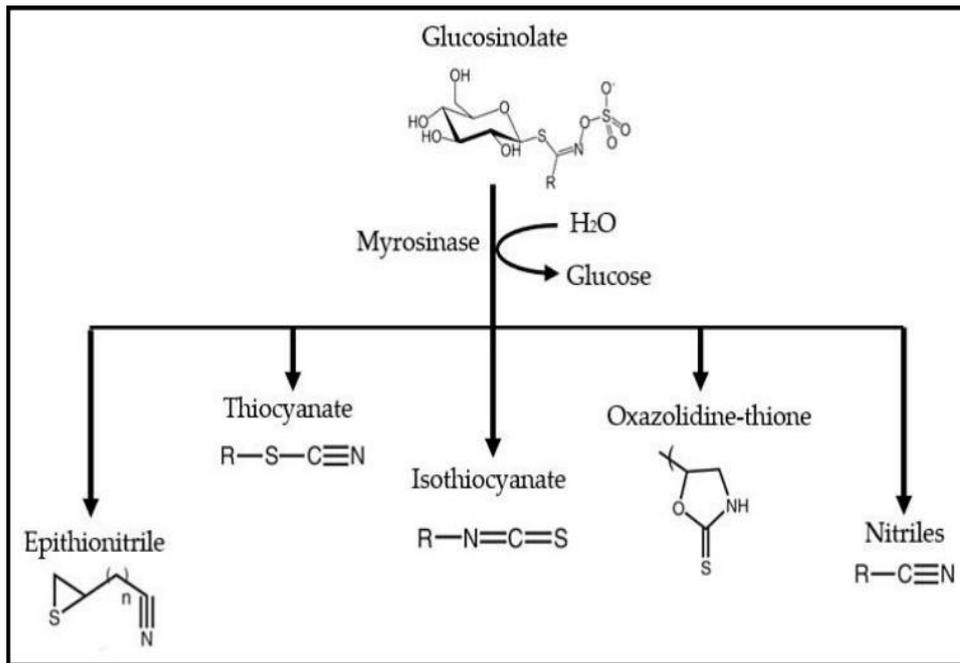


Figure I.7 : Produits sélectionnés après hydrolyse par l'enzyme myrosinase. Les composés produits dépendent de la chaîne latérale (R) et d'autres facteurs au cours du processus de conversion

➤ **Vitamines :**

Le chou est particulièrement riche en vitamines essentielles. Il contient une quantité importante de vitamine C, reconnue pour ses propriétés antioxydantes qui soutiennent le système immunitaire et favorisent la production de collagène, indispensable pour la peau, les os et les tissus conjonctifs.

La vitamine K joue un rôle clé dans la coagulation sanguine, contribuant ainsi à prévenir les saignements excessifs. Par ailleurs, il est une bonne source de vitamines du groupe B, telles que la vitamine B6, nécessaire au métabolisme des protéines, et l'acide folique (vitamine B9), essentiel à la synthèse de l'ADN et au développement cellulaire [18].

➤ **Caroténoïdes :**

Le chou constitue une source importante de caroténoïdes, tels que le bêta-carotène, la lutéine et la zéaxanthine. La lutéine et la zéaxanthine se concentrent dans la rétine de l'œil où elles agissent en tant qu'antioxydants, protégeant ainsi contre les dommages liés à la lumière bleue et aux radicaux libres. Cela aide à préserver une vision saine, en particulier avec le vieillissement [19].

➤ **Polyphénols :**

Les polyphénols sont des antioxydants naturels que l'on retrouve dans de nombreux aliments d'origine végétale. Dans le chou, on trouve des composés tels que les flavonoïdes, les acides phénoliques et les anthocyanines. Ces substances ont montré des effets anti-inflammatoires, cardioprotecteurs et neuroprotecteurs dans plusieurs études. Elles peuvent également contribuer à réguler la glycémie, à améliorer la santé cardiovasculaire en réduisant le risque de formation de caillots sanguins et en abaissant la pression artérielle [20]. La figure (I.8) montre la structure générale des polyphénols.

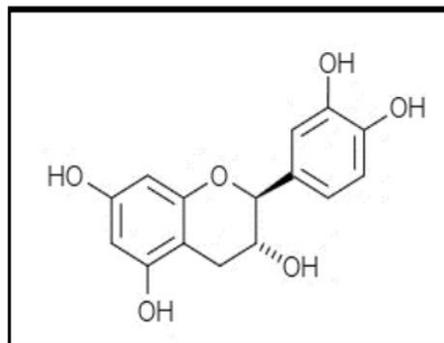


Figure I.8 : Structure générale des polyphénols.

➤ **Anthocyanines :**

Les anthocyanines (figure I.9) sont des pigments naturels de la famille des flavonoïdes, présentant une composition chimique variée qui leur permet de produire une large gamme de couleurs, du rouge au bleu. Elles sont particulièrement présentes dans le chou rouge et le chou violet. Ces puissants antioxydants contribuent à neutraliser les radicaux libres dans l'organisme, réduisant ainsi le stress oxydatif et le risque de maladies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires, le diabète et certains types de cancer [21].

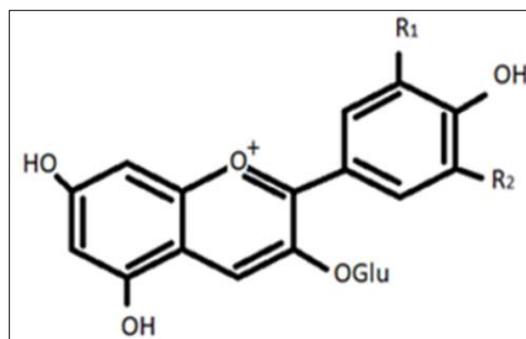


Figure I.9 : Structure des anthocyanines

➤ **Fibres alimentaires :**

Le chou est une excellente source de fibres alimentaires, des glucides non digestibles essentiels à la santé digestive. Elles facilitent le passage des aliments dans le tractus gastro-intestinal, ce qui aide à prévenir la constipation et à maintenir une bonne santé intestinale. Par ailleurs, les fibres alimentaires favorisent la sensation de satiété, ce qui peut être bénéfique pour contrôler le poids en réduisant les risques de suralimentation [23].

➤ **Minéraux :**

Le potassium est essentiel pour réguler l'équilibre des fluides, la pression artérielle et les contractions musculaires, y compris celles du cœur. Le calcium, quant à lui, est crucial pour la santé des os et des dents, ainsi que pour la gestion des fonctions musculaires et nerveuses. Le magnésium, présent dans le corps, joue un rôle clé dans plus de 300 réactions enzymatiques, telles que la production d'énergie, la synthèse des protéines et la régulation de la tension artérielle [22].

I.5 Valeurs nutritionnelles :

Le chou, loin d'être un simple légume, est un véritable trésor nutritionnel, riche en vitamines, minéraux, fibres et composés phytochimiques bénéfiques pour la santé. Que ce soit sous forme de chou vert, rouge, frisé ou pommé, chaque variété offre ses propres bienfaits nutritionnels, en faisant de ce légume crucifère un allié précieux pour une alimentation saine et équilibrée [20]. Le tableau (I.4) rassemble les valeurs nutritives pour 100 g de chou.

Tableau I.3 : Valeurs nutritives pour 100g de chou.

Nutriments	Quantité par 100g	% de (AQR)
Calories	25 kcal	-
Glucides	4g	2%
Fibres	2.5g	10%
Protéines	2g	4%
Lipides	<0.5g	-
Vitamines		
Vitamine C	54mg	90%
Vitamine K	80µg	100%
Folates (B9)	80µg	20%

Minéraux		
Potassium	490mg	14%
Magnésium	25mg	7%
Calcium	40mg	4%
Phosphore	30mg	4%

I.6 Intérêt et Importance des éléments nutritifs dans le chou :

Sur le plan nutritionnel, le chou est une excellente source de vitamine C, reconnue pour ses propriétés de renforcement du système immunitaire et de protection des cellules contre les dommages des radicaux libres. Il apporte également une quantité significative de vitamine K, cruciale pour la coagulation sanguine et la santé osseuse, ainsi que des folates (vitamine B9), indispensables pour le développement fœtal et la santé cognitive [18].

Concernant les minéraux, le chou est riche en potassium, qui aide à réguler la pression artérielle et à favoriser la contraction musculaire, ainsi qu'en magnésium, essentiel pour le bon fonctionnement du système nerveux et musculaire, ainsi que pour la régulation de la glycémie. Il contient aussi du calcium, nécessaire à la santé des os et des dents.

Les fibres présentes dans le chou jouent un rôle clé dans la digestion, les fibres solubles ralentissent l'absorption des sucres, ce qui aide à réguler la glycémie, tandis que les fibres insolubles augmentent le volume des selles, facilitant ainsi le transit intestinal et prévenant la constipation.

De plus, le chou renferme des composés phytochimiques aux bienfaits multiples pour la santé. Les glucosinolates, par exemple, sont étudiés pour leurs effets anticancéreux et anti-inflammatoires, tandis que les anthocyanines, puissants antioxydants, protègent les cellules des dommages oxydatifs. Les isothiocyanates, quant à eux, présentent des propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires, renforçant le système immunitaire.

Ainsi, le chou constitue un aliment précieux, offrant une combinaison unique de nutriments et de composés phytochimiques bénéfiques, à intégrer dans une alimentation saine et équilibrée.

Références bibliographiques :

- [1] Vilmorin et Cie. (2021). Fiche : Brassicacées. Consulté 07 mai 2025.
- [2] Vilmorin-Andrieux et Cie. (1925). Les plantes potagères Description et culture Principaux légumes des climats tempérés, Quatrième édition, pp. 117-185.
- [3] Li, X., et al. (2020). Phytochemical compositions and antioxidant and anti-inflammatory properties of twenty-two cabbage varieties. *Journal of Food Biochemistry*, 44(5), e13231.
- [4] Warwick, S. I. (2009). *Brassica* Linnaeus, Sp. Pl. 2: 666. 1753; Gen. Pl. ed. 5, 299. 1754. In *Flora of North America* Editorial Committee (Eds.), *Flora of North America North of Mexico* (Vol. 7: Magnoliophyta: Salicaceae to Brassicaceae). New York, NY, and Oxford, UK: Oxford University Press. Version en ligne.
- [5] Chauvet, M. (2010). *Encyclopédie des plantes alimentaires*. Belin. ISBN 978-2-7011-5971-3, pp. 173-191.
- [6] Futura Sciences. (S.d.). Le chou : culture et variétés. <https://www.futura-sciences.com> (Consulté le 7 mai 2025)
- [7] Rabin, J. (2017). *The World History of Cabbage*.
- [8] Grigson, J. (2007). *The Vegetable Book*.
- [9] <https://samsungfood.com/blog/types-of-cabbage> (28 janvier 2025)
- [10] Copes, J. S. (2006). The chemical wizardry of JK Rowling. *Journal of chemical education*, 83(10), p 1479.
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Red_cabbage#cite_note-3 (consulté 28 janvier 2025)
- [12] "How to Grow Red Cabbages - Vegetable Gardening". www.quickcrop.ie. Retrieved 28 janvier 2025
- [13] <https://fr.goodgardenthing.com/article30-types-of-broccoli-varieties--best-broccoli-variety-to-grow> (04 avril 2025)
- [14] <https://leschatsgourmets.com/lectures-culinaires/10040-tout-sur-le-chou-histoire-varietes-utilisations-en-cuisine-et-recettes-savoureuses/> (consulté 04 avril 2025)
- [15] Kamal, R. M., Abdull Razis, A. F., Mohd Sukri, N. S., Perimal, E. K., Ahmad, H., Patrick, R. and Rigaud, S. (2022). Beneficial health effects of glucosinolates-derived isothiocyanates on cardiovascular and neurodegenerative diseases. *Molecules*, 27(3), p 624.
- [16] Clarke, D. B. (2010). Glucosinolates, structures and analysis in food. *Analytical methods*, 2(4), 310-325.
- [17] Ali, S. S., Ahmad, N., Jamal Gilani, S., & Ali Khan, N. (2018). Isothiocyanates: a review. *Research Journal of Pharmacognosy*, 5(2), 71-89.

- [18] NIH. National Institutes of Health: Office of Dietary Supplements - Vitamin C. <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Vitamin-HealthProfessional/> (consulté 06 Avril 2025)
- [19] Stahl, W., & Sies, H. (2003). Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular aspects of medicine*, 24(6), 345-351.
- [20] Slavin, J. L., Lloyd, B. J., et Becerra-Mayor, C. (2012). Qualité nutritionnelle des légumes Brassica.
- [21] Castañeda-Ovando, A., de Lourdes Pacheco-Hernández, M., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food chemistry*, 113(4), 859-871.
- [22] Schlegel, P., & Kessler, J. (2015). Minéraux et vitamines. Apports alimentaires recommandés pour les ruminants (Livre vert), chapitre, 4.
- [23] Boclé, J. C., Champ, M., & Berta, J. L. (2005). Les fibres alimentaires : déterminants physico-chimiques, définition, aspects analytiques et physiologiques. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 40(1), 15-21.
- [24] Anegboh, A., Kantoglu, S., & Moshfegh, A. J. (2015). Glucosinolates and Health.

Chapiter II:

"Recherche bibliographique sur les compositions phénolique"

II.1 Généralités sur les polyphénols :

Les polyphénols sont des composés naturels synthétisés exclusivement par les plantes, avec des caractéristiques chimiques liées aux substances phénoliques dont les bio-activités sont signalées pour moduler le stress oxydatif et inflammatoire, pour modifier la digestion des macronutriments et pour exercer des effets de type prébiotique sur le microbiote intestinal.

Les polyphénols sont presque omniprésents dans les plantes, étant généralement impliqués dans l'attraction des pollinisateurs, l'exécution des fonctions structurelles, la défense contre les rayons ultraviolets et la protection des plantes contre l'invasion microbienne et les herbivores [1,2].

Ces composés sont également courants dans les aliments, tels que les fruits, les légumes, les noix, les graines, les fleurs et les écorces d'arbres ...et font donc partie intégrante de l'alimentation humaine. Ils sont en partie responsables des qualités sensorielles et nutritionnelles des aliments végétaux, par exemple l'astringence, la couleur et l'odeur en fonction de la teneur en composés polyphénoliques [3]. De plus, certains peuvent également se lier et précipiter des macromolécules, telles que les protéines alimentaires, les glucides et les enzymes digestives, réduisant ainsi la digestibilité des aliments [4].

