



Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master 2 Recherche en

« Biotechnologies et valorisation des plantes. »

THÈME

Extraction des pigments végétales et leurs substances bioactives

Présenté Par : Tridi Ghofrane et Saci Nourhane .

Devant le jury composé de :

Mme. Ghribe Imane	MAA	Président	UCBET
Dr. Fellah Imane	MCA	Encadreur	UCBET
Dr. Bergel Amira	MCA	Examineur	UCBET

Année universitaire 2023 - 2024

اللَّهُمَّ صَلِّ وَسَلِّمْ وَبَارِكْ عَلَى سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ

Remerciement

*Avant tout propos, nous remercions **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donnée la capacité et la volonté jusqu'au bout pour réaliser ce travail.*

*Nous remercions **Dr. "Bergel Amira"** MCA à l'université de Tarf de bien vouloir présider cette commission.*

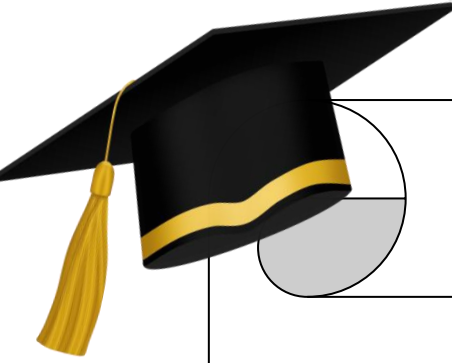
*Nous remercions également **Mme "Ghribe Imane"** MAA à l'université de Tarf de bien vouloir examiner notre travail.*

*Enfin, nous remercions notre encadreur **Dr. "Fellah Imane"**. MCA à l'université d'El Tarf pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique, sa disponibilité, ses précieux conseils, la confiance qu'elle nous a accordé et pour son suivi régulier à l'élaboration de ce travail.*

A tous nos enseignants qui nous ont initiés aux valeurs authentiques, en Signe d'un profond respect et d'un profond amour.

Nous tenons à remercier nos familles pour leurs soutiens et leurs encouragements. Un grand merci particulier à nos collègues et nos amis pour les sympathiques moments qu'on a passés ensemble, on les remercie pour leur confiance, leur disponibilité et leur fidélité.

Finalement, nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et Soutenue de près ou de loin pour que ce projet se réalise.



Dédicace

Avant tous j'ai remercié Allah qui me accordé la santé, la possibilité ainsi que la volonté d'entamer et de continuer mon étude.

Je dédie ce modeste travail:

À mon cher père, que dieu lui garde dans son vaste paradis, même si tu n'es plus physiquement parmi nous, ton amour, ton soutien et tes conseils restent gravés dans chaque page de cette mémoire. Ta présence manque, mais ton héritage demeure vivant à travers mes réalisations. Je te dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance éternelle. Tu seras toujours dans mon cœur.

À ma merveilleuse mère, Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

À Mes chers Frères et Sœurs, merci d'être toujours à mes cotés.

À mon soutien moral et source de joie et de bonheur, mon fiancée pour l'encouragement et l'aide qu'il m'a toujours accordé.

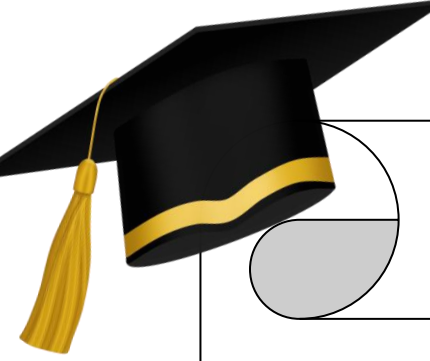
A Mon cher binôme "Ghofrane" et à toute sa famille.

À tous mes amis de promotion de 2 année Master biotechnologie et valorisations des plantes, toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

A tous ceux qui me sont chers.

Nourhane





Dédicace

Avant tous j'ai remercié Allah qui me accordé la santé, la possibilité ainsi que la volonté d'entamer et de continuer mon étude.

je dédié ce travail

À mes chers parents "Nabila" et "Azzedine",

Soutiens inconditionnels et sources d'inspiration, je vous dédie ce rapport en signe de reconnaissance pour votre amour et vos sacrifices.

À mon frère "Yazid", à ma sœur, "Ibtissem".

Merci pour votre présence constante, vos encouragements et votre affection.

À ma grand-mère, "Yhamna" Merci pour tes prières, tes encouragements et tes sages paroles.

À mes oncles et tantes, Merci

À mes cousins, Merci

À mes professeurs, Merci pour votre patience, votre dévouement et votre passion pour l'enseignement.

À mes amis, notamment "Nourhan" et "Amira",

Merci pour votre amitié sincère, votre soutien indéfectible et les moments inoubliables que nous avons partagés ensemble.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont croisé mon chemin et qui ont contribué à mon succès, d'une manière ou d'une autre.

ghofrane



Liste des figures

Figure 1 : Les différents types de plastes (Mariana Ruiz Villarreal, 2007).....	3
Figure 2 : Les six principes de l'éco-extraction (Fabiano-T et <i>al.</i> , 2013).....	5
Figure 3 : Schéma de principe de l'extraction par Soxhlet (Alexandre, 2017)	6
Figure 4 : Mécanisme de l'extraction assistée par micro-ondes (Perino, et <i>al.</i> , 2016)	8
Figure 5 :L'indigo (site web 9)	13
Figure 6 : Le safran(site web 10)	13
Figure 7 : Les racines de garanace (site web 11)	13
Figure 8 : La Curcumine (site web 12).....	20
Figure 9 : Les éléments riches en anthoxanthine (site web18)	22
Figure 10 : Charbon végétal activé – 1CHA (site web 15).....	22
Figure 11 : Betteraves rouges cultivé (cliché Saci ; Tridi ; 2024).....	26
Figure 12 : Récolte de betterave (cliché Saci ; Tridi ; 2024)	27
Figure 13 : Découpage de betterave (cliché Tridi ; Saci ; 2024)	27
Figure 14 : Les étapes d'extraction en poudre (cliché Tridi ; Saci ; 2024).....	28
Figure 15 : Les étapes d'extraction en liquide (cliché Tridi ; Saci ; 2024).....	29
Figure 16 : Conservation d'extrait liquide et poudre (cliché Tridi ; Saci ; 2024)	29
Figure 17 : l'utilisation des colorants	30
Figure 18 : Le pourcentage de connaissance de la population par le danger des colorants	30
Figure 19 : Pourcentage d'Utilisation malgré la connaissance des effets néfastes des colorants alimentaire sur la santé	31

Figure 20 : Attraction des aliments colorés	32
Figure 21 : Pourcentage de l'utilisation des aliments colorés.....	32
Figure 22: Pourcentage de vérification des étiquettes	33
Figure 23 : L'alternative de l'utilisation des colorants végétal naturel	33
Figure 24 : Teneur en eau et de matière sèche de betterave rouge.....	34

Organigramme

Organigramme 1 : Les catégories des pigments issus des végétaux (K. M. Davies, 2004).2

Liste des tableaux

Tableau 1 : Végétaux riches en β -carotène au Vietnam (Trung tâm dinh dưỡng, 2001)	19
Tableau 2 : Résultats de fabrication des colorants en liquide	35

Résumé

La nature regorge de nombreuses ressources que l'homme utilise dans sa vie quotidienne, Et en raison du développement que la science a atteint, La dépendance aux matériaux synthétiques est devenue plus importante et cela affecte négativement la santé publique, l'objectif de ce travail est de mener une étude bibliographique approfondie sur les pigments extraites à partir des plantes Cette thèse porte sur l'extraction de pigments naturels pour une exploitation et application dans les industries alimentaire, cosmétique et pharmaceutique, Ils sont utilisés en raison de leurs propriétés optiques ; ils sont destinés à modifier la couleur des produits alimentaires pour les rendre plus attractifs aux yeux des consommateurs, et afin d'augmenter leur commercialisation (donc plus de gains). Nous avons également travaillé à établir un questionnaire et récolter les réponses de la population interrogée afin de mieux situer l'état actuel de la perception et l'appréciation des colorants par les consommateurs.