Ces composés ont certainement atteint une position importante en raison de leur large distribution dans les aliments d'origine végétale et des preuves significatives de la corrélation négative de leur consommation avec les cancers, le diabète et les maladies cardiovasculaires. Les preuves épidémiologiques et cliniques suggèrent que les régimes alimentaires riches en polyphénols peuvent réduire le risque de plusieurs maladies chroniques liées à l'âge [5]. La figure (II.1) représente un résumé des avantages des polyphénols pour la société humaine [6].

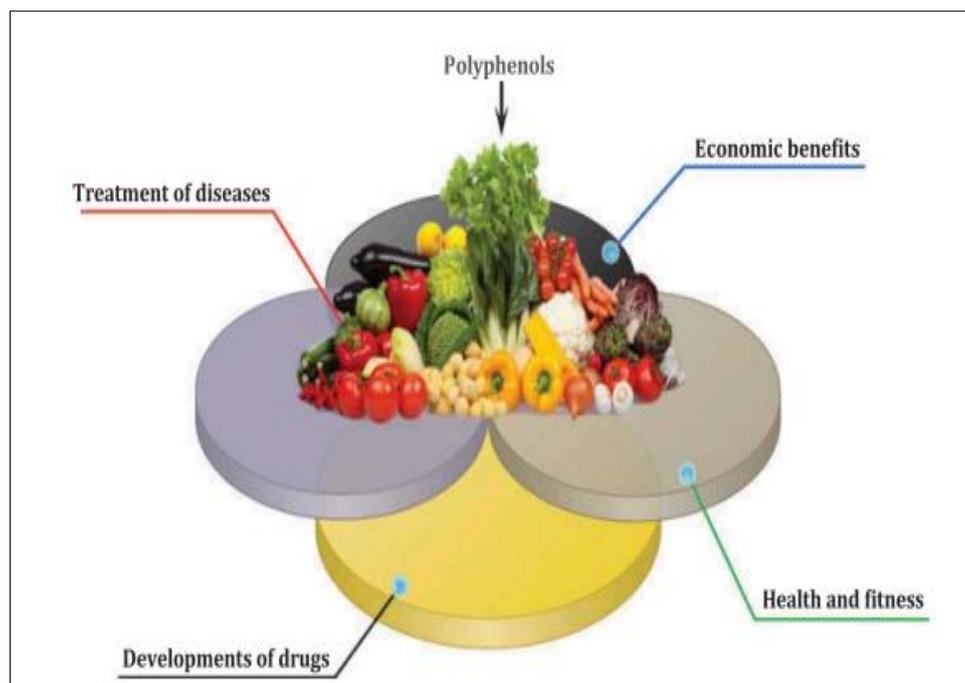


Figure II.1 : Résumé des avantages des polyphénols pour la société humaine

II.2 Classification des polyphénols :

Les composés phénoliques représentent une principale classe de métabolites secondaires contenues dans les plantes. Plusieurs molécules ayant une structure polyphénolique (c'est-à-dire plusieurs groupes hydroxyles sur des anneaux aromatiques) ont été identifiées. Ces molécules sont généralement impliquées dans la défense contre le rayonnement ultraviolet ou l'agression par des pathogènes. Ces composés peuvent être classés en différents groupes en fonction du nombre d'anneaux phénoliques qu'ils contiennent et des éléments structuraux qui lient ces anneaux entre eux. Les polyphénols peuvent être eux-mêmes associés à divers hydrates de carbone et d'acides organiques [7].

On distingue ainsi les acides phénoliques, les lignanes, les coumarines, les tanins, les flavonoïdes qui sont plus représentatives sont divisés en flavones, flavanones, flavonols, flavanols, isoflavones et acides phénoliques et sont généralement classés en acides hydroxybenzoïque et hydroxycinnamique [8]. Les stilbènes sont un groupe de composés phénoliques qui partagent une structure chimique similaire à celle des flavonoïdes.

La figure (II-2) représente les classes des composés phénoliques et leurs sources alimentaires.

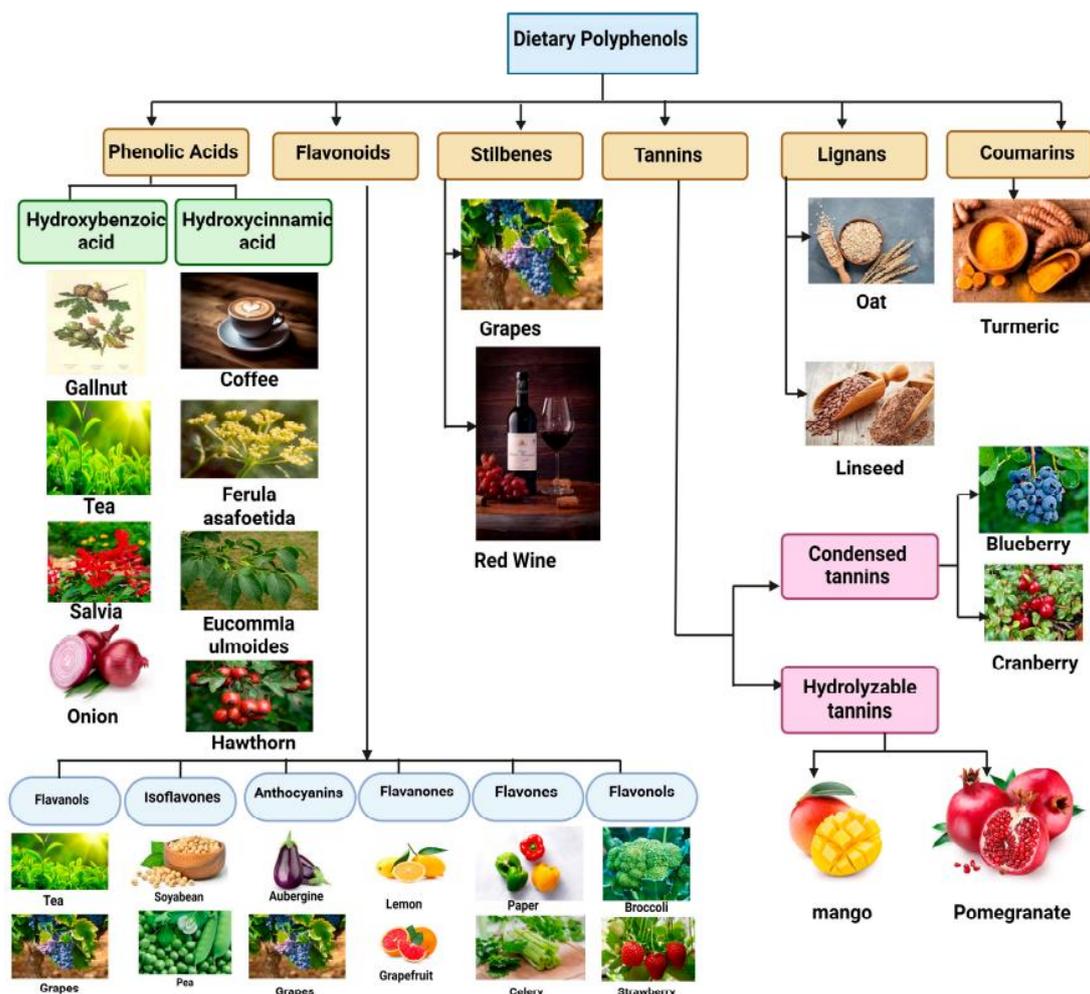


Figure II.2 : Classification des composés phénoliques.

II.3 Polyphénols bien plus que de simples antioxydants :

Bien qu'ils soient largement répandus dans les plantes, la recherche sur les propriétés antioxydantes des polyphénols a véritablement débuté après 1995. Comme en témoigne le nombre d'articles publiés par an. Le principal facteur qui a retardé la recherche sur les polyphénols est peut-être la diversité et la complexité considérables de leurs structures chimiques. La figure (II.3) montre l'augmentation du nombre de publications concernant les polyphénols et les antioxydants au cours des 100 dernières années. Les publications sont celles enregistrées dans la base de données Scopus (octobre 2021) [9].

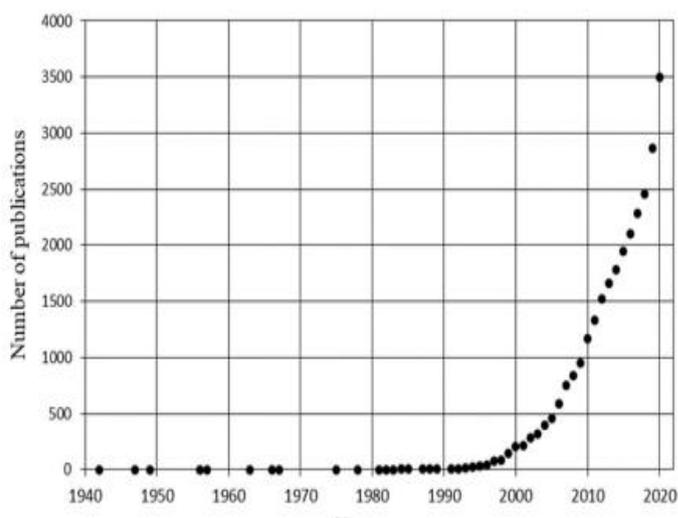


Figure II.3 : Requêtes « Polyphénols » et « Antioxydant ».

Les méthodes analytiques utilisées pour la quantification des polyphénols et les résultats des recherches bibliographiques obtenues sont dispersés dans une multitude de sources documentaires. Cette situation est compliquée par le fait que la teneur en polyphénols de chaque aliment peut varier considérablement en fonction de la variété, des conditions agricoles et des conditions de stockage de climat et de sol.

En raison de la complexité de ce vaste groupe de composés végétaux, de nombreux polyphénols ne sont toujours pas identifiés. Par conséquent, les informations contenues dans la littérature sur la teneur et la composition des polyphénols dans les aliments végétaux sont non seulement incomplètes, mais aussi contradictoires et difficiles à comparer. Certains efforts sont déployés pour organiser cette multitude d'informations dans des bases de données, telles que Phénol-Explorer, qui fournit des informations détaillées sur les classes et la distribution des polyphénols dans les aliments [10].

Le rôle des polyphénols alimentaires dans le maintien de la santé et la prévention des maladies est incontestable et a été attribué aux propriétés antioxydantes de ces biomolécules. A titre d'exemple, l'activité antioxydante totale des fruits est principalement due à leur teneur en polyphénols, autres que la vitamine C [11], car ils suppriment la génération de radicaux libres et jouent le rôle de briseurs de chaîne dans les piègeurs de radicaux directs des réactions en chaîne de la peroxydation lipidique [12].

En plus de leur capacité antioxydante et de piégeage des radicaux, les polyphénols sont également connus pour être des chélateurs de métaux. En fait, la présence d'anneaux aromatiques et de certains groupes fonctionnels (groupes carboxyle, hydroxyle et carbonyle) leur permet de se lier à différents métaux [13]. Cette capacité est importante pour les plantes, car les phénols améliorent l'absorption des nutriments en formant des chélates avec les ions métalliques. En outre, la chélation des métaux de transition tels que le fer ou le cuivre réduit la vitesse de la réaction de Fenton, empêchant ainsi l'oxydation causée par les radicaux hydroxyles réactifs [14]. Récemment, il a été trouvé que les flavonoïdes, n'agissent pas seulement comme des antioxydants conventionnels, mais aussi comme des modulateurs de la signalisation cellulaire [15,16].

II.4 Les polyphénols et absorption par l'organisme :

Les métabolites présents dans le sang et les organes cibles, issus de l'activité digestive ou hépatique, peuvent différer des substances natives en termes d'activité biologique. Une connaissance approfondie de la biodisponibilité des polyphénols est donc essentielle pour comprendre leurs effets sur la santé. Le métabolisme des polyphénols s'effectue via une voie commune [17]. Les aglycones peuvent être absorbés par l'intestin grêle. Cependant, la plupart des polyphénols sont présents dans les aliments sous forme d'esters, de glycosides ou de polymères qui ne peuvent être absorbés sous leur forme native (figure II.4).

Ces substances doivent être hydrolysées par les enzymes intestinales ou par la microflore colique avant de pouvoir être absorbées. Lorsque la flore est impliquée, l'efficacité de l'absorption est souvent réduite, car elle dégrade également les aglycones qu'elle libère et produit divers acides aromatiques simples au cours du processus. Au cours de l'absorption, les polyphénols sont conjugués dans l'intestin grêle, puis dans le foie. Ce processus comprend principalement la méthylation, la sulfatation... Les polyphénols et leurs dérivés sont principalement éliminés dans l'urine et la bile [7].

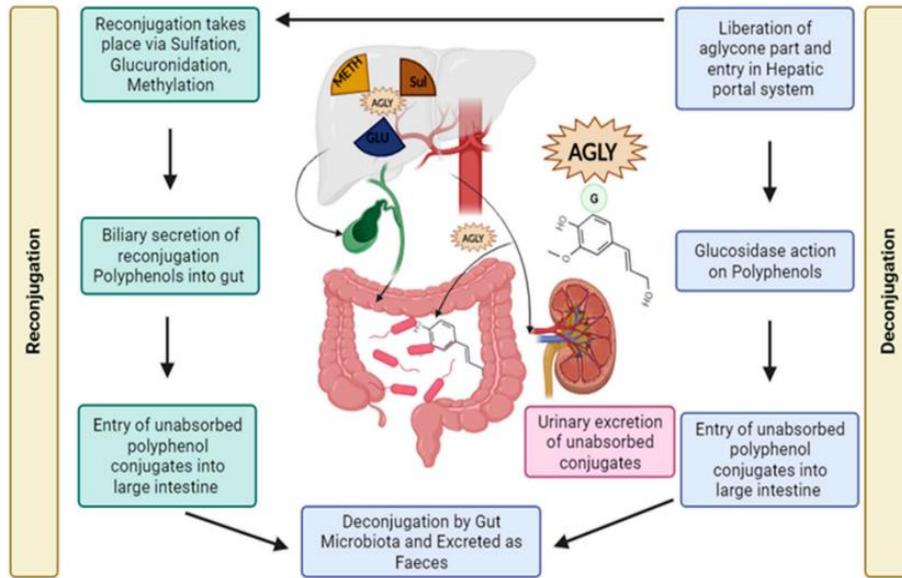


Figure II.4 : Absorption des polyphénols et leur métabolisme

II.5 Polyphénols et santé humaine :

Des études épidémiologiques ont montré une relation inverse entre le risque de maladies humaines chroniques et la consommation d'un régime riche en polyphénols [18]. Les polyphénols peuvent protéger les constituants cellulaires contre les dommages oxydatifs et, par conséquent, limiter le risque de diverses maladies dégénératives associées au stress oxydatif (figure II.4) [19].