Cette enquête a montré que (92%) des participants ont déclaré que sont conscients que colorant alimentaire artificiel est danger pour la santé, notamment des connaisseurs des effets néfaste des colorants alimentaire sur la santé (75%) sont préoccupé et également, (85%) des personnes évitent les aliments colorés et (94%) des participants pensent que les teintures végétales sont une solution Ce questionnaire est destiné à informer les consommateurs sur les dangers de la couleur et recherche-t-elle des alternatives saines.

Mots clés : pigments, colorants alimentaires, questionnaire, danger, santé, Pigments naturels, extraction, séchage ...

Abstract

Nature is full of many resources that man uses in his daily life, And due to the development that science has achieved, The dependence on synthetic materials has become more important and this negatively affects public health, our study was carried out precisely whose objective is the valorization of plant bioactive substances. In this study; We have started to establish a questionnaire and collect responses from the surveyed population in order to better understand the current state of perception and appreciation of colorings by consumers. Then we carried out an extraction of the natural pigments; this for exploitation and application in the food, cosmetic and pharmaceutical industries, due to their optical properties;

The survey showed that (92%) of participants stated that they are aware that artificial food coloring is dangerous for health, especially those aware of the harmful effects of food coloring on health (75%) are concerned and also (85%) of people avoid colored foods and (94%) of participants think that vegetable dyes are a solution. This questionnaire is intended to inform consumers about the dangers of color and are they looking for healthy alternatives.

Keywords: bioactive substances, food colorings, danger, health,

ملخص

الطبيعة مليئة بالعديد من الموارد التي يستخدمها الإنسان في حياته اليومية، ونظراً للتطور الذي وصل إليه العلم، أصبح الاعتماد على المواد الاصطناعية أكثر أهمية وهذا يؤثر سلباً على الصحة العامة، فقد أجريت دراستنا على وجه التحديد والتي كان هدفها تثمين المواد النشطة بيولوجيا النباتية. في هذه الدراسة؛ لقد بدأنا في إنشاء استبيان وجمع الردود من السكان الذين شملهم الاستطلاع من أجل فهم أفضل للحالة الحالية لإدراك وتقدير الألوان من قبل المستهلكين. ثم قمنا باستخلاص الأصباغ الطبيعية؛ وذلك لاستغلالها وتطبيقها في الصناعات الغذائية ومستحضرات التجميل والأدوية، نظراً لخصائصها البصرية؛

و أظهر الاستطلاع أن (92%) من المشاركين أفادوا بأنهم يدركون خطورة تلوين الطعام الصناعي على الصحة، خاصة أولئك الذين يدركون أضرار تلوين الطعام على الصحة (75%) قلقون وأيضاً (85%) من الأشخاص. تجنب الأطعمة الملونة ويعتقد (94%) من المشاركين أن الأصباغ النباتية هي الحل. يهدف هذا الاستبيان إلى توعية المستهلكين بمخاطر الألوان وهل يبحثون عن بدائل صحية.

الكلمات المفتاحية : المواد النشطة بيولوجيا، الملونات الغذائية، خطر، الصحة.

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	I
Organigramme.....	III
Liste des tableaux	IV
Résumé	V
Abstract.....	VI
ملخص	VII
Introduction.....	1
Etude bibliographique	
Chapitre I:les pigments végétaux et les colorants alimentaires	
1.1. Généralité.....	2
1.2. Les type des plastes	3
1.3. Molécules bioactives	4
1.3.1. Définition et classification	4
1.3.2. Extraction des substances bioactives.....	5
1.3.2.1. Techniques d'extraction conventionnelle	6
1.3.2.1.1. Soxhlet.....	6
1.3.2.1.2. Macération	7
1.3.2.2. Techniques d'extraction non conventionnelles	7

1.3.2.2.1. Extraction assistée par micro-ondes	7
1.3.2.2.2. Extraction par fluide supercritique	8
1.3.2.2.3. Extraction assistée par ultrasons	8
Chapitre II : Les colorants alimentaire	5
2.1. Généralité	10
2.2. Définitions d'un colorant (un pigment)	10
2.3. Rôle de la couleur dans les aliments	11
2.4. Classification des colorants	12
2.4.1. Les colorants artificiels (synthétiques)	12
2.4.2. Les colorants naturels	12
2.3. Les effets des colorants sur la sante et l'environnement.....	13
2.3.1. Les Avantages des colorants naturels	14
2.3.2. Les inconvénients des colorants synthétiques	14
Chapitre III : Colorants naturels d'origine végétale et leurs bioactivités prouvées	12
3.1. Généralité	16
3.2. Des exemples des colorants naturels	16
3.2.1. Anthocyanes :.....	16
3.2.1.1. Sources naturelles des anthocyanes.....	17
3.2.1.2. Le rôle des anthocyanes.....	17
3.2.2. Caroténoïdes	18
3.2.2.1. Sources naturelles de caroténoïdes.....	18

3.2.3.	Chlorophylle	19
3.2.5.	Curcumine.....	20
3.2.6.	Bétabaines	20
3.2.6.1.	Sources naturelles de bétalaine	21
3.2.7.	Anthoxanthines	21
3.3.	Charbon végétal activé.....	22
3.4.	Conservation des colorants naturels	23

Partie II : Parte Pratique

Matériels et méthodes

1.	Matériels	24
2.	Méthodes.....	24
2.1.	Enquête	24
2.2.	Installation de l'essai.....	26
2.3.	Récolte	27
3.	Pré-extraction	27
3.1.	Extraction En Poudre.....	28
3.2.	Extraction En Liquide.....	28
3.3.	Conservation	29

Chapitre VII : Résultats et Discussion

1.	Interprétation de l'enquête.....	30
2.	Résultats de fabrication des colorants en poudre	34

3. Résultats de fabrication des colorants en liquide34

L'extraction liquide de colorant à partir de 100 g de betterave épluchée donne 14 g d'extrait.
.....34

Conclusion

Références bibliographique16



INTRODUCTION



La couleur d'un aliment est importante dans le choix de ce que l'on mange. La couleur est un élément primordial dans notre relation à l'aliment et de ce fait les colorants ont, tout au long de l'histoire, eu un rôle prépondérant dans le monde culinaire, afin de susciter l'envie du consommateur final (**Jacquot.M et al., 2011**)

Ces dernières années, la demande des consommateurs a particulièrement changé dans le domaine de l'alimentation. Ceux-ci sont à la recherche de produits alimentaires plus naturels qui contribuent directement à leur santé. Les aliments n'ont plus seulement pour vocation d'apporter des nutriments ou de satisfaire la faim, ils ont aussi pour vocation de prévenir des maladies et d'améliorer le bien-être des consommateurs (**Laura.D.D et al., 2019**).

Dans la nature, la couleur des aliments est très riche et variée en fonction des pigments présents naturellement en eux. Dans le monde végétal. (**Thi Thu.N., 2018**)

Les pigments sont définis de manière moderne comme des substances composées de petites particules qui sont pratiquement insolubles dans le milieu de dispersion. Les applications les plus importantes des pigments sont les revêtements automobiles, l'industriels, les peintures, les plastiques, encres d'impression, formulations cosmétiques et matériaux de construction. D'autres utilisations des pigments sont dans le papier, le caoutchouc, le verre, la porcelaine, les glaçures et les couleurs des artistes. Dans la terminologie biologique, ils sont toujours appliqués pour indiquer les colorants végétaux et animaux qui sont présents sous forme des particules extrêmement petites dans les cellules ou les membranes cellulaires, comme dépôts dans les tissus, ou suspendus dans les fluides corporels (**Pfaff.G., 2017**)

Notre travail de recherche se compose de deux parties : partie théorique qui est Généralité sur les pigments végétaux et les colorants alimentaires, la deuxième partie: pratique, traite l'étude expérimentale à savoir : une enquête sur la connaissance et l'utilisation des colorants naturels ainsi que le traitement et l'analyse des résultats obtenus et leurs discussions.

Cette recherche nous a permis de valoriser l'utilisation des pigments végétaux en tant que colorant alimentaires naturel. Nous terminons ce travail par une conclusion générale.





ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE



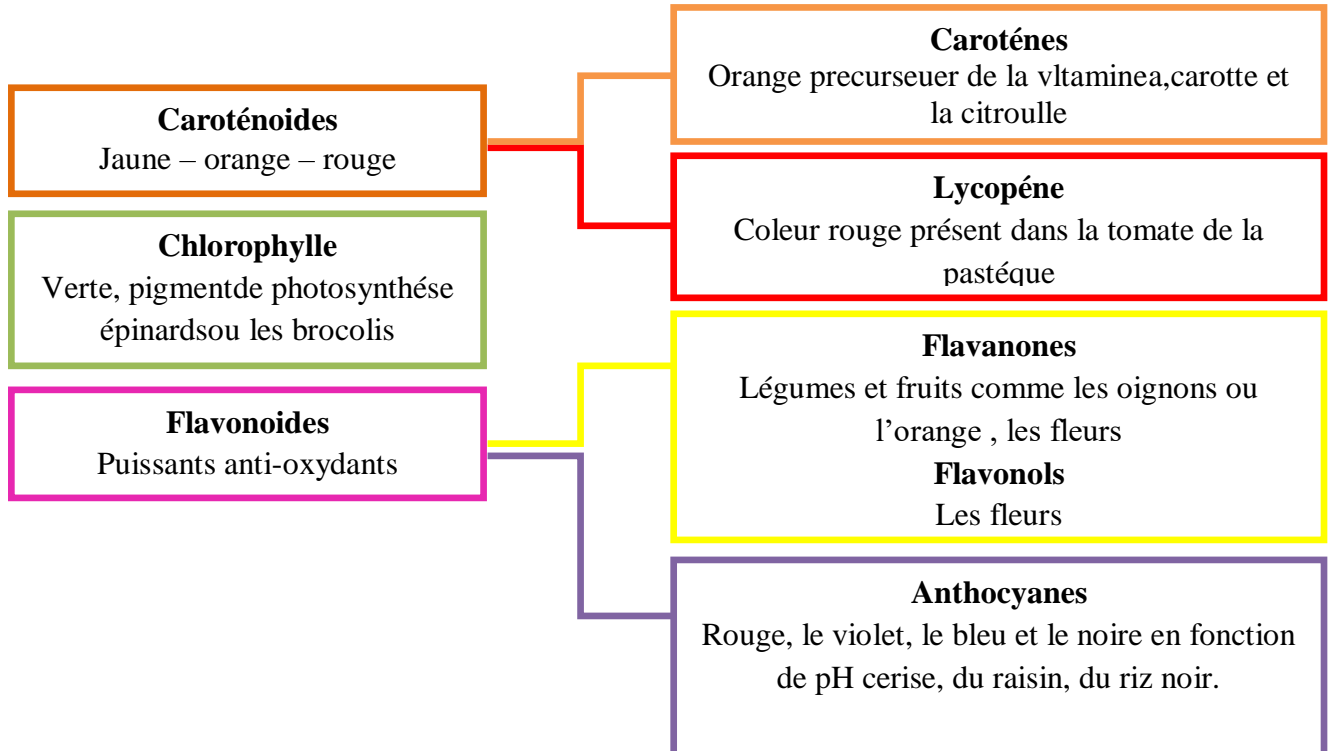
**CHAPITRE I: LES
PIGMENTS VÉGÉTAUX ET
LES COLORANTS
ALIMENTAIRES**



1.1. Généralité

De nombreux organismes vivants tels que les cyanobactéries, les algues unicellulaires et les plantes supérieures sont dénommés des organismes autotrophes, capables de produire eux-mêmes les composés organiques réduits nécessaires à leur développement. Quand l'énergie nécessaire à mécanisme provient de la lumière on parle d'organismes photoautotrophes, utilisant la photosynthèse (**Site web 1**).

Les pigments sont des molécules indispensables pour donner de la couleur aux objets dans lesquels ils sont présents. Grâce à leur capacité à réfléchir certaines longueurs d'ondes de la lumière et à en absorber d'autres. effectivement, ils sont responsables de la jolie couleur verte des feuilles, de l'orange vif des carottes et du rouge éclatant des tomates. On les retrouve chez toutes les plantes, qui ont besoin de ces pigments pour se protéger du soleil, attirer des animaux et des insectes afin de disséminer leurs graines, ainsi que pour mener à bien la photosynthèse. Ce processus vital leur permet de produire leur propre nourriture grâce à l'énergie du soleil (**site web 2**), les plantes contiennent trois principaux types de pigments : les chlorophylles, les caroténoïdes et les flavonoïdes (**K. M. Davies, 2004**).



Organigramme 1 : Les catégories des pigments issus des végétaux (K. M. Davies, 2004).



1.2. Les type des plastes

Les plastes, également connus sous le nom de plastides, sont des organites présents dans les cellules des plantes et des algues, et ils sont divisés en plusieurs types selon leur composition en pigments et leur fonction. Voici quelques types de plastes et leurs pigments associés ([site web 3](#))

Chloroplastes : Contiennent de la chlorophylle et sont responsables de la photosynthèse. Pigments (Chlorophylle a, chlorophylle b, caroténoïdes, xanthophylles).

Chromoplastes : Synthétisent et stockent des pigments colorés, tels que les caroténoïdes et les xanthophylles. Pigments (Caroténoïdes, xanthophylles) ([Site web 4](#)).

Leucoplastes : Sans pigments, ils servent de réservoirs pour les sucres, les lipides et les protéines. Pas de pigments spécifiques.

Les leucoplastes peuvent être classés en quatre sous-types :

Amyloplastes : Réservoir d'amidon.

Proteoplastes : Réservoir de protéines.

Oléoplastes : Réservoir de graisse.

Elaioplastes : Réservoir d'huile ([site web 5](#))

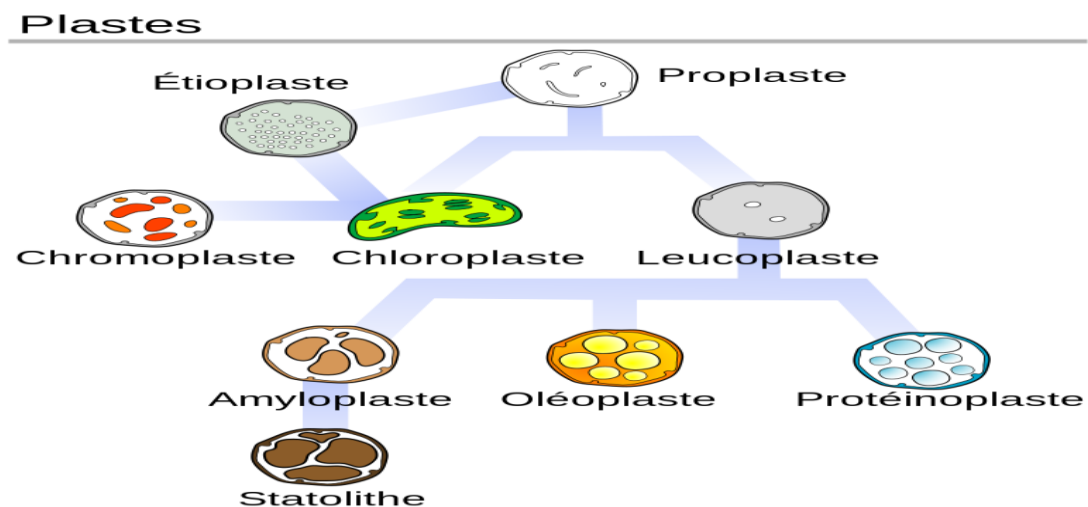


Figure 1 : Les différents types de plastes (Mariana Ruiz Villarreal, 2007)



1.3. Molécules bioactives

1.3.1. Définition et classification

Selon Suleria *et al.*, 2019, les composés bioactifs d'origine végétale sont les métabolites secondaires des plantes qui ont des effets toxicologiques et pharmacologiques chez l'humain et l'animal. Les molécules bioactives peuvent être classées d'un point de vue clinique, pharmacologique ou botanique mais, certains composés chimiquement apparentés peuvent, par exemple, avoir des résultats cliniques différents, ce qui complique leur classement. Il est donc préférable de les différencier en fonction des classes chimiques et des voies biochimiques. Selon Croteau *et al.*, 2006 et Taiz *et al.*, 2014 les molécules bioactives d'origine végétale sont classées en trois catégories :

- Les terpènes et terpénoïdes (environ 25 000 composés) produits par les voies de l'acide mévalonique et du méthylérythritol phosphate (non mévalonique)
- Les alcaloïdes (environ 12 000 composés) produits par la voie de l'acide shikimique
- Les composés phénoliques (environ 8 000 composés) produits par la voie de l'acide malonique et de l'acide shikimique.