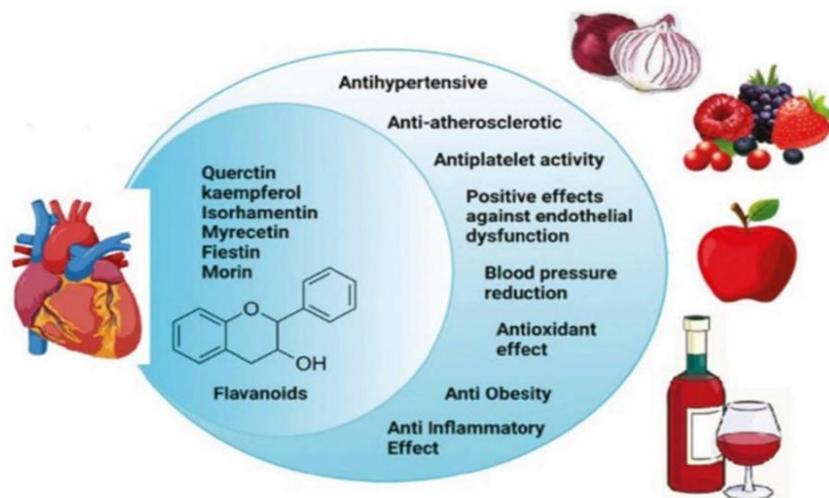


Figure II.5 : Effet des polyphénols sur les différentes maladies

Il est bien établi que les plantes, les aliments et les boissons riches en polyphénols peuvent prévenir notre santé contre les maladies. Le tableau (II.1) montre des exemples de ces derniers (comme le lait dans le soja, le thé, le chocolat...). Ces aliments peuvent être quotidiennement consommés ou même utilisés en médecine traditionnelle ou même comme des compléments.

Tableau II.1: Quelques exemples de sources végétales riches en polyphénols connus pour leurs effets thérapeutiques

	Principaux composés	Activités biologiques principales
Ginkgo (feuilles) <i>Ginkgo biloba</i> L.	Flavonols : mono, di et triglycosides du kaempférol, de la quercétine et de l'isorhamnétine Aglycones de flavonols et flavones	Effet antioxydant Action neuroprotectrice Action positive sur la circulation cérébrale
Soja (jeunes pousses) <i>Glycine max</i> L.	Phytoestrogènes du groupe des isoflavonoides (génistéine, daidzéine et glycitéine et leurs dérivés glycosylés et acylés)	Action anticancéreuse Troubles de la ménopause Diminution du cholestérol sanguin Protection contre les accidents cardiovasculaires
Lin (graines) <i>Linum sp.</i>	Phytoestrogènes du groupe des lignanes	Action anticancéreuse Prévention des accidents coronariens
Houblon (cônes floraux) <i>Humulus lupulus</i> L.	Phytoestrogène : 8-prénylnaringénine Proanthocyanidines (dérivés de la catéchine, de l'épicatéchine, de l'épigallocatechine)	Action œstrogénique Effet antioxydant
Pin maritime (écorce) <i>Pinus maritima</i> L.	Proanthocyanidines à base de catéchine et d'épicatéchine Acides benzoïques et hydroxycinnamiques libres et glycosylés	Effet antioxydant Anti-inflammatoire Inhibition de l'agrégation des plaquettes sanguines
Raisin (pépins et vin) <i>Vitis vinifera</i> L.	Catéchine, épicatechine Proanthocyanidines oligomères Tannins condensés	Effet antioxydant Protection contre les affections cardiovasculaires
Raisin, vin rouge	Resvératrol	Diminution de l'agrégation des plaquettes sanguines Action anticancéreuse
Podophyllum peltatum L.	Podophyllotoxine (lignane)	Action anticancéreuse et antivirale
Trèfle des prés (jeunes pousses) <i>Trifolium pratense</i> L.	Isoflavones (formononétine, biochanine A)	Action phytoestrogénique voisine de celle du soja
Luzerne <i>Medicago sativa</i> L.	Coumestrol	Propriétés œstrogéniques
Agrumes (fruits) <i>Citrus sp.</i>	O- et C-glycosides de flavones et flavonones (naringine, diosmine, hespéridine) Flavones polyméthoxylés	Action anti-inflammatoire Action anticancéreuse Augmentation du tonus veineux

En médecine traditionnelle, on peut utiliser des mélanges de molécules actives (phytoestrogènes du soja ou flavanes des écorces de pin) ou molécules purifiées transformées par synthèse chimique comme l'exemple de l'aspirine [20].

II.6. Activités biologiques des polyphénols :

➤ II.6.1/Effet cardioprotecteur :

Plusieurs études ont démontré que la consommation de polyphénols limite l'incidence des maladies coronariennes [21]. L'athérosclérose est une maladie inflammatoire chronique qui se développe dans les régions sujettes aux lésions des artères de taille moyenne. Les lésions artérioscléreuses peuvent être présentes et cliniquement silencieuses pendant des décennies avant de devenir actives et de produire des conditions pathologiques telles que l'infarctus aigu du myocarde, l'angor instable ou la mort cardiaque subite [22]. D'autres mécanismes par lesquels les polyphénols peuvent protéger contre les maladies cardiovasculaires sont aussi cités dans la littérature [23].

Les polyphénols peuvent également contribuer à la stabilisation de la plaque d'athérome. Il a été démontré que la quercétine, le polyphénol le plus abondant dans l'oignon, est inversement associée à la mortalité due aux maladies coronariennes [23]. Il a été démontré que les catéchines du thé inhibent l'invasion et la prolifération des cellules musculaires lisses dans la paroi artérielle, un mécanisme qui peut contribuer à ralentir la formation de la lésion athéromateuse [24].

Les polyphénols peuvent également exercer des effets antithrombotiques en inhibant l'agrégation plaquettaire, ils améliorent le dysfonctionnement endothélial associé à différents facteurs de risque d'athérosclérose avant la formation de la plaque ; leur utilisation comme outil de pronostic pour les maladies coronariennes a également été proposée [25]. Il a été observé que la consommation d'environ 450 ml de thé noir augmente la dilatation des artères. [26].

Une étude transversale portant sur 218 femmes âgées de plus de 70 ans a montré que la consommation régulière de thé noir à long terme abaissait la tension artérielle. Les polyphénols du thé pourraient être les composants responsables de la baisse de la tension artérielle. L'effet peut être dû à l'activité antioxydante ainsi qu'à l'amélioration de la fonction endothéliale ou à une activité similaire à celle des œstrogènes [23]. La relation directe entre les maladies cardiovasculaires et l'oxydation des LDL est aujourd'hui bien établie. Des études

menées ont montré que le resvératrol inhibe potentiellement l'oxydation des particules LDL par l'intermédiaire du cuivre chélateur ou par le piégeage direct des radicaux libres [27].

➤ **II.6.2/ Effet anticancéreux :**

Les effets des polyphénols sur les lignées cellulaires cancéreuses humaines, ont été étudiés et ont montrées une réduction du nombre de tumeurs ou de leur croissance [28]. Ces effets ont été observés sur différents sites, notamment la bouche, l'estomac, le duodénum, le côlon, le foie, le poumon, la glande mammaire ou la peau.

Plusieurs mécanismes d'action ont été identifiés pour l'effet chimio préventif des polyphénols, notamment l'activité œstrogène/antiœstrogène, l'antiprolifération, l'induction de l'arrêt du cycle cellulaire ou de l'apoptose, la prévention de l'oxydation, l'induction d'enzymes de détoxification, la régulation du système immunitaire de l'hôte, l'activité anti-inflammatoire et les changements dans la signalisation cellulaire [23].

Les polyphénols influencent le métabolisme des substances pro-cancérigènes en modulant l'expression des enzymes du cytochrome P450 impliquées dans leur activation en substances cancérigènes. Ils peuvent également faciliter leur excrétion en augmentant l'expression des enzymes de conjugaison de la phase II. Cette induction des enzymes de phase II pourrait trouver son origine dans la toxicité des polyphénols [18]. Les polyphénols peuvent former dans l'organisme des quinones potentiellement toxiques qui sont elles-mêmes des substrats de ces enzymes.

La consommation de polyphénols pourrait alors activer ces enzymes pour leur propre détoxification et ainsi, induire un renforcement général de nos défenses contre les xénobiotiques toxiques. Il a été démontré que les catéchines du thé sous forme de gélules administrées à des hommes présentant un néoplasie intraépithélial de la prostate de haut grade ont démontré une activité préventive du cancer en inhibant la conversion des lésions de haut grade en cancer [29].

➤ **II.6.3/ Effet antidiabétique :**

L'altération du métabolisme du glucose entraîne un déséquilibre physiologique avec l'apparition de l'hyperglycémie et par la suite, du diabète sucré. Il existe deux catégories principales de diabète : le type 1 et le type 2. Des études ont montré que plusieurs paramètres physiologiques de l'organisme sont altérés en cas de diabète [30]. Les effets à long terme du diabète comprennent le développement progressif de compléments spécifiques tels que la rétinopathie, qui affecte les yeux et conduit à la cécité, la néphropathie, dans laquelle les

fonctions rénales sont altérées ou perturbées, et la neuropathie, qui est associée à des risques d'amputations, d'ulcères du pied et à des caractéristiques de troubles autonomes, y compris des dysfonctionnements sexuels. De nombreuses études de recherches ont montrées les effets antidiabétiques des polyphénols.

Les catéchines du thé ont été étudiées pour leur potentiel antidiabétique [31]. Les polyphénols peuvent affecter la glycémie par différents mécanismes, y compris l'inhibition de l'absorption du glucose dans l'intestin ou de son absorption par les tissus périphériques. L'inhibition des glycosidases intestinales et du transporteur de glucose par les polyphénols a été étudiée [32]. Il a été trouvé que la glycyrrhizine de la racine de réglisse, l'acide chlorogénique et les saponines diminuent également le transport intestinal du glucose. Les saponines retardent en outre le transfert du glucose de l'estomac à l'intestin grêle [33].

Les polyphénols de l'oignon, en particulier la quercétine, sont connus pour leur forte activité antidiabétique. Une étude récente montre que la quercétine a la capacité de protéger les altérations chez les patients diabétiques pendant le stress oxydatif. La quercétine a significativement la peroxydation des lipides et l'inhibition du système du système antioxydant chez les diabétiques [34].

➤ **II.6.4/ Effet anti-âge :**

Le vieillissement est le processus d'accumulation de divers changements préjudiciables dans les cellules et les tissus avec l'âge, ce qui entraîne une augmentation des risques de maladie et de décès. Parmi les nombreuses théories visant à expliquer le mécanisme du vieillissement, la théorie du stress oxydatif/radicalaire est l'une des plus acceptées. Une certaine quantité de dommages oxydatif se produit même dans des conditions normales ; cependant, le taux de ces dommages augmente au cours du processus de vieillissement à mesure que l'efficacité des systèmes antioxydants et de réparation diminue [35].

La capacité antioxydante du plasma est liée à l'apport alimentaire en antioxydants. Il a été constaté que l'apport d'un régime riche en antioxydants est efficace pour réduire les effets délétères du vieillissement. Plusieurs recherches suggèrent que la combinaison de composés polyphénoliques antioxydants/anti-inflammatoires trouvés dans les fruits et les légumes peut réduire les effets délétères du vieillissement [36]. Récemment, il a été trouvé que la quercétine a également un effet préventif contre le vieillissement [37].

➤ **II.6.5/ Effets neuroprotecteurs :**

Le stress oxydatif et les dommages causés aux macromolécules cérébrales constituent un processus important dans les maladies neurodégénératives. La maladie d'Alzheimer est l'un des troubles neurologiques les plus courants, touchant jusqu'à 18 millions de personnes dans le monde. Les polyphénols étant hautement antioxydants par nature, leur consommation peut offrir une protection contre les maladies neurologiques [38].

Il a été constaté que la consommation de jus de fruits et de légumes contenant de fortes concentrations de polyphénols, au moins trois fois par semaine, peut jouer un rôle important pour retarder l'apparition de la maladie d'Alzheimer. Les polyphénols des fruits et légumes semblent neuroprotecteur en vertu de leur capacité à influencer et à moduler plusieurs processus cellulaires tels que la signalisation, la prolifération, l'apoptose, l'équilibre redox et la différenciation [39].

Récemment, il a été rapporté que l'administration de polyphénols avait des effets protecteurs contre la maladie de Parkinson, un trouble neurologique caractérisé par la dégénérescence des neurones dopaminergiques dans la zone compacte substantielle [40]. Des études nutritionnelles ont établi un lien entre la consommation de thé vert et la réduction du risque de développer la maladie de Parkinson.

Le rôle thérapeutique des catéchines dans la maladie de Parkinson est également dû à leur capacité à chélater le fer. Cette propriété contribue à leur activité antioxydante en empêchant le métal de transition redox-actif de catalyser la formation de radicaux libres. En outre, la fonction antioxydante est également liée à l'induction de l'expression des enzymes antioxydantes et détoxifiantes, en particulier dans le cerveau, qui n'est pas suffisamment protégé contre les radicaux libres [40,41].

➤ **II.6.6 Action anti-obésité des polyphénols :**

Plusieurs essais in vitro, chez l'animal et chez l'homme ont été réalisés pour évaluer le potentiel anti-obésité des polyphénols alimentaires. Les résultats de ces études ont indiqué qu'ils exercent une fonction anti-obésité par le biais de divers mécanismes [42].

Les mécanismes par lesquels les polyphénols exercent des fonctions anti-obésité, individuellement ou dans certaines combinaisons, comprennent l'inhibition des enzymes, la stimulation de la dépense énergétique, la suppression de l'appétit, l'inhibition de la différenciation des adipocytes, la régulation du métabolisme des lipides et la modulation du

microbiote intestinal [43]. La figure 1 présente collectivement les principaux mécanismes par lesquels les polyphénols naturels exercent des fonctions anti-obésité.

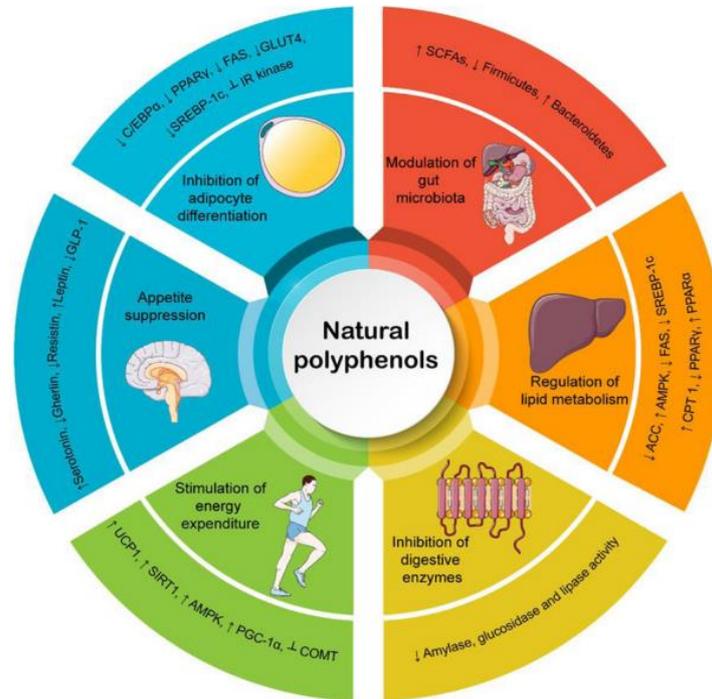


Figure II.6 : Différents mécanismes et leurs changements associés Dans la fonction anti-obésité des polyphénols naturels.

Références bibliographiques :

- [1] Harborne, J. B., & Williams, C. A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, 55(6), 481-504.
- [2] Mukherjee, C., & Chakraborty, S. (2021). Study of dietary polyphenols from natural herbal sources for providing protection against human degenerative disorders. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 101956.
- [3] Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2(5), 270-278.
- [4] Cutrim, C. S., & Cortez, M. A. S. (2018). A review on polyphenols: Classification, beneficial effects and their application in dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 71(3), 564-578.
- [5] Debelo, H., Li, M., & Ferruzzi, M. G. (2020). Processing influences on food polyphenol profiles and biological activity. *Current Opinion in Food Science*, 32, 90-102.
- [6] Rasouli, H., Farzaei, M. H., & Khodarahmi, R. (2017). Polyphenols and their benefits: A review. *International Journal of Food Properties*, 20(sup2), 1700-1741.
- [7] Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*, 79(5), 727-747.
- [8] Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., ... & Suleria, H. A. R. (2017). Natural polyphenols: An overview. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1689-1699.
- [9] Bertelli, A., Biagi, M., Corsini, M., Bainsi, G., Cappellucci, G., & Miraldi, E. (2021). Polyphenols: From theory to practice. *Foods*, 10(11), 2595.
- [10] Neveu, V., Perez-Jiménez, J., Vos, F., Crespy, V., du Chaffaut, L., Mennen, L., ... & Scalbert, A. (2010). Phenol-Explorer: an online comprehensive database on polyphenol contents in foods. *Database*, 2010.
- [11] Wang, H., Cao, G., & Prior, R. L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, 44(3), 701-705.

- [12] Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free radical biology and medicine*, 20(7), 933-956.
- [13] Cherrak, S. A., Mokhtari-Soulimane, N., Berroukeche, F., Bensenane, B., Cherbonnel, A., Merzouk, H., & Elhabiri, M. (2016). In vitro antioxidant versus metal ion chelating properties of flavonoids: A structure-activity investigation. *PloS one*, 11(10), e0165575.
- [14] Pietta, P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of natural products*, 63(7), 1035-1042.
- [15] Kostyuk, V. A., Potapovich, A. I., Suhan, T. O., de Luca, C., & Korkina, L. G. (2011). Antioxidant and signal modulation properties of plant polyphenols in controlling vascular inflammation. *European journal of pharmacology*, 658(2-3), 248-256.
- [16] Moosavi, F., Hosseini, R., Saso, L., & Firuzi, O. (2015). Modulation of neurotrophic signaling pathways by polyphenols. *Drug design, development and therapy*, 23-42.
- [17] Scalbert, A., & Williamson, G. (2000). Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *The Journal of nutrition*, 130(8), 2073S-2085S.
- [18] Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2005). Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical reviews in food science and nutrition*, 45(4), 287-306.
- [19] Luqman, S., & Rizvi, S. I. (2006). Protection of lipid peroxidation and carbonyl formation in proteins by capsaicin in human erythrocytes subjected to oxidative stress. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 20(4), 303-306
- [20] Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. EPFL Press, 148-150.
- [21] Renaud, S. D., & de Lorgeril, M. (1992). Wine, alcohol, platelets, and the French paradox for coronary heart disease. *The Lancet*, 339(8808), 1523-1526.
- [22] Vita, J. A. (2005). Polyphenols and cardiovascular disease: effects on endothelial and platelet function2–3. *The American journal of clinical nutrition*, 81(1), 292S-297S.

- [23] García-Lafuente, A., Guillamón, E., Villares, A., Rostagno, M. A., & Martínez, J. A. (2009). Flavonoids as anti-inflammatory agents: implications in cancer and cardiovascular disease. *Inflammation research*, 58(9), 537-552.
- [24] Maeda, K., Kuzuya, M., Cheng, X. W., Asai, T., Kanda, S., Tamaya-Mori, N., ... & Iguchi, A. (2003). Green tea catechins inhibit the cultured smooth muscle cell invasion through the basement barrier. *Atherosclerosis*, 166(1), 23-30.
- [25] Schächinger, V., Britten, M. B., & Zeiher, A. M. (2000). Prognostic impact of coronary vasodilator dysfunction on adverse long-term outcome of coronary heart disease. *Circulation*, 101(16), 1899-1906.
- [26] Duffy, S. J., Keaney Jr, J. F., Holbrook, M., Gokce, N., Swerdloff, P. L., Frei, B., & Vita, J. A. (2001). Short-and long-term black tea consumption reverses endothelial dysfunction in patients with coronary artery disease. *Circulation*, 104(2), 151-156.
- [27] Cucciolla, V., Borriello, A., Oliva, A., Galletti, P., Zappia, V., & Ragione, F. D. (2007). Resveratrol: from basic science to the clinic. *Cell cycle*, 6(20), 2495-2510.
- [28] Yang, C. S., Landau, J. M., Huang, M. T., & Newmark, H. L. (2001). Inhibition of carcinogenesis by dietary polyphenolic compounds. *Annual review of nutrition*, 21(1), 381-406.
- [29] Khan, N., & Mukhtar, H. (2008). Multitargeted therapy of cancer by green tea polyphenols. *Cancer letters*, 269(2), 269-280.
- [30] Rizvi, S. I., Zaid, M. A., Anis, R., & Mishra, N. (2005). Protective role of tea catechins against oxidation-induced damage of type 2 diabetic erythrocytes. *Clinical & Experimental Pharmacology & Physiology*, 32,70-75.
- [31] Rizvi, S. I., & Zaid, M. A. (2001). Insulin-like effect of (–) epicatechin on erythrocyte membrane acetylcholinesterase activity in type 2 diabetes mellitus. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 28(9), 776-778.
- [32] Matsui, T., Ueda, T., Oki, T., Sugita, K., Terahara, N., & Matsumoto, K. (2001). α -Glucosidase inhibitory action of natural acylated anthocyanins. 2. α -Glucosidase inhibition by isolated acylated anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(4), 1952-1956.

- [33] Dembinska-Kiec, A., Mykkänen, O., Kiec-Wilk, B., & Mykkänen, H. (2008). Antioxidant phytochemicals against type 2 diabetes. *British Journal of Nutrition*, 99(E-S1), ES109-ES117.
- [34] Rizvi, S. I., & Mishra, N. (2009). Anti-oxidant effect of quercetin on type 2 diabetic erythrocytes. *Journal of food biochemistry*, 33(3), 404-415.
- [35] Rizvi, S. I., & Maurya, P. K. (2007). Alterations in antioxidant enzymes during aging in humans. *Molecular Biotechnology*, 37, 58-61.
- [36] Seeram, N. P., Cichewicz, R. H., Chandra, A., & Nair, M. G. (2003). Cyclooxygenase inhibitory and antioxidant compounds from crabapple fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(7), 1948-1951.
- [37] Belinha, I., Amorim, M. A., Rodrigues, P., de Freitas, V., Moradas-Ferreira, P., Mateus, N., & Costa, V. (2007). Quercetin increases oxidative stress resistance and longevity in *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(6), 2446-2451.
- [38] Scarmeas, N., Luchsinger, J. A., Mayeux, R., & Stern, Y. (2007). Mediterranean diet and Alzheimer disease mortality. *Neurology*, 69(11), 1084-1093.
- [39] Singh, M., Arseneault, M., Sanderson, T., Murthy, V., & Ramassamy, C. (2008). Challenges for research on polyphenols from foods in Alzheimer's disease: bioavailability, metabolism, and cellular and molecular mechanisms. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(13), 4855-4873.
- [40] Aquilano, K., Baldelli, S., Rotilio, G., & Ciriolo, M. R. (2008). Role of nitric oxide synthases in Parkinson's disease: a review on the antioxidant and anti-inflammatory activity of polyphenols. *Neurochemical research*, 33, 2416-2426.
- [41] Barone, E., Calabrese, V., & Mancuso, C. (2009). Ferulic acid and its therapeutic potential as a hormetin for age-related diseases. *Biogerontology*, 10, 97-108.
- [42] Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J. (2018). The role of polyphenols in human health and food systems: A mini-review. *Frontiers in nutrition*, 5, 370-438.
- [43] Liu, J., He, Z., Ma, N., & Chen, Z. Y. (2019). Beneficial effects of dietary polyphenols on high-fat diet-induced obesity linking with modulation of gut microbiota. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(1), 33-47.

PARTIE

EXPERIMENTALE

Chapitre III

"Matériel et méthodes"

Cette étude a été effectuée au sein du laboratoire pédagogique de chimie de la Faculté des Sciences Exactes (figure III.1), Département des Sciences de la Matière, à l'Université de Biskra.



Figure III.1: Laboratoire pédagogique

Objectif principal :

Notre but de ce travail de recherche vise à comparer les quatre variétés de chou *Brassica oleracea* (chou rouge, chou blanc, chou-fleur, Chou brocoli vert calabrais) en utilisant des solvants de polarités différentes.

Objectifs spécifiques :

- ✓ Analyse de l'impact des solvants d'extraction sur le rendement puisque les solvants sont de polarité différente.
- ✓ Caractérisation qualitative des métabolites secondaires présents dans les différentes variétés de choux étudiées, réalisée à travers un criblage phytochimique en utilisant des tests mentionnés dans la bibliographie.
- ✓ Quantification des polyphénols totaux présents dans tous les extraits obtenus.

III.1. Matériels :

III.1.1. Matière végétale :

Le matériel végétal utilisé comprend quatre variétés distinctes de choux, disponibles sur le marché des fruits et légumes de Biskra : rouge, blanc, chou-fleur, brocoli calabrais, comme les représente la figure (III.2).



Chou rouge



Chou blanc



Chou-fleur



Chou Brocoli vert calabrais

Figure III.2 : Quatre variétés de choux étudiées.

III.1.2. Echantillonnage :

On a préparé quatre types d'échantillonnage :

- Chou rouge
- Chou blanc
- Chou-fleur
- Chou brocoli vert calabrais

III.1.3. Classification systématique de chou :

Ce tableau représente la classification systématique des choux étudiés.

Tableau III. 1 : classification systématique de chou

Classification	
Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta

Division	Magnoliophta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Dilleniidae
Ordre	Capparales
Famille	Brassicaceae
Genre	Brassica
Espèce	<i>Brassica oleracea var.</i>

III.1.4. Réactifs chimiques :

Cette étude a été menée en utilisant divers produits chimiques. Le tableau ci-dessous (tableau III.1) rassemble les produits chimiques utilisés pour la réalisation de ce travail de recherche :

Tableau III. 2 : Produits chimiques

Produits chimiques	
Ether de pétrole	Carbonate de sodium
Hexane	Magnésium
Ethanol	Chlorure ferreux
Eau distillée	Hydroxyde de potassium
Chloroforme	Chlorure mercurique
Acétone	Iodure de potassium
Liquueur de fehling	Diode
Acide sulfurique	Nitrate de bismuth
Anhydre acide	Acide gallique
Réactif de folin	Hydroxyde de sodium
Acide chloridrique	

III.1.5. Matériel du laboratoire :

Le matériel du laboratoire utilisé est représenté dans le tableau III.2 :

Tableau III. 3 : Matériel du laboratoire

Matériel du laboratoire	
Porte tubes à essai	ErlenMayers
Tubes à essai	Fioles jaugées
Papier filtre	Micropipettes 200uL
Papier aluminium	Etuve
Parafilm	Pipettes pasteurs
Spatule	Verre de montre
Creuset	Poire
Bain marie	Béchers
Eprouvette graduée	Entonnoirs

III.1.6. Appareillage :

Les appareils utilisés dans cette recherche sont :

- ❖ Plaque chauffante
- ❖ Balance de précision
- ❖ Évaporateur rotatif
- ❖ Spectrophotomètre UV-visible

III.2. Méthodes :**III.2.1. Criblage phytochimique :**

Ces techniques sont employées pour repérer les différents groupes chimiques présents dans un organe végétal. Elles consistent en des réactions physico-chimiques permettant de détecter la présence ou l'absence de ces composés.

Parmi les nombreux groupes phytochimiques, on peut citer les principaux : les alcaloïdes, les polyphénols (flavonoïdes, anthocyanines, tannins), les saponosides, les stéroïdes, les coumarines, les stérols, les terpènes, ...etc.

- **Traitement des extraits :**

Tous les échantillons de choux ont été traités de manière identique. Six solvants de polarité différente ont été utilisés pour comparer les effets de chacun d'eux. Nous avons pesé 3 g de chaque échantillon frais, ce qui a permis d'obtenir un total de 24 échantillons.

Les solvants utilisés sont : eau distillée, éthanol, éther de pétrole, chloroforme, hexane et acétone. Pour chaque échantillon, 50 ml de chaque solvant ont été ajoutés de flacons

séparés à chaque échantillon. Ces flacons ont été laissés sous agitation magnétique pendant deux puis filtrés sous vide à l'aide d'un papier filtre Wattman n° 1 [1,2]. Les figures suivantes (figure III.3 et figure III.4) montrent une vue claire de l'échantillonnage.