Les composés bioactifs comprennent un ensemble de molécules présentant une grande diversité de fonctionnalités et de structures qui sont à la base du développement des additifs alimentaires, des aliments fonctionnels et des nutraceutiques (Vinatoru, 2001). de nombreux chercheurs et industriels sont impliqués dans la recherche de nouvelles molécules et l'étude de leurs propriétés afin de les valoriser dans l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique. Ces composés possèdent de nombreux bénéfices pour la santé tels que des activités anti-oxydantes, antimicrobiennes, anticancéreuses, analgésiques, antidiarrhéiques et cicatrisantes (Brandt *et al.*, 2004; Yeh *et al.*, 2003). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, 80 % de la population mondiale utilise la médecine traditionnelle. À ce jour, 170 des 194 États Membres de l'OMS reconnaissent son utilisation. Par conséquent, l'industrie agroalimentaire se concentre sur la création et l'expansion de produits alimentaires fonctionnels. L'intérêt croissant des consommateurs pour les aliments "sains" contribue au succès de ces nouveaux produits sur le marché (Site web 6).



1.3.2. Extraction des substances bioactives

L'extraction est la première étape de toute étude de plantes médicinales. Il existe différentes techniques permettant d'extraire les substances bioactives présentes dans les plantes. Selon **Nguyen thi thu., 2018**, Les pigments naturels suscitent un intérêt croissant de la part de l'industrie alimentaire en raison de leur importance nutritionnelle et de leurs propriétés antioxydantes. ils sont sensibles à de nombreux facteurs différents, et sont facilement dégradés. d'extraction conventionnelles nécessitent l'utilisation d'une grande quantité de solvant et des temps d'extraction longs, elles sont donc coûteuses et leur efficacité est conditionnée par les solvants employés qui sont pour la majorité issus du pétrole. Pour surmonter ces limitations, de nouvelles techniques non conventionnelles, également appelées techniques d'éco-extraction, ont vu le jour au cours des cinquante dernières années, (**Chemat et al., 2018**) :

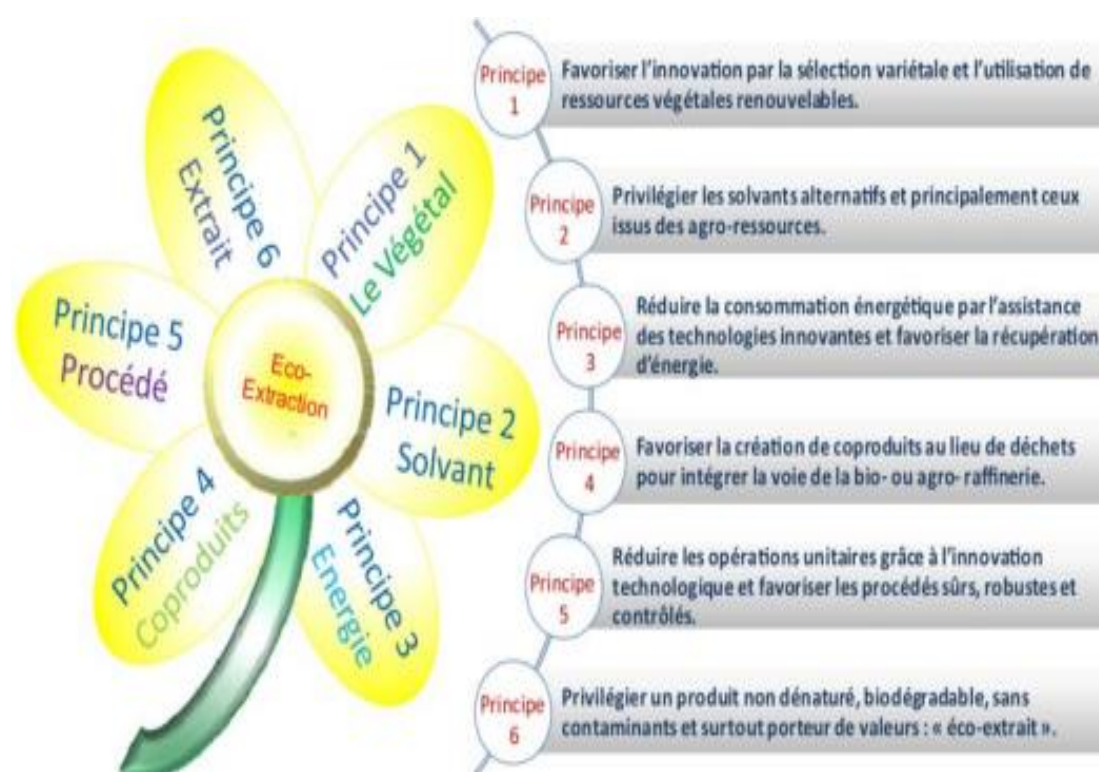


Figure 2 : Les six principes de l'éco-extraction (Fabiano-T et al., 2013)



1.3.2.1. Techniques d'extraction conventionnelle

Les techniques conventionnelles pour l'extraction de molécules à partir de plantes sont l'extraction par Soxhlet, la macération et l'hydrodistillation. Ces techniques utilisées depuis longtemps exigent l'utilisation de solvants organiques en grande quantité ce qui implique une étape d'évaporation du solvant, une durée et des températures d'extraction élevées qui peuvent entraîner la dégradation des composés thermolabiles. Ainsi, les extractions conventionnelles sont devenues les méthodes les moins utilisées dans l'industrie alimentaire en raison de leurs divers inconvénients et de leur impact sur l'environnement. Alice (Dall'armellina, 2021)

1.3.2.1.1. Soxhlet

L'extraction par Soxhlet est une technique standard souvent utilisée comme référence pour apprécier l'efficacité des autres techniques d'extraction solide/liquide. Elle est plus performante que les autres techniques d'extraction conventionnelle excepté pour les composés sensibles à la chaleur (thermolabile). Cet atout fait que ce procédé est bien établi et utilisé depuis des années. (Luquede C et al., 1998).

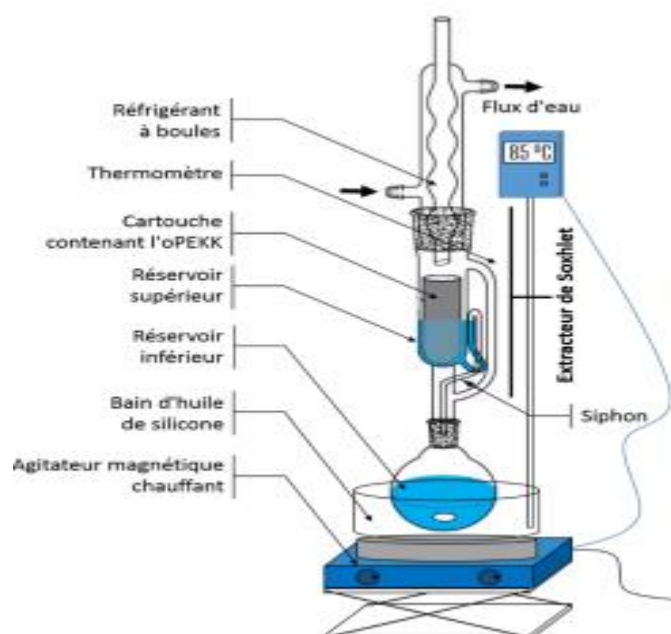


Figure 3 : Schéma de principe de l'extraction par Soxhlet (Alexandre, 2017)

Dans un système conventionnel de Soxhlet comme montré dans la figure, La matrice végétale est placée dans une cartouche en cellulose et le solvant dans un ballon. Celui-ci est chauffé à sa température d'ébullition puis condensé dans la cartouche. Lorsque le solvant



atteint la même hauteur que le bras du siphon, il est chargé en molécule bioactive et se décharge de la cartouche pour retourner dans le ballon. Une fois dans le ballon, les molécules extraites et dissoutes (le soluté) sont séparées du solvant par distillation ce qui permet au soluté de rester dans le ballon tandis que le solvant est de nouveau condensé dans la cartouche contenant la matière végétale. Ces cycles sont répétés jusqu'à extraction complète du soluté (Dall'armellina, 2021).