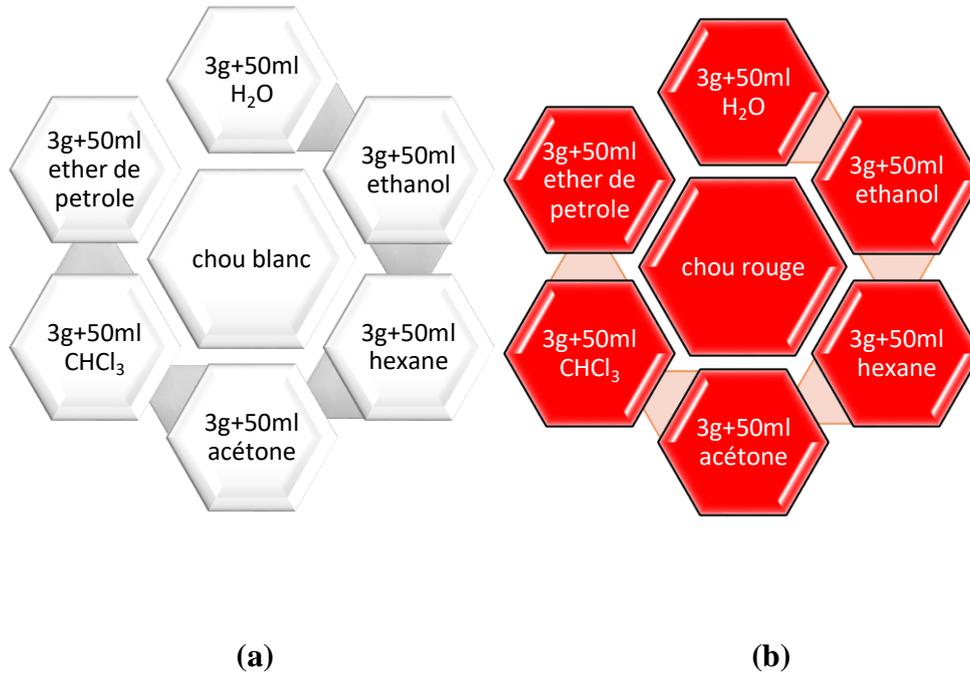


Figure III.3 : Préparation des extraits de chou blanc (a) et du chou rouge (b).

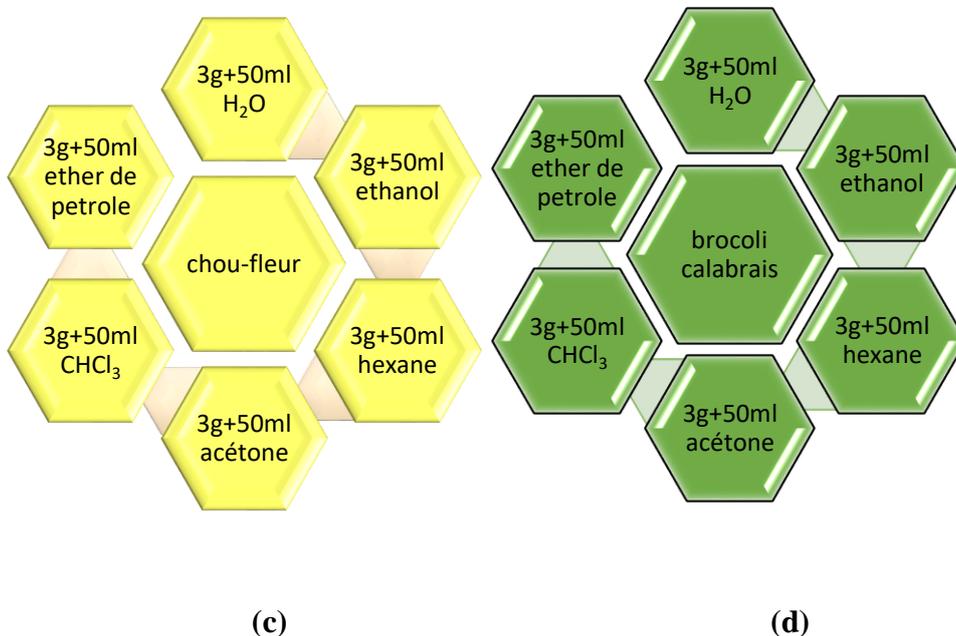


Figure III.4 : Préparation des extraits de chou vert brocoli (c) et du chou-fleur (d).

La figure (III.5) montre un exemple de préparation des échantillons des extraits du chou rouge au laboratoire.



Figure III.5 : Exemple d'échantillonnage de chou rouge

Les filtrats obtenus ont été utilisés plus tard pour les tests du criblage phytochimique en vue d'une analyse qualitative.

- **Tests phytochimiques :**

- A/ recherche des alcaloïdes :**

- **Test de Mayer :**

1ml de chaque extrait a été ajouté à quelques gouttes de réactif de Mayer (5g de KI et 1,36 g de HgCl_2 ont été dissous dans 100 ml d'eau distillée). La formation d'un précipité de couleur blanche jaunâtre est un signe de la présence d'alcaloïdes.

- **Test de Wagner :**

1 ml de chaque extrait a été mélangé à des volumes égaux de réactif de Wagner (2 g de KI et 1,27 g de I_2 ont été dissous dans 100 ml d'eau distillée). La formation d'un précipité brun rouge indique la présence d'alcaloïdes [3].

- **Test de Dragendrof :**

1ml de chaque extrait a été ajouté à quelques gouttes de réactif de Mayer (5g de KI et 1,36 g de HgCl_2 qui ont été dissous dans 100 ml d'eau distillée). La formation d'un précipité de couleur blanc jaunâtre est un signe de la présence des alcaloïdes.

- **Test FeCl_3 :**

1ml de chaque extrait a été ajouté à quelques gouttes de solution de chlorure ferrique. Le dépôt d'un précipité jaune indique la présence des alcaloïdes.

- B/Recherche des flavonoïdes :**

- **Test de Shinoda :**

1ml de chaque extrait a été ajouté à un peu de magnésium et quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré, ensuite ils sont soigneusement déposés le long des parois du tube. L'apparition d'une couleur rouge indique la présence des flavonoïdes [4].

- **Test au NaOH :**

1ml de chaque extrait a été mis dans un tube à essai et ajouté à une solution d'hydroxyde de sodium. Le changement de couleur de l'extrait en couleur jaune indique la présence des flavonoïdes [5].

C/Recherche des stérols et terpènes :

- **Test de Salkowski :**

1 ml de chaque extrait a été ajouté à 5 ml de chloroforme. 1 ml de H₂SO₄ concentré est ajouté au mélange en longeant soigneusement les parois du tube. La formation d'une couleur rouge dans la couche inférieure indique la présence de stérols [6].

- **Test de Liebermann-Burchard :**

1 ml de chaque extrait a été ajouté à quelques gouttes de solution d'anhydride acétique, et quelques gouttes de H₂SO₄ concentrée. Ils ont été soigneusement ajoutés le long des parois du tube à essai. La formation d'un anneau rouge brun indique la présence de triterpénoïdes. L'apparition d'une couleur verte indique la présence de stérols [7,8].

D/Recherche des tannins :

0,5 ml de chaque extrait a été mélangé à 1 ml d'eau distillée puis traité avec quelques gouttes de FeCl₃. La formation d'un précipité vert indique la présence de tanins [9].

E/ Recherche des coumarines :

2 ml de chaque extrait ont été prélevés et déposés dans des tubes à essais séparés et ajoutés à 3 ml de solution d'hydroxyde de sodium NaOH (10%) ; l'apparition d'une couleur jaune indique la présence de coumarines [7].

F/Recherche des saponines :

5 ml de chaque extrait sont placés dans des tubes à essais et agités vigoureusement pour obtenir une mousse stable. À cette solution moussante, 5-6 gouttes d'huile sont ajoutées. La formation d'une émulsion indique la présence de saponines [8].

G/Recherche des sucres réducteurs :

5 ml d'extrait a été ajouté à un volume de liqueur de Fehling et ensuite il a été chauffé à 100 °C sur un bec Bunsen ou un bain-marie. Un résultat positif est signalé par l'apparition d'un précipité rouge brique [10].

H/Recherche des glycosides :

Dans un tube à essai, on verse 1 ml de chaque filtrat, puis on ajoute 0,4 ml d'acide acétique, une goutte de chlorure ferrique (FeCl_3) et quelques gouttes d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré. Une coloration en forme d'anneau marron montre la présence de glycosides [11].

III.2.2. Extraction des composés phénoliques :

- **Extraction par macération :**

- **Principe :**

La macération est la méthode d'extraction solide-liquide la plus simple, consistant à mettre le matériel végétal en contact avec le solvant, avec ou sans agitation. Bien que cette méthode soit généralement longue et parfois peu efficace, elle est fréquemment employée pour extraire des molécules thermosensibles [12].

- **Mode opératoire :**

10g de chaque variété de chou (rouge, blanc, chou-fleur, brocoli calabrais) sont mises à macérer séparément dans des béchers, en utilisant deux solvants polaires (éthanol et H_2O) et un solvant moyennement polaire (chloroforme), pendant 24 heures à température ambiante. La filtration est réalisée sur papier filtre. Le filtrat de chaque échantillon est versé à chaque fois dans un ballon (solvant et matière solubilisées) et ensuite évaporé à sec à l'aide d'un évaporateur rotatif muni d'une pompe à vide à une température ne dépassant pas 55-60 °C. Pour chaque échantillon, on a obtenu trois extraits secs à analyser. On les a pesés avec soin afin de quantifier leurs masses d'extraction pour calculer le rendement. Le protocole d'extraction est résumé dans la figure (III.6).

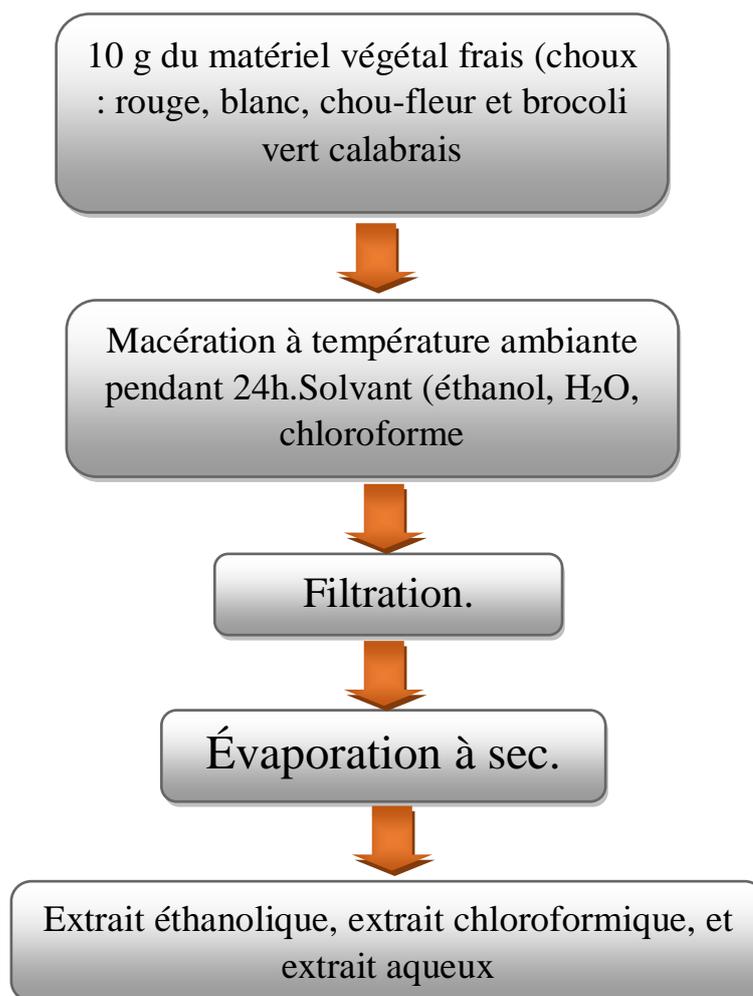


Figure III.6: Protocole d'extraction par macération

- **Détermination du rendement d'extraction**

Le rendement d'extraction est exprimé en pourcentage massique par rapport à la quantité de matière sèche. Il est calculé selon la formule suivante :

$$R (\%) = (m_1 / m_0) \times 100\%$$

R % : Rendement des extraits.

m_1 : Masse de l'extrait sec de chou obtenu exprimée en g.

m_0 : Masse initial du chou frais exprimée en g.

III.2.3. Dosage des polyphénols totaux :

- **Principe :**

La méthode de dosage repose sur l'interaction entre le réactif de Folin-Ciocalteu et les composés phénoliques présents dans les échantillons [13]. Cette interaction implique la réduction de l'acide phosphotungstique et de l'acide phosphomolybdique du réactif par les polyphénols. Lorsque les polyphénols de l'échantillon sont soumis à un milieu alcalin, ils prennent une coloration bleu foncé en raison de la formation d'oxydes métalliques. L'intensité de cette coloration est directement proportionnelle à la quantité de composés phénoliques présents dans les échantillons. La mesure de cette coloration est réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre [14].

- **Mode opératoire :**

- ✓ À 500 μl de l'extrait de chaque échantillon, nous avons ajouté 2500 μl de réactif de Folin-ciocalteu ;
- ✓ 2000 μl Na_2CO_3 à 7,5% ont été ensuite ajoutés ;
- ✓ Le mélange bien agité a été incubé à l'obscurité pendant 30 min ;
- ✓ La lecture de l'absorbance a été faite contre un blanc à 765 nm au spectrophotomètre UV Visible ;
- ✓ La gamme d'étalonnage est réalisée par différentes concentrations d'acide gallique qui a été préparée comme suit : Une solution mère d'acide gallique de concentration de 0,3 mg/ml a été préparée dans le méthanol. A partir de cette solution mère, nous avons préparé des solutions filles diluées en (mg / ml) comme suis : 0,03 - 0,06 - 0,09 - 0,12 - 0,15 - 0,18 - 0,21 - 0,24 - 0,27 - 0,3.
- ✓ Puis 500 μl de chaque solution de cette gamme d'étalonnage ont été traitée, avec la même procédure que celle des échantillons (figure III.7).



Figure III.7 : Gamme d'étalonnage.



Figure III. 8 : Spectrophotomètre UV-Visible

Références bibliographiques :

- [1] Ara, I., Kalam, MA, Maqbool, M. et Zehravi, M. (2021). Étude de standardisation phytochimique et anti-anxiété (Izterab-e-Nafsani) d'Aftimoon Hindi (*Cuscutareflexa* Roxb.) sur un modèle animal. *CELLMED*, 11 (3), 14-1.
- [2] De, S., Dey, Y. N., & Ghosh, A. K. (2010). Phytochemical investigation and chromatographic evaluation of the different extracts of tuber of *Amorphophalluspaeoniifolius* (Araceae). *Int J Pharm Biol Res*, 1(5), 150-7.
- [3] Guediri I, Boubekri C, Samara O. (2020). Preliminary phytochemical screening from different extracts of *solanum nigrum* plant growing in south of Algeria. *J. Fund am. Appl. Sci.*, 12(2), 624-633
- [4] Najaa'Mokhtar, A. (2011). Teknik Pengamalan Khalwah dalam Tariqah di Malaysia. *AL-'ABQARI: Journal of Islamic Social Sciences and Humanities*.
- [5] Archana P., Samatha T., Mahitha B., Ramaswamy N., 2012: Preliminary phytochemical screening from leaf and seed extracts of *Senna alata* L. Roxb-an Ethnomedicinal plant. *Journal of pharmaceutical and biological research*. Vol(3). P: 82- 85.
- [6] Ayoola, GA, Coker, HA, Adesegun, SA, Adepoju-Bello, AA, Obaweya, K., Ezennia, EC et Atangbayila, TO (2008). Criblage phytochimique et activités antioxydantes de certaines plantes médicinales sélectionnées utilisées pour le traitement du paludisme dans le sud-ouest du Nigéria. *Revue tropicale de recherche pharmaceutique*, 7 (3), 1019-1024.
- [7] Savithamma N., Limga Rao M., Suhurulatha D., 2011: Screening of medicinal plants for secondary metabolites. *Journal of Scientific Research*. Vol(8). P: 580-581.
- [8] Maria R., Shirley M., Xavier C., Jaime S., David V., Rosa S., Jodie D., 2017: Preliminary phytochemical screening, total phenolic content and antibacterial activity of thirteen native species from Guayas province Ecuador. *J. King Saud Univ – Sci*.
- [9] Karumi, Y., Onyeyili, P.A. et Ogugbuaja, V.O. (2004). Identification of Active Principles of *M. balsamina* (Balsam Apple) Leaf Extract », *Journal of Medical Sciences*, 4(3), p. 179-182.
- [10] Fehling, H. (1849). The quantitative determination of sugar and starch flour by means of copper sulfate », *Annu. Chem. Pharm.*, 72, p. 106–113.

- [11] Archana, P., Samatha, T., Mahitha, B., Chamundeswari, C., & Ramaswamy, N. (2012). Preliminary phytochemical screening from leaf and seed extracts of *Senna alata* L. Roxb-an ethnomedicinal plant.
- [12] Leybros, J., & Frémeaux, P. (1990). Extraction solide-liquide. I. Aspects théoriques. Techniques de l'ingénieur. Génie des procédés, 2, J2780-1.
- [13] Brune, M., Hallberg, L., & SKÅNBERG, A. B. (1991). Determination of iron-binding phenolic groups in foods. *Journal of Food Science*, 56(1), 128-131.
- [14] Folin, O. et Ciocalteu, V. (1927). Sur les déterminations de la tyrosine et du tryptophane dans les protéines. *J. biol. Chem*, 73 (2), 627-650.

Chapitre IV

Résultats et discussion

IV.1 Criblage phytochimique :

Les tests phytochimiques permettent d'identifier les différentes familles de composés présentes dans une plante, en utilisant des réactions qualitatives spécifiques. Ces réactions reposent sur l'apparition de colorations caractéristiques ou la formation de précipités en présence de réactifs appropriés.

Les tableaux (IV.1, IV.2, IV.3 et IV.4) illustrent clairement l'influence des solvants polaires et apolaires sur la composition phytochimique en métabolites secondaires. Cette variation s'explique principalement par la polarité des solvants utilisés [1] ainsi que celle des substances végétales. En effet, une correspondance adéquate entre la polarité du solvant et celle des métabolites favorise une extraction efficace de ces derniers.

Plusieurs recherches bibliographiques ont montré la richesse de choux et ces variétés en métabolites secondaires, les substances chimiques présentes dans ces variétés sont responsables de leurs effets pharmacologiques [2-3].

IV.1.1 Criblage phytochimique de chou rouge :

Les résultats du criblage phytochimique réalisés sur les extraits de chou rouge macérés dans 6 solvants (**éthanol, eau distillée, chloroforme, acétone, hexane et éther de pétrole**) sont représentés dans le tableau IV.1 ci-dessous.

Tableau IV.1 : Criblage phytochimique du chou rouge

Extrait	Test	Ethanol	H ₂ O	Acétone	Hexane	CHCl ₃	Ether de pétrole
Alcaloïdes	Mayer	-	-	++	+++	+	+++
	Wagner	+++	+++	+++	-	-	-
	FeCl ₃	+++	+	-	++	+	++
	Dragendroff	++	+++	++	-	-	-
Flavonoïdes	Shinoda	++	+	+++	-	-	-
	NaOH	++	+	+++	-	-	-
Tannins		-	-	-	-	-	-

Coumarines		++	+	+++	-	-	-
Saponines		-	-	-	-	-	-
Stérols et terpènes	Salkowski	+++	+	++	-	-	-
	Liebermann-Burchard	++	+	+++	-	-	-
Glycoside		++	-	+++	-	-	-
Sucres réducteurs		++	+	+++	++	-	-

(-) Absence ; (+) Présence ; (++) Présence forte ; (+++) Présence très forte

❖ Interprétation des résultats :

Le tableau (IV.1) rassemble les résultats des tests phytochimiques visant à identifier les principaux métabolites secondaires (alcaloïdes, flavonoïdes, tanins, coumarines, saponines, stérols, terpènes, glycosides et sucres réducteurs) contenues dans les différents extraits préparés au laboratoire en utilisant des solvants de différentes polarités : éthanol, eau, acétone, hexane, chloroforme et éther de pétrole. Les résultats obtenus sont exprimés en signe (+ à +++), indiquant l'intensité de présence relative aux composés, ou par « - » signifiant leur absence. Ces derniers ont indiqué la richesse des extraits de l'eau, l'éthanol et l'acétone en métabolites secondaires.

Les alcaloïdes ont été pratiquement détectés dans tous les extraits, mais avec des concentrations différentes qui est traduite par la coloration claire ou foncé des taches obtenues. On a utilisé trois types de tests pour confirmer les résultats. Cela peut indiquer la bonne solubilité dans les solvants organiques.

Les extraits de l'éthanol, acétone et de l'eau vue leur polarité probablement sont riches en flavonoïdes, tanins, saponines, coumarines, stérols et terpènes, glycosides et sucres réducteurs. Par contre ces substances sont absentes dans les extraits de l'hexane, chloroforme et éther de pétrole qui sont des solvants apolaires. La présence des sucres réducteurs a été enregistrée dans l'extrait de l'hexane.

Ainsi, le choix du solvant influence grandement le profil des composés extraits en fonction de leur polarité.

IV.1.2 Criblage phytochimique de chou blanc :

Les résultats du criblage phytochimique réalisés sur les extraits de chou blanc macérés dans 6 solvants (éthanol, eau distillée, chloroforme, acétone, hexane et éther de pétrole) sont présentés dans le tableau (IV.2) ci-dessous.

Tableau IV.2 : Criblage phytochimique du chou blanc

Extrait	Test	Ethanol	H ₂ O	Acétone	Hexane	CHCl ₃	Ether de pétrole
Alcaloïdes	Mayer	++	+	+++	-	-	-
	Wagner	+++	++	+	++	++	+
	FeCl ₃	+++	+	+	+++	++	+
	Dragndroff	++	+	+	++	+++	+++
Flavonoïdes	Shinoda	+	+	-	-	+	+
	NaOH	++	-	-	+++	+	-
Tannins		-	-	-	-	-	-
Coumarines		++	+	-	+++	-	+
Saponines		-	-	-	-	-	-
Stérols et terpènes	Salkowski	+	-	+++	-	-	-
	Liebermann-Burchard	-	-	-	-	-	-
Glycoside		++	-	+++	+	-	-
Sucres réducteurs		-	-	-	-	-	-

(-) Absence ; (+) Présence ; (++) Présence forte ; (+++) Présence très fort

❖ **Interprétation des résultats :**

Le tableau (IV.2) présente les résultats des tests phytochimiques réalisés sur différents extraits obtenus en utilisant les solvants variés (éthanol, eau, hexane, acétone, chloroforme et éther de pétrole). Il permet d'identifier la présence ou l'absence de plusieurs familles de composés secondaires. Les résultats ont été très significatifs et ont indiquée effectivement l'effet de la polarité des solvants sur la composition chimique de chaque extrait [4].

Les résultats du criblage phytochimique sur le chou blanc, indique la présence des alcaloïdes pratiquement dans tous les extraits polaires et apolaires. On constate que les résultats avec le test de Mayer ont été négatifs pour les extraits de l'hexane, acétone et éther de pétrole c'est-à-dire les extraits apolaires.

Pour la détection des flavonoïdes, on a utilisé deux tests, on peut dire en général qu'ils sont présents dans tous les extraits et absent dans l'extrait de l'acétone.

Les tanins ont été absents dans tous les extraits, cela peut être expliqué soit par leur absence totale dans les échantillons ou par leur faible concentration qui ne peut pas être détectée.

L'existence des coumarines dans l'extrait de l'hexane est plus prononcée par rapport à leur existence dans les extraits de l'eau et de l'éthanol. Alors que leur absence est bien remarquée dans les extraits de l'acétone, chloroforme et éther de pétrole.

Les saponines et les sucres réducteurs ne sont détectés dans tous les extraits polaires et apolaires. Les stérols et terpènes, sont présents dans les extraits de l'eau et de l'acétone avec des quantités différentes et cela est observé selon l'accentuation de la coloration en utilisant le test de Salkowski. Les glycosides sont présents dans les extraits de l'éthanol, les extraits de l'acétone et les extraits de l'hexane selon la coloration enregistrée dans le tableau du plus claire (+) au plus foncé (+++).

IV.1.3 Criblage phytochimique de chou-fleur :

Les résultats du criblage phytochimique réalisé sur les extraits de chou-fleur macérés dans 6 solvants (éthanol, eau distillée, chloroforme, acétone, hexane et éther de pétrole) polaires et apolaires, sont présentés dans le tableau IV.3 ci-dessous.

Tableau IV.3 : Criblage phytochimique du chou-fleur

Extrait	Test	Ethanol	H ₂ O	Acétone	Hexane	CHCl ₃	Ether de pétrole
Alcaloïdes	Mayer	+	+	+	+	+	+
	Wagner	+++	+	++	+	+	+
	FeCl ₃	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	Dragndroff	++	+	+++	-	+	-
Flavonoïdes	Shinoda	-	-	-	-	-	-
	NaOH	+	-	-	-	-	-
Tannins		-	-	-	-	-	-
Coumarines		-	-	-	-	-	-
Saponines		-	-	-	-	-	-
Stérols et terpènes	Salkowski	+	-	+++	-	-	-
	Liebermann-Burchard	-	-	+	-	-	-
Glycoside		-	-	-	-	-	+
Sucres réducteurs		-	-	-	-	-	-

(-) Absence ; (+) Présence ; (++) Présence forte ; (+++) Présence très forte

❖ **Interprétation des résultats :**

Le tableau (IV.3) montre que les alcaloïdes sont fortement détectés dans tous les extraits presque avec tous les tests utilisés. Les flavonoïdes ne sont détectés que faiblement dans l'extrait de l'eau en utilisant le test de NaOH, ce qui peut indiquer une présence très limitée ou une mauvaise extraction par les solvants utilisés.

Les tanins, coumarines, saponines et sucres réducteurs ne sont pas détectés dans les différents extraits polaires et apolaires, suggérant leur absence ou des concentrations trop faibles pour être révélées par les tests appliqués. Les glycosides sont absents dans tous les extraits et ils sont présents uniquement dans les extraits de l'éther de pétrole.

Les stérols et terpènes sont particulièrement présents dans les extraits de l'éthanol et l'acétone. Globalement, les résultats indiquent une forte présence d'alcaloïdes et dans une moindre mesure, de stérols et terpènes.

IV.1.4 Criblage phytochimique du chou Brocoli vert calabrais :

Les résultats du criblage phytochimique réalisés sur les extraits du chou Brocoli vert calabrais macérés dans 6 solvants polaires et apolaires (éthanol, eau distillée, chloroforme, acétone, hexane et éther de pétrole) sont présentés dans le tableau IV.4 ci-dessous.

Tableau IV.4 : Criblage phytochimique du chou vert Brocoli calabrais

Extrait	Test	Ethanol	H ₂ O	Acétone	Hexane	CHCl ₃	Ether de pétrole
Alcaloïdes	Mayer	+++	+	+++	-	+	+
	Wagner	++	+	+	-	+++	+
	FeCl ₃	+++	++	+++	+	++	++
	Dragndroff	++	+++	+++	-	+++	-
Flavonoïdes	Shinoda	-	-	+	-	-	-

	NaOH	+	-	+	-	-	-
Tannins		+++	+	++	+	+	+
Coumarines		+++	+	+++	-	+	-
Saponines		-	-	-	-	-	-
Stérols et terpènes	Salkowski	+	-	+	-	-	-
	Liebermann-Burchard	+	-	+	-	-	-
Glycoside		+++	++	+	+	-	-
Sucres réducteurs		-	-	-	-	-	-

(-) Absence ; (+) Présence ; (++) Présence forte ; (+++) Présence très forte

❖ Interprétation des résultats :

Les résultats présentés dans ce tableau montrent que les alcaloïdes sont fortement présents dans tous les extraits à l'exception de l'extrait de l'hexane dont ils sont relativement présents.

Les flavonoïdes apparaissent faiblement dans les extraits de l'éthanol et l'acétone bien qu'ils soient absents dans les extraits de l'eau, de l'hexane, du chloroforme et de l'éther de pétrole.

On remarque bien que les tanins sont détectés dans tous les extraits et plus particulièrement dans les extraits de l'éthanol. Les coumarines sont abondantes dans tous les extraits à part les extraits de l'éther de pétrole et de l'hexane.

Les saponines et les sucres réducteurs sont absents dans tous les extraits, les stérols et les terpènes sont uniquement présents dans les extraits de l'éthanol et l'acétone. Alors que les glycosides sont absents uniquement dans les extraits du chloroforme et l'éther de pétrole.

Ces résultats sont diversifiés et montre la richesse des échantillons du chou en métabolites secondaires, ainsi interprètent l'influence de la polarité des solvants sur les quatre variétés de chou selon la composition et la miscibilité des métabolites.

IV.2 Rendement des extractions par macération (effet du solvant) :

On a utilisé trois solvants concernant l'extraction par macération pour les quatre échantillons, qui sont le chloroforme qui représente un solvant apolaire, l'éthanol et l'eau distillée qui sont des solvants polaires et cela selon leur disponibilité au laboratoire. L'éthanol est moins polaire que l'eau. Les résultats sont illustrés dans les tableaux de (IV.5) jusqu'à (IV.8) et dans les figures de (IV.1) jusqu'à la figure (IV.4). Ces résultats sont très variés et indiquent l'effet du solvant d'extraction sur la composition chimique de l'échantillon.

❖ Rendements des extractions du chou rouge

Le tableau (IV. 5) représente le rendement des extractions du chou rouge dans les trois solvants l'eau, l'éthanol et le chloroforme. Ces résultats sont représentés par la figure (IV. 1).