1.3.2.1.2. Macération

La macération est une technique utilisée dans la fabrication du vin puis dans la recherche sur les plantes médicinales. Elle consiste à laisser tremper la matrice végétale avec un solvant spécifique dans un récipient bouché à température ambiante pendant une période de temps bien déterminée. tout en agitant fréquemment. Ce traitement permet de ramollir et de briser les parois cellulaires de la plante afin de libérer les molécules bioactif. Le mélange est ensuite filtré ou pressé. Cette technique d' extraction solide-liquide est la plus simple qui existe mais nécessite l'utilisation d'une très grande quantité de solvant.(Cheok et al., 2014).

1.3.2.2. Techniques d'extraction non conventionnelles

Selon Chemat et al., 2017 techniques d'extraction non conventionnelles, récemment développées, ont été introduites pour surmonter les limitations des techniques présentées précédemment. Le développement de ces méthodes non conventionnelles, à partir des six principes d'écoextraction, a vu le jour au cours des cinquante dernières années. Selon Chemat et al., l'éco-extraction est basée sur la découverte et la conception de procédés d'extraction permettant de réduire la consommation énergétique, mais aussi l'utilisation de solvants alternatifs et des ressources végétales renouvelables, tout en assurant la qualité et la sécurité des produits finis en vers les opérateurs, les consommateurs et notre environnement .

1.3.2.2.1. Extraction assistée par micro-ondes

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques non ionisantes avec une gamme de fréquences de 0,3 à 300 GHz. Les micro-ondes sont capables de pénétrer dans les biomatériaux et de générer de la chaleur en interagissant avec les molécules polaires comme l'eau. L'interaction entre les micro-ondes et les molécules polaires conduit à un sur chauffage



interne et une perturbation de la structure cellulaire facilitant la diffusion du composé bioactif à partir de la matrice végétale (Cheok *et al.*, 2014) ;(Takeuchi *et al.*, 2009).

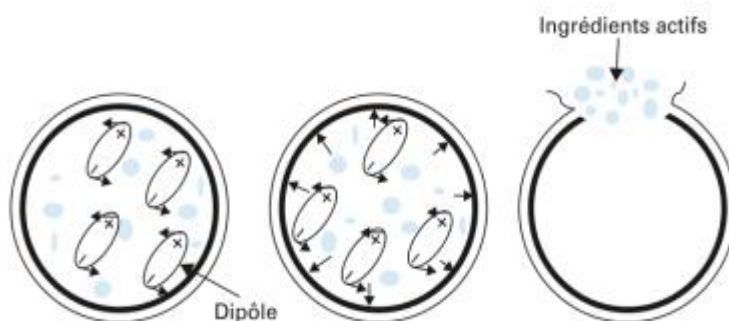


Figure 4 : Mécanisme de l'extraction assistée par micro-ondes (Perino, *et al.*, 2016)

1.3.2.2.2. Extraction par fluide supercritique

Selon Ligor *et al.*, 2018 est une technique d'extraction verte utilisée pour l'extraction d'une grande variété de molécules bioactives. L'extraction par fluide supercritique présentant les avantages d'être rapide, sélective et économise les solvants. L'état supercritiques produit lorsque la température et la pression du fluide sont élevées au-dessus de son point critique. Le dioxyde de carbone est le solvant le plus utilisé dans l'extraction par fluide supercritique.

Selon Danielski *et al.*, 2007, est une méthode attractive puisqu'elle permet de diminuer les temps d'extraction comparée aux méthodes conventionnelles, d'améliorer la sélectivité et d'éliminer le solvant après l'extraction par simple décompression. L'absence ou la consommation limitée de solvant permet de produire un extrait sans solvant. L'extraction par fluide supercritique à basse température est adaptée à l'extraction de molécules thermosensibles. Cependant, cette technique est coûteuse et donc réservée pour l'extraction de produit à très haute valeur ajoutée

1.3.2.2.3. Extraction assistée par ultrasons

Les ultrasons sont des ondes mécaniques capables de se déplacer dans un milieu élastique à une fréquence supérieure à la limite maximale d'audibilité de l'oreille humaine (16 kHz). Pour l'extraction des molécules des plantes, une puissance d'ultrasons à une intensité entre 20 et 100 kHz est souvent utilisée. L'extraction assistée par ultrasons (UAE) est une méthode simple en manipulation et traitement, efficace et peu coûteuse. Grâce aux ultrasons, les extractions complètes peuvent maintenant être réalisées en quelques minutes avec un



Chapitre 1: Les pigments végétaux et les colorants alimentaires

rendement élevé, réduisant la consommation de solvant et d'énergie, donnant une plus grande pureté du produit final par rapport à une extraction classique. L'UAE permet aussi de travailler à des températures relativement basses et d'éviter la thermodestruction des composés. Quand les cycles de raréfaction augmentent, les forces maintenant la cohésion du liquide sont vaincues et des bulles de cavitation apparaissent. Ce phénomène est appelé cavitation (**Farid. C et al., 2011**).



CHAPITRE II : LES COLORANTS ALIMENTAIRE



2.1. Généralité

La couleur d'un aliment est importante dans le choix de ce que l'on mange. La couleur est un élément primordial dans notre relation à l'aliment et de ce fait les colorants ont, tout au long de l'histoire, eu un rôle prépondérant dans le monde culinaire, afin de susciter l'envie du consommateur final (**Jacquot, et al., 2011**). La couleur agit sur la psyché et, instinctivement, on préfère les aliments rouges, orange et jaunes, plutôt que verts ou bleus, signe d'amertume ou d'oxydation (**Drewnowski, et al., 2001**).

2.2. Définitions d'un colorant (un pigment)

Un colorant ou un pigment est un composé qui absorbe sélectivement l'énergie électromagnétique dans la région du spectre visible ou en UV proche (**Jacquot et al., 2011**). Des atomes qui se retrouvent dans un état excité regagnent leur état fondamental soit par une réémission de lumière, soit par dissipation d'énergie thermique ou chimique. Les pigments naturels des systèmes biologiques sont synthétisés et accumulés dans les cellules vivantes, ou excrétés par les cellules vivantes (**B.S.Hendry, 1996**).

Les pigments naturels, proviennent de diverses sources, notamment d'animaux, de plantes et de minéraux, peuvent être utilisés comme colorants. Pour les obtenir, des méthodes d'extraction (extraction par solvant, distillation, chromatographie, etc.) doivent être utilisées. De plus, les pigments peuvent également être produits par synthèse chimique. Aujourd'hui, les colorants sont très couramment utilisés dans l'alimentation, notamment dans les boissons et les confiseries (**Jacquot et al., 2011**).

Dans le domaine des colorants, il existe une distinction entre les colorants et les pigments. Selon **Jacquot et al., 2011**, un colorant est une substance qui modifie la couleur d'un milieu dans lequel le colorant est introduit et qui est soluble, alors que le pigment est généralement insoluble. Cependant, le terme "pigments caroténoïdes" est souvent utilisé car ils se dissolvent dans les huiles et donnent de la couleur. Cette définition technique est différente de la définition biologique selon laquelle les anthocyanes, la chlorophylle, les flavanols, etc. sont aussi des pigments.



2.3. Rôle de la couleur dans les aliments

Les colorants sont utilisés par l'industrie agro-alimentaire pour rendre certains produits plus appétissants. En effet, la couleur est un élément essentiel de notre perception des aliments et entre dans nos critères d'évaluation de leur qualité. Les industries rajoutent les colorants à leurs produits pour que leur aspect corresponde à l'attente du consommateur. Cette relation entre la couleur et le caractère appétissant d'un aliment a conduit l'homme à colorer de tout temps ses préparations culinaires. Ainsi, les épices comme le safran, le curry ou le curcumin n'ont pas seulement un rôle gustatif, mais aussi un rôle esthétique (**Adeinat, 2018**)

Aujourd'hui, l'industrie des colorants constitue un secteur capital de la chimie moderne. Depuis quelques décennies, l'industrie alimentaire mondiale utilise une quantité de plus en plus importante de colorants naturels ou artificiels surtout dans les conserves, les confiseries, les boissons, mais aussi dans la charcuterie, les fruits et légumes, les matières grasses (huile, beurre, fromage) et le sucre. Cependant, bien que la couleur des fruits et des légumes puisse varier pendant la saison et que le traitement puisse provoquer une perte de couleur, les fabricants d'aliments doivent assurer l'uniformité de l'apparence du produit d'une semaine à l'autre. Pour le fabricant, la cohérence des couleurs est considérée comme une preuve visuelle de la cohérence absolue du processus de fabrication.