Tableau IV. 5 : Rendement des extraits du chou rouge

Solvants	Masse initiale (g)	Masse final (g)	Rendement (%)
H ₂ O	10	0.01	0.1
Ethanol	10	0.45	4.5
Chloroforme	10	0.01	0.1

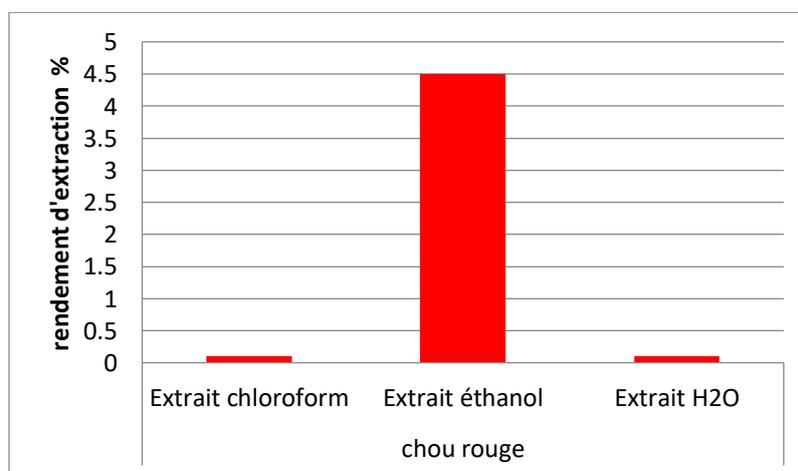


Figure IV. 1 : Rendement des extraits du chou rouge

Il est très clair que les valeurs des rendements des extractions avec les trois solvants pour le chou rouge sont différentes, ce qui indique l'effet du solvant sur la composition chimique contenu dans l'échantillon. La plus grande valeur revient à l'extrait de l'éthanol (4,5%) alors que les rendements des extractions avec le chloroforme et l'eau étaient (0,1%).

❖ Rendements des extractions du chou blanc

Le tableau (IV. 6) représente les rendements des extractions du chou blanc dans les trois solvants l'eau, l'éthanol et le chloroforme. Ces résultats sont représentés par la figure (IV. 2).

Tableau IV. 6 : Rendement des extraits de chou blanc

Solvants	Masse initiale (g)	Masse final (g)	Rendement (%)
H ₂ O	10	0.03	0.3
Ethanol	10	0.4	4
Chloroforme	10	0.05	0.5

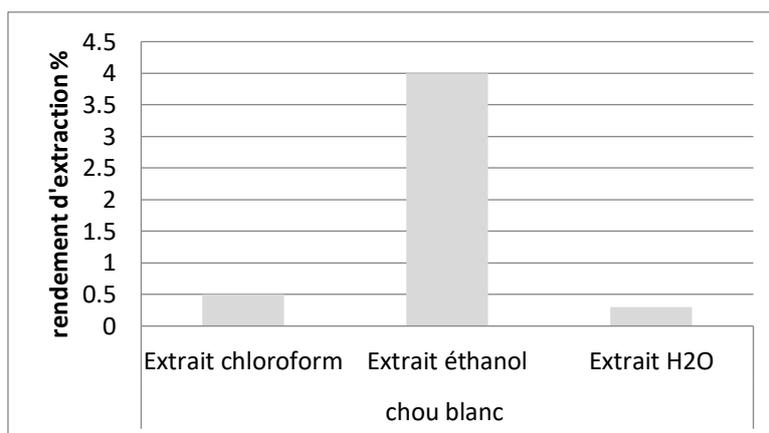


Figure IV. 2 : Rendement des extraits de chou blanc

Il est très clair que les valeurs des rendements des extractions avec les trois solvants pour le chou blanc sont différentes, ce qui indique l'effet du solvant sur la composition chimique contenu dans l'échantillon. La plus grande valeur revient à l'extrait de l'éthanol (4%) alors que les rendements des extractions avec le chloroforme et l'eau étaient successivement (0,5%) et (0,3%).

❖ Rendements des extractions du chou-fleur

Le tableau (IV.7) représente les rendements des extractions du chou-fleur dans les trois solvants l'eau, l'éthanol et le chloroforme. Ces résultats sont représentés par la figure (IV. 3).

Tableau IV. 7 : Rendement des extraits de chou-fleur

Solvants	Masse initiale (g)	Masse final (g)	Rendement (%)
H ₂ O	10	0.01	0.1
Ethanol	10	0.28	2.8
Chloroforme	10	0.02	0.2

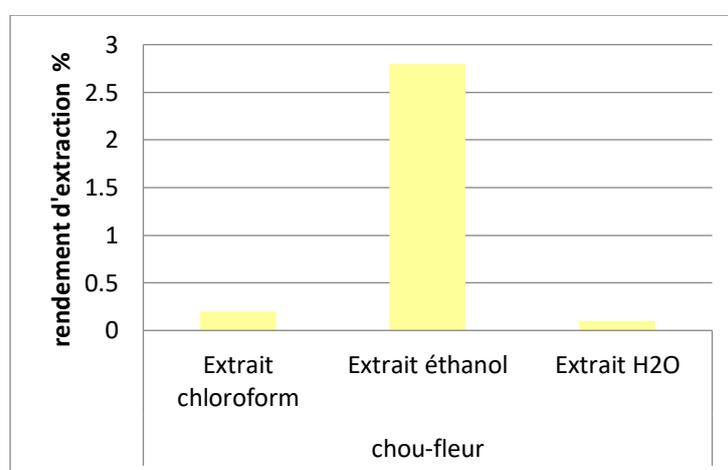


Figure IV. 3 : Rendement des extraits de chou-fleur

Il est très clair que les valeurs des rendements des extractions avec les trois solvants pour le chou-fleur sont différentes, ce qui indique l'effet du solvant sur la composition chimique contenu dans l'échantillon. La plus grande valeur revient à l'extrait de l'éthanol (2,8%) alors que les rendements des extractions avec le chloroforme et l'eau étaient successivement (0,2%) et (0,1%).

❖ Rendements des extractions du chou Brocoli vert calabrais

Le tableau (IV.8) représente les rendements des extractions du chou Brocoli vert calabrais dans les trois solvants l'eau, l'éthanol et le chloroforme. Ces résultats sont représentés par la figure (IV. 4).

Tableau IV. 8 : Rendement des extraits du chou vert Brocoli calabrais

Solvants	Masse initiale (g)	Masse final (g)	Rendement (%)
H ₂ O	10	0.01	0.1
Ethanol	10	0.39	3.9
Chloroforme	10	0.22	2.2

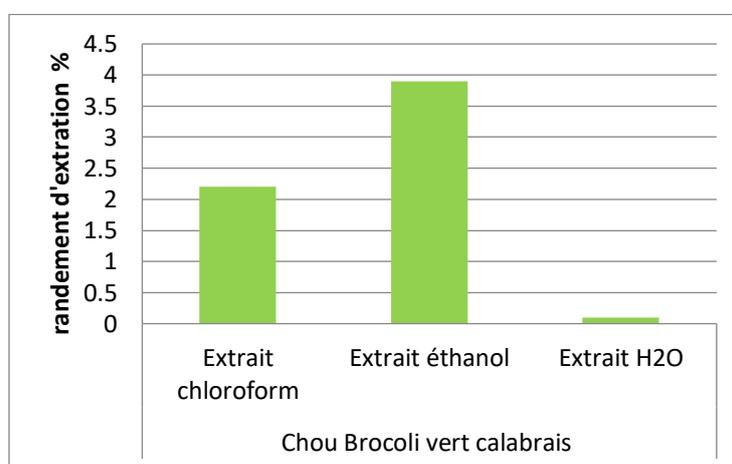


Figure IV.4 : Rendement des extraits du chou Vert Brocoli calabrais

Il est très clair que les valeurs des rendements des extractions avec les trois solvants pour le chou Brocoli vert calabrais sont différentes, ce qui indique l'effet du solvant sur la composition chimique contenu dans l'échantillon. La plus grande valeur revient à l'extrait de l'éthanol (3,9%) suivi par le rendement d'extraction du chloroforme (2,2%) et enfin le rendement d'extraction avec l'eau (0,1%).

❖ Comparaison des résultats :

En comparant les résultats des rendements de toutes les extractions des quatre échantillons avec les trois solvants utilisés : éthanol, eau et chloroforme, il est très clair que pour les quatre échantillons l'éthanol est le meilleur solvant et cela est illustré dans la figure (IV.5). Dans le

cas du chou rouge, le rendement d'extraction avec l'éthanol était de (4,5 %), bien plus élevé que celui du chou blanc (4 %), suivi par le chou Brocoli vert calabrais (3,9 %) et enfin le chou-fleur (2,8 %). Entre l'eau et le chloroforme c'est presque la même chose concernant les rendements des extractions à part le cas de l'extrait du chou Brocoli vert calabrais en utilisant le chloroforme qui donné le rendement de (2,2 %).

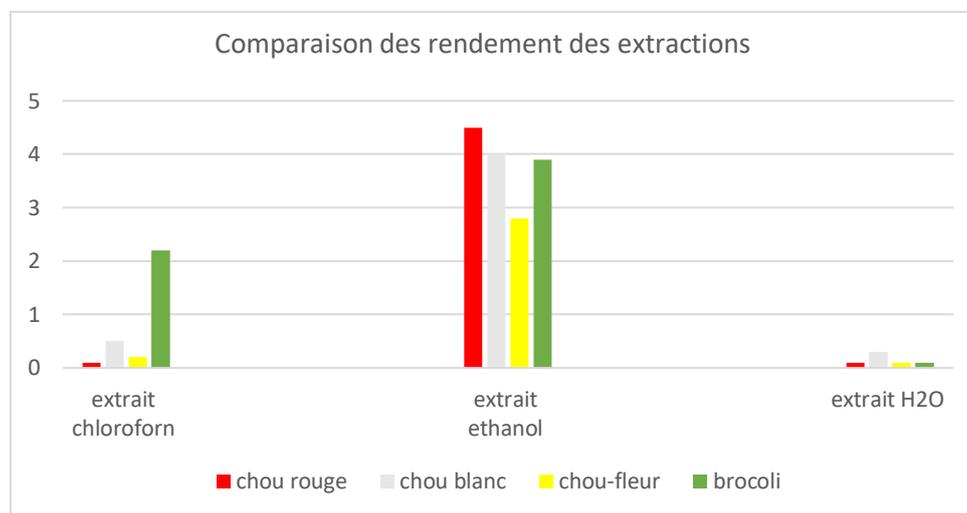


Figure IV.5 : Comparaison des rendements des extractions de tous Les extraits des échantillons du chou.

Cette comparaison montre clairement que l'éthanol est le solvant le plus efficace pour l'extraction et beaucoup de recherche bibliographique montre son utilisation pour l'extraction des polyphénols, quel que soit le type de légume. Ces résultats reflètent la grande solubilité des polyphénols dans l'éthanol par rapport à d'autres solvants, ce qui confirme son importance en tant que solvant privilégié dans les processus d'extraction.

IV.3 Dosage des polyphénols totaux :

La teneur en polyphénols totaux a été évaluée à l'aide de la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu, considérée comme l'une des plus anciennes techniques utilisées pour quantifier les polyphénols totaux dans les plantes médicinales et les aliments. Dans cette méthode, l'acide gallique est généralement utilisé comme référence standard.

En utilisant une gamme de concentrations allant de 0,03 à 0,3 mg/ml pour l'acide gallique, les valeurs de l'absorbance correspondantes ont été mesurées à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis (voir tableau IV.9). Ces valeurs ont permis de tracer une courbe d'étalonnage (figure IV.5), à partir de laquelle une équation linéaire a été déterminée :

$$Y = 4,4382 X - 0.0706$$

$$R^2 = 0.9928 \text{ (indice de réfraction)}$$

Tableau IV. 9 : Valeurs de calibration par l'acide gallique

C(mg/ml)	0.3	0.27	0.24	0.21	0.18	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03
A(nm)	1.301	1.12	0.964	0.826	0.753	0.579	0.477	0.369	0.138	0.09

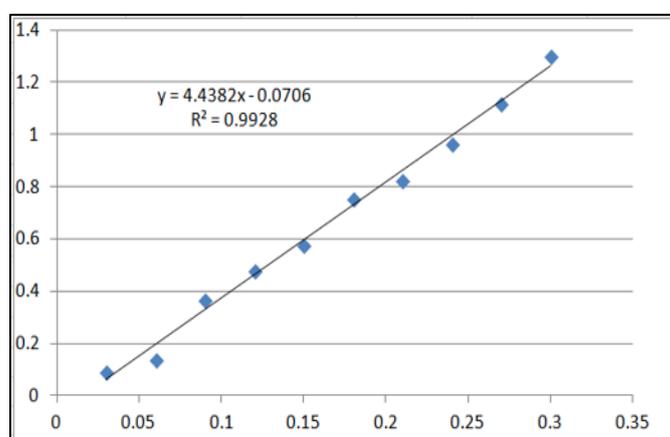


Figure IV. 6 : courbe d'étalonnage de l'acide gallique

Les teneurs en polyphénols totaux dans les trois solvants (éthanol, eau distillée, chloroforme) ont été déterminées à partir de l'équation de régression obtenue à partir de la courbe d'étalonnage avec l'acide gallique ($Y = 4,4382X - 0,0706$). Les concentrations sont exprimées en milligrammes d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g d'extrait). Ces données ont permis d'estimer les quantités de polyphénols totaux présentes dans les échantillons de *Brassica oleracea var.* qui sont illustrés dans les tableaux de IV.10 jusqu'à IV.13, ainsi que dans les figures IV.6 jusqu'à IV.9.

Les résultats montrent clairement que tous les extraits analysés renferment des polyphénols, bien que leurs concentrations varient d'un extrait à l'autre, selon le solvant utilisé et la quantité et la qualité des polyphénols.

❖ Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou rouge

Le tableau (IV. 10) représente les teneurs en polyphénols totaux contenus dans les extraits du chou rouge en utilisant les trois solvants l'eau, l'éthanol et le chloroforme. Ces résultats sont représentés par la figure (IV. 7).

Tableau IV. 10 : Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou rouge

Chou rouge			
Solvants	H₂O	Ethanol	CHCl₃
Concentration (mg/ml)	1	1	1
Absorbance (nm)	0.122	0.000176	0.62
Polyphénols totaux (mg EAG/g)	41.14	15.95	155.60

Il est très clair que les concentrations des polyphénols totaux dans les trois extraits pour la variété du chou rouge sont variées, ce qui indique l'effet du solvant sur la composition chimique contenu dans les échantillons.