Des couleurs peuvent être ajoutées aux aliments pour plusieurs raisons, ce qui peut être résumé comme suit (**B. S. Hendry, 1996**).

- a) Pour renforcer les couleurs déjà présentes dans les aliments mais moins intenses que les attentes du consommateur
- b) Pour assurer l'uniformité lot après lot de la couleur dans les aliments
- c) Pour restaurer l'apparence originale des aliments dont la couleur a été affectée par le traitement
- d) Pour donner de la couleur à certains aliments comme les sucreries, les glaces et Les boissons gazeuses, qui seraient autrement incolores



2.4. Classification des colorants

Dans la matière organique il existe en générale un composé colore naturel sous forme végétale (comme le safran) ou synthétique (liquide ou poudre...) dans la nature (**Manahan, 1998**).

2.4.1. Les colorants artificiels (synthétiques)

Les colorants synthétiques dominent aujourd'hui le marché surtout que leurs propriétés peuvent être précisément adaptées à leur utilisation. tous ces colorants sont synthétisés principalement à partir des produits pétroliers, notamment du benzène et de ses dérivés (toluène, naphthalène, xylène et anthracène).ils sont largement utilisés dans les industries grâce à la facilité de leurs synthèse ,à leur production rapide et à la variété de leurs couleurs comparées aux celles naturels (**Griffiths,,J.1984**).

Les colorants artificiels, également connus sous le nom de colorants synthétiques, sont des colorants produits par synthèse chimique et ne se trouvent pas naturellement dans les aliments. Ils sont largement utilisés dans l'industrie alimentaire pour colorer les produits. Par exemple, la tartrazine (E102) et le jaune de quinoléine (E104) sont des exemples de colorants alimentaires synthétiques couramment utilisés (**site web 7**)

2.4.2. Les colorants naturels

Il existe dix sortes de colorants naturels et des milliers de colorants synthétiques (**Willmott et al., 1997**). Jusqu'en 1850, le colorant alimentaire était d'origine naturelle. C'est de là que proviennent la plupart des colorants organiques:

- Des plantes comestibles (carotte [orange], betterave [rouge], peau de raisin [noir]....)
- Des extraits d'origine animale ou végétale qui ne sont pas normalement consommés (rouge Cochenille d'Amérique centrale [Coccus Cacti], stigmate du safran [Safran], ...).
- Le résultat de la transformation de substances naturelles (caramel (marron)....).



Les colorants naturels sont extraits de plante, d'arbre, de lichen, d'insecte ou des mollusques (Atba *et al.*, 2013).

- **Exemple:** Caroténoïdes (E 160a à E 160f)

Les caroténoïdes sont des pigments naturels, très largement répandus dans la nature, et Possédant des teintes brillantes: jaune, orange, rouge de nombreux fruits comestibles (citrons, Pêches, abricots, oranges, fraises, cerises, tomates...), de légumes (carottes), de champignons (Girolles) et d'animaux (œufs, homards, langoustes, poissons divers...). Le β -carotène est sans doute le plus connu de tous les caroténoïdes. Il est insoluble dans l'eau, l'éthanol, légèrement soluble dans les graisses végétales. Il a une activité vitaminique A. Le bleu est obtenu à partir de l'indigo, qui est une plante légumineuse, Le rouge est obtenu à partir de la racine de garance et le jaune est obtenu à partir du safran (**site web 8**)



Figure 5 :L'indigo (site web 9)



Figure 6 : Le safran(site web 10)



Figure 7 : les racines de garance (site web 11)

2.3. Les effets des colorants sur la sante et l'environnement

Les colorants naturels présentent de nombreux avantages par apport aux les colorants synthétiques d'un point de vue sanitaire et économique. Ils sont respectueux de l'environnement, non polluants, non dangereux, non cancérigènes et non toxiques. Contrairement aux pigments synthétiques qui provoquant des allergies, telles que des éruptions cutanées, de graves réactions dans les voies respiratoires, appelées « sensibilisation respiratoire » lors d'une exposition au moment de leur manipulation (Duran *et al.*, 2002). Ainsi, l'utilisation de produits chimiques puissants dans des conditions de travail humides peut également provoquer une dermatite. Un petit nombre de colorants synthétiques à base de benzidine sont soupçonnés de causer le cancer de la vessie chez l'homme (Ozaki *et al.*, 2002).



En revanche, les pigments naturels peuvent être recyclés après usage et présentent des avantages en termes de gestion des déchets et une sécurité totale au travail comme ils peuvent produire une large gamme de couleurs.

2.3.1. Les Avantages des colorants naturels

Bien qu'il existe de nombreux articles et résultats scientifiques qui expliquent les effets nocifs des colorants alimentaires sur la santé humaine, nombre d'entre eux sont considérés comme bénéfiques pour la santé humaine dans une certaine mesure. Nous mentionnons, par exemple, que les composés naturels sont les meilleurs pour les bienfaits qu'ils peuvent apporter à l'organisme, **par exemple:**

La curcumine est un colorant naturel, possède une activité anti-oxydante et antimicrobienne et réduit le risque de cancer. **(Belhadj, 2014)**

La riboflavine est un colorant naturel qui présente également de nombreux avantages pour la santé et possède des propriétés anti-oxydantes. **(Belhadj, 2014)**

Les colorants naturels sont des antioxydants qui, une fois absorbé par l'organisme, aident à protéger et à réparer les cellules endommagées. Les antioxydants ont démontré leur capacité à empêcher l'oxydation de l'ADN, laquelle serait à l'origine des cancers **(Belhadj, 2014)**.

2.3.2. Les inconvénients des colorants synthétiques

L'absorption des colorants n'a pas toujours d'effet sur notre santé. En effet, certaines personnes sont à l'origine d'intolérances ou d'allergies. Plus sérieusement, l'autre la mutagenicité et la génotoxicité peuvent même causer le cancer de la thyroïde et même tumeurs des glandes surrénales et des reins. L'influence de ce dernier est cependant, cette situation est extrêmement rare et ne se produit que lorsque de fortes doses sont ingérées **(Belhadj, 2014)**.

Ces colorants sont suspectés de jouer un rôle dans ce syndrome d'hyperactivité peut contenir des substances cancérigènes. En d'autres termes, la réaction des intolérances liées aux colorants alimentaires ont généralement des propriétés différentes, voici la liste la plus fréquemment observée:



- Action sur le système nerveux central interférence de type neurotransmission Énergie GABA : synthèse excessive d'acétylcholine (un composant de neurotransmetteur) ou la présence d'amines biogènes.
- Action sur le système nerveux dit « périphérique » effet excitant (tels l'Amarante et la Tartrazine) et anomalie des récepteurs neuroniques.
- Inhibition ou déficit de certains enzymes.
- Augmentation de la perméabilité intestinale (**Belhadj, 2014**).



CHAPITRE III :
COLORANTS NATURELS
D'ORIGINE VÉGÉTALE ET
LEURS BIOACTIVITÉS
PROUVÉES



3.1. Généralité

Il existe plusieurs façons de classer les colorants. Nous pouvons le faire en fonction de leur propriété principale, qui est la couleur. Cela peut également se faire en fonction de leurs propriétés chimiques, de sorte qu'un rapprochement puisse être fait entre plusieurs colorants (colorants azotés, non azotés). la classification selon la source est également reconnue dans la littérature: pigments synthétiques, pigments artificiels et pigments naturels. Les Colorants naturels sont dérivés de produits naturels, minéraux, végétaux ou animaux. Le marché des additifs alimentaires a une variété de colorants naturels tels que la chlorophylle qui produit du vert (E140), le charbon médicinal botanique qui produit du noir (E153), la poudre de piment qui produit de l'orange (E160c), la riboflavine qui produit du jaune orange (E101) (Nguyen. T, 2018)

3.2. Des exemples des colorants naturels

3.2.1. Anthocyanes :

Les anthocyanes (du grec antho, fleur et Kuanos, bleu violet) correspondent à un terme général qui regroupe les anthocyanosides et leur dérivés glycosylés (Guignard, 1996). Les anthocyanines sont des flavonoïdes porteurs d'une charge sur l'oxygène de l'hétérocycle C. La structure de base des anthocyanines est caractérisée par un noyau flavon >>> généralement glucosylé en position C3 (Ribereau et al., 1968). Ils se différencient par leur degré d'hydroxylation et de méthylation, mais aussi par la nature, le nombre et la position des oses liés à la molécule (Miscanthus. S, 1998).