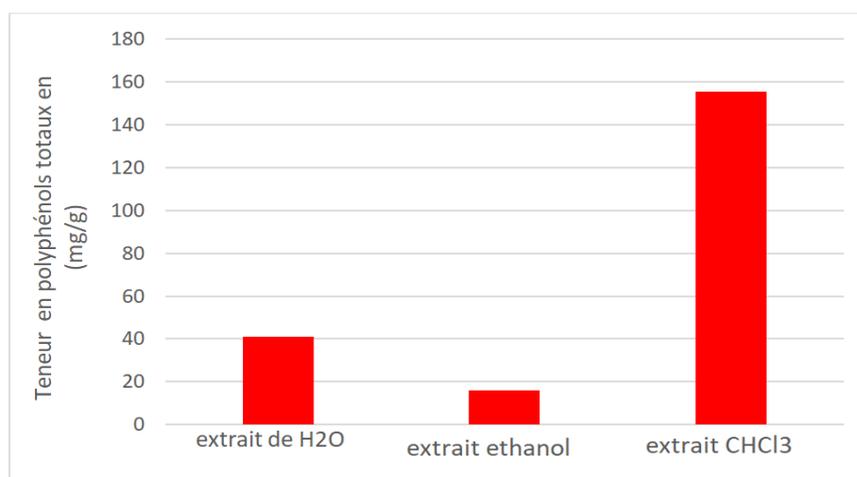


Figure IV. 7 : Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou rouge

La concentration la plus élevée en polyphénols totaux (155.60 mg EAG/g) revient à l'extrait du chloroforme, suivi de l'extrait aqueux (41.14 mg EAG/g), puis en dernier l'extrait de

l'éthanol (15.95 mg EAG/g). Malgré que le chloroforme est un solvant polaire mais il contient le taux en polyphénols le plus élevé.

❖ Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou blanc

Le tableau (IV. 11) représente les teneurs en polyphénols totaux contenus dans les extraits du chou blanc en utilisant les trois solvants l'eau, l'éthanol et le chloroforme. Ces résultats sont représentés par la figure (IV. 8).

Tableau IV. 11 : Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou blanc

Chou blanc			
Solvants	H ₂ O	Ethanol	CHCl ₃
Concentration (mg/ml)	1	1	1
Absorbance (nm)	0.714	0.00202	0.129
Polyphénol totaux (mg EAG/g)	176.78	16.36	44.97

Il est très clair que les concentrations des polyphénols totaux dans les trois extraits pour la variété du chou blanc sont variées, ce qui indique l'effet du solvant sur la composition chimique contenu dans les échantillons.

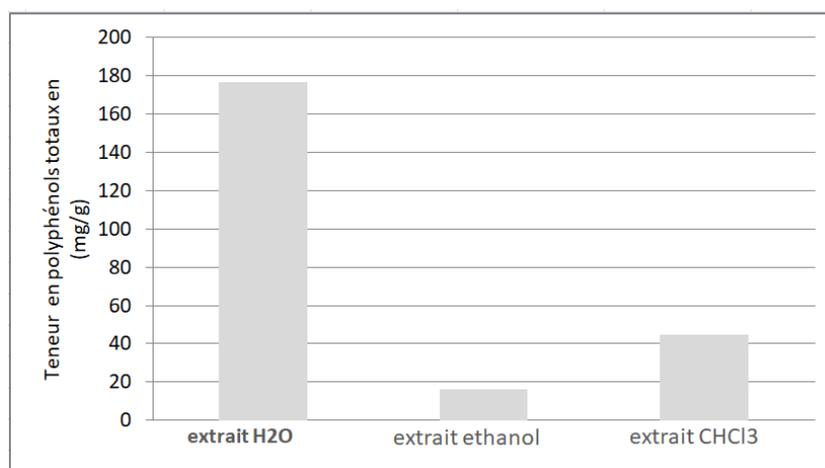


Figure IV. 8 : Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou blanc

La concentration la plus élevée en polyphénols totaux (176.78 mg EAG/g) revient à l'extrait aqueux, suivi de l'extrait chloroforme (44.97 mg EAG/g), puis en dernier l'extrait de l'éthanol (16.36 mg EAG/g).

❖ Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou-fleur

Le tableau (IV. 12) représente les teneurs en polyphénols totaux contenus dans les extraits du chou-fleur en utilisant les trois solvants l'eau, l'éthanol et le chloroforme. Ces résultats sont représentés par la figure (IV. 9).

Tableau IV. 12 : Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou-fleur

Chou-fleur			
Solvants	H₂O	Ethanol	CHCl₃
Concentration (mg/ml)	1	1	1
Absorbance (nm)	0.00004	0.000155	0.089
Polyphénol totaux (mg EAG/g)	15.91	15.94	35.96

Il est très clair que les concentrations des polyphénols totaux dans les trois extraits pour la variété du chou-fleur sont variées, ce qui indique l'effet du solvant sur la composition chimique contenu dans les échantillons.

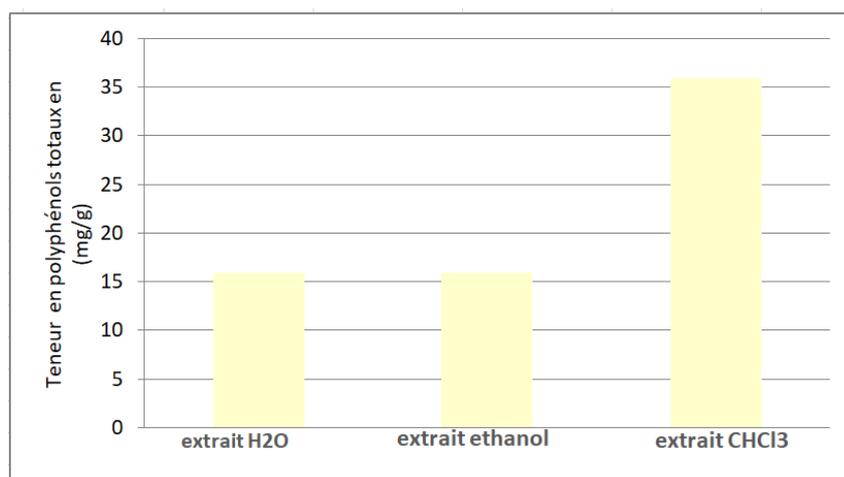


Figure IV. 9 : Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou-fleur

La concentration la plus élevée en polyphénols totaux (35.96 mg EAG/g) revient à l'extrait du chloroforme, les concentrations dans l'extrait aqueux et l'extrait de l'éthanol était presque équivalente avec les valeurs successives (15.91 mg EAG/g) et (15.94 mg EAG/g).

❖ **Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou brocoli vert calabrais**

Le tableau (IV. 13) représente les teneurs en polyphénols totaux contenus dans les extraits du chou brocoli vert en utilisant les trois solvants l'eau, l'éthanol et le chloroforme. Ces résultats sont représentés par la figure (IV. 10).

Tableau IV. 13 : Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou vert Brocoli calabrais

Chou brocoli vert calabrais			
Solvants	H ₂ O	Ethanol	CHCl ₃
Concentration (mg/ml)	1	1	1
Absorbance (nm)	0.00177	0.017	0.124
Polyphénol totaux (mg EAG/g)	15.95	19.74	43.86

Il est très clair que les concentrations des polyphénols totaux dans les trois extraits pour la variété du chou brocoli vert sont variées, ce qui indique l'effet du solvant sur la composition chimique contenu dans les échantillons.

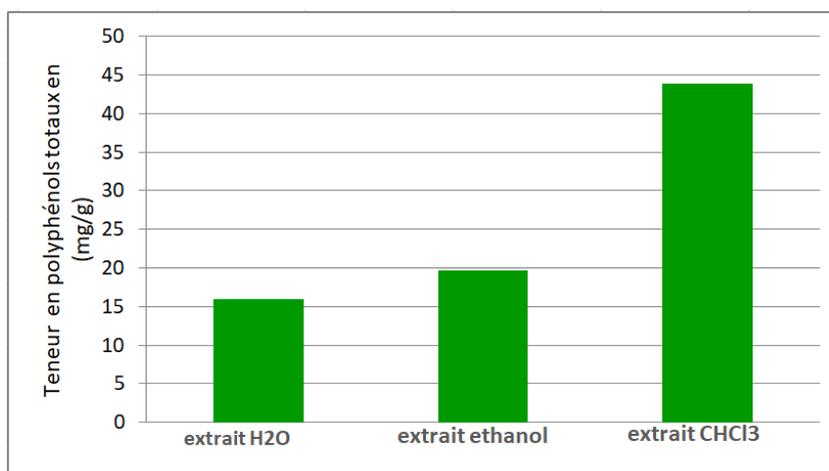


Figure IV. 10 : Teneur en polyphénols totaux dans les extraits du chou vert brocoli (calabrais)

La concentration la plus élevée en polyphénols totaux (43.86 mg EAG/g) revient à l'extrait du chloroforme, les concentrations dans l'extrait de l'éthanol et l'extrait aqueux était respectivement (19.74 mg EAG/g) et (15.95 mg EAG/g).

IV.3.1 Comparaison des résultats :

Les résultats des teneurs en polyphénols totaux contenus dans tous les extraits des différents échantillons de chou en utilisant les trois solvants pour l'extraction (eau, éthanol et chloroforme) ont montré de nettes variations reflétant l'influence du type de chou et du solvant utilisé (figure IV.11).

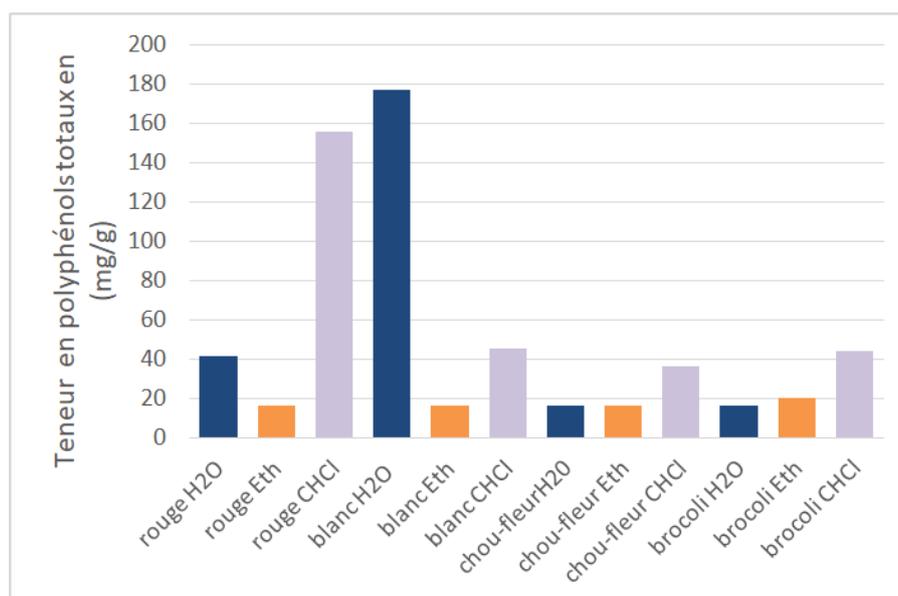


Figure IV.11 : Teneur en polyphénols totaux dans tous les extraits du chou

On voit très clairement en comparant tous les échantillons traités du chou que la plus grande teneur en polyphénols totaux revient à l'extrait du aqueux du chou blanc (176.78 mg EAG/g), suivi de l'extrait du chloroforme du chou rouge (155.60 mg EAG/g). Ces valeurs sont nettement plus élevées par rapport aux autres échantillons. En revanche, l'extrait aqueux du chou rouge (41.14 mg EAG/g), l'extrait du chloroforme du chou blanc (44.97 mg EAG/g) et l'extrait chloroforme du chou brocoli vert (43.86 mg EAG/g) ont montré des teneurs en polyphénols totaux plus proches. Contrairement aux autres échantillons, qui ont montré des teneurs en polyphénols totaux inférieurs ou égale à (20 mg EAG/g).

Sur la base de ces résultats, on peut dire que l'efficacité de l'extraction dépend principalement de l'interaction entre le type de composé contenu dans la plante et le solvant utilisé pour l'extraction, étant donné qu'il n'existe pas de « meilleur » solvant absolu et que les performances varient en fonction de l'échantillon.

References bibliographiques:

- [1] Sadek, P. (2002). Solvent miscibility and viscosity chart. The HPLC solvent guide.
- [2] Mariani, R., Syamsudin, R. A. M. R., Sumarni, N., & Wibowo, D. P. (2023). Phytochemical screening and antioxidant activity of Brassica oleracea vegetables from Cikajang, Garut. *Science Midwifery*, 11(5)
- [3] Ayadi, J., Debouba, M., Rahmani, R., & Bouajila, J. (2022). Brassica genus seeds: A review on phytochemical screening and pharmacological properties. *Molecules*, 27(18), 6008.
- [4] N'guessan, J. M., Konan, B. R., N'guessan, Y. F., & Allou, K. (2024). Extraction et screening phytochimique des extraits des feuilles de 3 plantes à effet insecticide pour la lutte contre les punaises *Pseudotheraptus devastans* D. en culture de cocotier (*Cocos nucifera* L). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 18(5), 1758-1767.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Cette étude a permis de mettre en évidence l'impact de la polarité des solvants sur le rendement d'extraction et la teneur en polyphénols totaux de quatre variétés de *Brassica oleracea* cultivées dans la région de Biskra : le chou rouge, le chou blanc, le chou-fleur et le chou brocoli vert calabrais. À travers une approche expérimentale combinant le criblage phytochimique et le dosage quantitatif des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu, les résultats ont montré une richesse significative de tous les extraits en composés bioactifs, confirmant ainsi la valeur nutritionnelle élevée de ces légumes.

L'étude a également révélé que l'éthanol s'est avéré être le solvant le plus performant en termes de rendement d'extraction, avec une valeur maximale observée dans le chou rouge (4,5 %). En revanche, la teneur en polyphénols totaux la plus élevée a été obtenue avec l'extrait aqueux du chou blanc (176.78 mg EAG/g), suivi de l'extrait du chloroforme du chou rouge (155.60 mg EAG/g) soulignant que la qualité et la quantité des composés extraits dépendent fortement de la nature du solvant utilisé ainsi que du type de chou.

D'une façon générale, cette recherche mis en évidence l'importance du choix du solvant dans les procédés d'extraction des composés phénoliques, tout en valorisant les propriétés antioxydantes des variétés locales de chou. Elle ouvre ainsi la voie à des applications potentielles dans les domaines de l'alimentation fonctionnelle, de la phytothérapie et de l'industrie agroalimentaire. Des perspectives futures pourraient inclure l'évaluation de l'activité biologique des extraits obtenus ainsi que l'identification spécifique des polyphénols majeurs présents dans chaque variété.