Ce sont des pigments qui colorent les plantes en bleu, rouge, mauve, rose, ou orange (Harbone et al., 1967; Brouillard et al., 1986). Leur présence dans les plantes est donc détectable à l'œil nu. A l'origine de la couleur des fleurs et des fruits, elles sont généralement localisées dans les vacuoles des cellules épidermiques, qui sont de véritables poches remplis d'eau (Harbone et al., 1988) .



3.2.1.1. Sources naturelles des anthocyanes

Contrairement aux caroténoïdes, qui peuvent être trouvés dans les plantes et les animaux, tels que l'astaxanthine dans la viande et les coquilles de crevettes, les anthocyanes sont trouvés uniquement dans les plantes et les champignons. **Selon Gowd, et al 2017**, environ 700 anthocyanes structurellement différentes ont été identifiées dans la nature et le nombre. Augmente constamment.

Les plus souvent rencontrés sont les glycosides de la cyanidine, de la malvidine, de la delphinidine, de la pelargonidine, de la peonidine et de la pétunidine. Environ 2% de tous les hydrocarbures fixés dans la photosynthèse sont transformés en flavonoïdes et leurs dérivés, tels que les anthocyanes. Ils peuvent être localisés dans divers types de tissus végétaux comme ceux des fruits (raisin, framboire, mûre, fraise, cassis,...), des légumes (chou violette, aubergine,...), des racines (radis, betteraves rouges,...), des feuilles (feuilles de maïs violet, feuilles de cassis....), des fleurs (Hibiscus, artichaut....) ou dans des céréales (riz noir, maïs violet....). Ils sont également présents dans les tissus verts de certaines feuilles mais leur couleur est masquée par celle de la chlorophylle dont la dégradation en automne dévoile l'existence de pigments d'anthocyanes. Certains fruits contiennent seulement une ou deux anthocyanes tandis que d'autres, comme les raisins Concord, en ont au moins 15 (**Muñoz-Espada, et al, 2004**).

3.2.1.2. Le rôle des anthocyanes

Les anthocyanes auraient un rôle protecteur pour la plante en absorbant les UV, elles agiraient en bouclier pour l'ADN et les protéines cellulaires. De plus, leur couleur leur confère un rôle dans la pollinisation par l'attraction des espèces pollinisatrices. Les anthocyanes ont un effet « désherbant » qui limite la concurrence pour le développement des graines des plantes qui en produisent. (**Christina. S, 2005**).



3.2.2. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des molécules hydrophobes appartenant à la famille des terpènes. Ce sont des composés à structure hydrocarbonée, dérivés de tétraterpènes, contenant généralement 40 atomes de carbone avec un squelette carboné constitué de huit unités isoprène. Les caroténoïdes sont divisés en 2 groupes : les hydrocarbures caroténoïdes sont appelés carotènes et dérivés contenant des fonctions oxydatives (le plus souvent des groupes hydroxyle, céto, époxy, méthoxy ou acide carboxylique). C'est ce qu'on appelle la lutéine. En général, les caroténoïdes sont pratiquement insolubles dans l'eau, mais bien solubles dans les lipides (L. Cao-Hoang *et al.*, 2011).

Selon Quirós *et al.*, 2006, plus de 600 caroténoïdes ont été isolés à partir de produits naturels, mais seulement une vingtaine environ peuvent être détectés dans les tissus ou le sérum humain. Le terme caroténoïdes recouvre deux classes de composés apparentés, les hydrocarbures non oxydés, les carotènes, d'une part, et leurs dérivés oxydés, la lutéine, d'autre part.

3.2.2.1. Sources naturelles de caroténoïdes

Chez les plantes, les caroténoïdes sont clairement visibles par la couleur qu'ils donnent aux fruits (tomates), fleurs (marigold/rose d'Inde) et racines (carotte). Ils sont également présents dans les tissus verts de certaines feuilles mais leur couleur est masquée par celle de la chlorophylle dont la dégradation en automne dévoile l'existence des pigments de caroténoïdes (Cao-Hoang *et al.*, 2009).

Chez les animaux, les caroténoïdes ne peuvent pas être synthétisés. Leur rôle dans la couleur de certains crustacés, insectes, poissons, et oiseaux résulte d'une absorption alimentaire (Goodwin, 1980).

Certaines plantes originaires du Sud-Est Asiatique sont très riches en caroténoïdes. D'après l'Institut de Nutrition du Vietnam 2001, le Gac est le fruit le plus riche en β -carotène et lycopène, la feuille de bo ngot est la plus intéressante parmi les feuilles riches en caroténoïdes qui comprennent aussi le « tia to », le « den com », la corète potagère et le « kinh gioi » (Tableau 2).



En outre, certaines études récentes ont montré que les caroténoïdes se trouvent aussi dans plusieurs autres fruits et graines comme le «ky tu» (*Lycium pallidum*) (Nguyen-Thi, et al., 2007) ou le « dieu mau » (*Bixa Orellana .L*) (Le-Anh, et al., 2008)









Fruits, légumes et autres végétaux	Nom scientifique	Teneur de β -carotène ($\mu\text{g}/100 \text{ g}$ aliment)
Gác 	<i>Momordica cochinchinensis</i> (Lour.) Spreng	52520
Rau Ngót 	<i>Sauropus androgynus</i>	6650
Tía tô Basilic japonais 	<i>Perilla frutescens</i> Britt	5520
Dền com Amarante 	<i>Amaranthus viridis</i>	5300
Cà rốt Carotte 	<i>Daucus carota</i>	5040
Cần tây Céleri 	<i>Apium graveolens</i>	5000
Rau đay Corète potagère 	<i>Corchorus olitorius</i> L.	4560
Kinh giới Marjolaine Douce 	<i>Elsholtzia cristata</i>	4360

Tableau 1 : Végétaux riches en β -carotène au Vietnam (Trung tâm dinh dưỡng, 2001)

3.2.3. Chlorophylle

La chlorophylle est un pigment qui donne leur couleur verte aux végétaux (plantes, algues eucaryotes et cyanobactéries) et aide ces végétaux à créer leur propre énergie (nourriture) grâce à la photosynthèse.

La chlorophylle est un pigment vert, présent dans toutes les plantes vertes et dans les cyanobactéries, chargé d'absorber la lumière pour fournir de l'énergie aux plantes grâce à la



photosynthèse. Sa molécule contient un atome de magnésium contenu dans un cycle de porphyrine (**site web 11**)

3.2.5. Curcumine

Les curcuminoïdes constituent la fraction active de l'extrait de Curcuma. Ils sont insolubles dans l'eau et doivent être extraits à l'aide de solvants (**Jayaprakasha et al., 2005**).

Les curcuminoïdes sont des molécules polyphénoliques. On en dénombre trois la curcumine, aussi dénommée diféruoylméthane et ses molécules dérivées, la déméthoxycurcumine et la bisdéméthoxycurcumine (**Kholi et al., 2005; Portes, 2008**).



Figure 8 : La Curcumine (**site web 12**)

3.2.6. Bétalaines

Les bétalaines sont des pigments végétaux dont la couleur varie du jaune foncé au violet foncé. Le nom "betalaine" vient du nom latin de la betterave à sucre (*Beta vulgaris*), qui a été extraite et caractérisée pour la première fois en 1958 par une équipe de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (**H. Wyler, 1959**)

Les bétalaines sont des hétérosides, une partie de la molécule (chromophore) est attachée à un ose (sucre simple). Le chromophore dérive de l'acide aminé tyrosine par une synthèse complexe faisant intervenir comme intermédiaire la dihydroxyphenylalanine (DOPA).

Il existe 2 catégories de bétalaïne:



- Les bétacyanines, pigments de couleur rouge à violet (bétanine).
- Les bétaxanthines, pigments de couleur jaune à orange (indicaxanthine) (**L. Tesoriere, 2004**)

La couleur et la stabilité des bétalaïnes dépendent du pH. La plus étudiés des bétalaïnes est la bétanine (ou bétacyanine) aussi nommé rouge betterave car elle peut être isolée à partir de la betterave. Elle est commercialisée comme un colorant naturel pour colorer les aliments. Cependant le monde de l'agroalimentaire s'y intéresse pour ses propriétés antioxydantes (**J.Escribano, 1998**) avec l'ensemble des bénéfices positifs pour la santé (**L. Tesoriere, 2004**) Les autres bétalaïnes connues sont l'amaranthine et l'isoamaranthine, l'ensemble des Deux isolées de plantes dès les familles des Amaranthus.

3.2.6.1. Sources naturelles de bétalaïne

La bétalaïneest caractéristique de la plupart des familles de plantes appartenant à l'ordre Dianthus. L'exemple le plus connu de ces plantes est la betterave (*Beta vulgaris*, parfois appelée à tort carotte rouge), mais des plantes telles que la noctilucente (*mirabilis*), les cactées [*pitahaya* (**F. C. Stintzing et al., 2002**)Figuier de Barbarie(**L.Tesoriere, 2004**)] , les bougainvilliers, les pourpiers (**G. Trezzini,1989**)(pourpier) est colorée par ces pigments. Certains champignons, comme l'Amanita (dont le flycide Amanita. *Amanitamuscaria*) et les *Hygrocybes* doivent leur couleur jaune ou rouge à la bétaine.

3.2.7. Anthoxanthines

Pigment hétérosidique polyphénolique présent dans certaines fleurs ou feuilles, de couleur jaune ou orange selon la structure de l'aglycone dérivé de flavonols, et possédant souvent des propriétés de vitamine P sur la fragilité et la perméabilité capillaires : par ex. le quercétrinoside et le rutoside sont des anthoxanthines dérivés du quercétol (**site web 13**)

▪ Des élémentsriches en anthoxanthines

L'anthoxanthine présente dans les fruits et légumes de couleur blanche (chou-fleur, champignon, pomme de terre, salsifis, topinambour, panais, navet, banane...) révèle un caractère anti-inflammatoire intéressant dans la prévention des maladies cardiovasculaires, des cancers, ainsi que dans la stimulation du système immunitaire (**site web18**)



Figure 9 : Les éléments riches en anthoxanthine (site web18)

3.3. Charbon végétal activé

Le charbon actif est un produit adsorbant (J.A.Macia,2004) (Zhang et al.,2005) obtenu à partir de matières premières riches en carbone (le bois la tourbe, le charbon, le lignite, l'écorce de coco...). Toutes matières premières organique qui contient du carbone, est a priori susceptible de convenir pour l'obtention de charbon actif. Le choix de la matière première sera essentiellement dépendant des possibilités d'approvisionnement locales permettant des prix de revient compétitifs. Néanmoins, les matières premières utilisées conditionneront en grande partie la qualité finale du charbon actif (Valixet al., 2006). Une fois ces matières premières sélectionnées, elles sont activée physiquement ou chimiquement dans des fours d'activation. Par cette activation on obtient, une structure de carbone hautement poreuse et très active.



Figure 10 : Charbon végétal activé – 1CHA (site web 15)



3.4. Conservation des colorants naturels

Les colorants sont particulièrement sensibles à 4 facteurs :

- **Le pH** : certains colorants peuvent présenter selon l'acidité du produit des colorants variables.
- **La lumière** : le premier facteur de dégradation d'un colorant est la lumière. Ex : l'oxydation des caroténoïdes est accélérée par les rayons ultraviolets.
- **La température** : le rouge de betterave par exemple est très sensible à la température.
- **La teneur en alcool** : peut dissocier certains mélanges de colorants (**site web 16**)

Les colorants a conserver à l'abri de la lumière, de la chaleur et de l'humidité. Après ouverture, à conserver au réfrigérateur et à consommer sous un mois. (**site web 17**)

Pour conserver un colorant naturel, vous pouvez utiliser différentes méthodes telles que:

- **Congélation** : Placez le colorant naturel dans des récipients hermétiques et mettez-les au congélateur. Cela permet de préserver la couleur et la fraîcheur du colorant pendant une période prolongée (**Doe et al., 2020**).
- **Déshydratation** : Séchez le colorant naturel en le plaçant dans un déshydrateur alimentaire ou dans un four à basse température. Une fois complètement sec, conservez-le dans un contenant hermétique à température ambiante (**Doe et al., 2020**).
- **Conservation avec des conservateurs naturels** : Ajoutez du vinaigre ou du sel au colorant naturel pour prolonger sa durée de conservation. Le vinaigre agit comme un conservateur acide, tandis que le sel aide à inhiber la croissance des bactéries (**Doe et al., 2020**)



PARTIE II : PARTE PRATIQUE



MATÉRIELS ET MÉTHODES



1. Matériels

➤ **Matériel végétale**

- Matière végétal « **Betterave** »

➤ **Matériels au laboratoire**

- Machine de séchage
- Mortier et pilon
- Achwar
- Filtres à café
- Entonnoir
- Verre ou bécher
- Solvant
- Tamis fin

2. Méthodes

2.1. Enquête



Fiche d'enquête

Age :

Sexe : Femme Homme

- **Q1** : Avez-vous déjà utilisé des colorants artificiels dans vos aliments ?

Oui Non

- **Q2** : Pensez-vous que le colorant alimentaire artificiel est sans danger pour la santé ?

Oui Non

- **Q3** : Êtes-vous préoccupé par l'effet du colorant alimentaire artificiel sur votre santé mais tu consommes malgré la connaissance?

Oui Non

- **Q4** : Pensez-vous que le colorant alimentaire est nécessaire pour rendre les aliments plus attrayants ?

Oui Non

- **Q5** : Essayez-vous d'éviter les aliments contenant des colorants artificiels ?

Oui Non

- **Q6** : Lisez-vous les étiquettes des aliments pour rechercher des colorants artificiels ?

Oui Non

- **Q7** : Pensez-vous que les teintures végétales naturelles sont une solution alternative ?

Oui Non



2.2. Installation de l'essai

Notre choix s'est porté sur une espèce "La betterave" de la famille *Chenopodiaceae*, le nom scientifique est *Beta vulgaris.L*, en raison de sa richesse en pigment alimentaire coloré nous avons cultivé la betterave au mois de janvier et on a récolté au mois de avril qui quand il a été mature



<u>Classification Tropicos</u>	
Règne	<i>Plantae</i>
Classe	<i>Equisetopsida</i>
Sous-classe	<i>Magnoliidae</i>
Super-ordre	<i>Caryophyllanae</i>
Ordre	<i>Caryophyllales</i>
Famille	<i>Chenopodiaceae</i>
Genre	<i>Beta</i>
Espèce	<i>Beta vulgaris</i>

<u>Sous-espèce</u>
<i>Beta vulgaris.L</i>

Figure 11 : Betteraves rouges cultivé (cliché Saci ; Tridi ; 2024)



2.3. Récolte

On récolté la betterave environ 3 mois après les semis. Il suffit de laver la racine et de la laisser sécher pendant une journée entière.



Figure 12 : Récolte de betterave (cliché Saci ; Tridi ; 2024)

3. Pré-extraction

Pour obtenir la couleur rouge, nous avons appliqué les étapes suivantes :

Premièrement nous avons choisi des légumes frais et de bonne qualité:

- Nettoyage des légumes : nous avons lavé avec de l'eau soigneusement.
- Egouttage des légumes : nous avons les égoutter à l'aide d'un égouttoir.
- Découpage : nous avons les découper en fine lamelles.



Figure 13 : Découpage de betterave (cliché Tridi ; Saci ; 2024)



3.1. Extraction En Poudre

- **Déshydrations**

Il est important de déshydrater les légumes complètement pour avoir les transformer en poudre.

Nous avons utilisé un four à température environ 40°C à 60°C.

Les plantes doivent être croustillantes et cassantes au toucher.

- **Broyage en poudre**

Une fois déshydrate, réduisez les plantes en poudre fine à l'aide d'un mortier ou d'un pilon ou d'un moulin à épices.

- **Tamisez la poudre**

Passez la poudre au tamis fin pour éliminer les morceaux les plus grossiers.

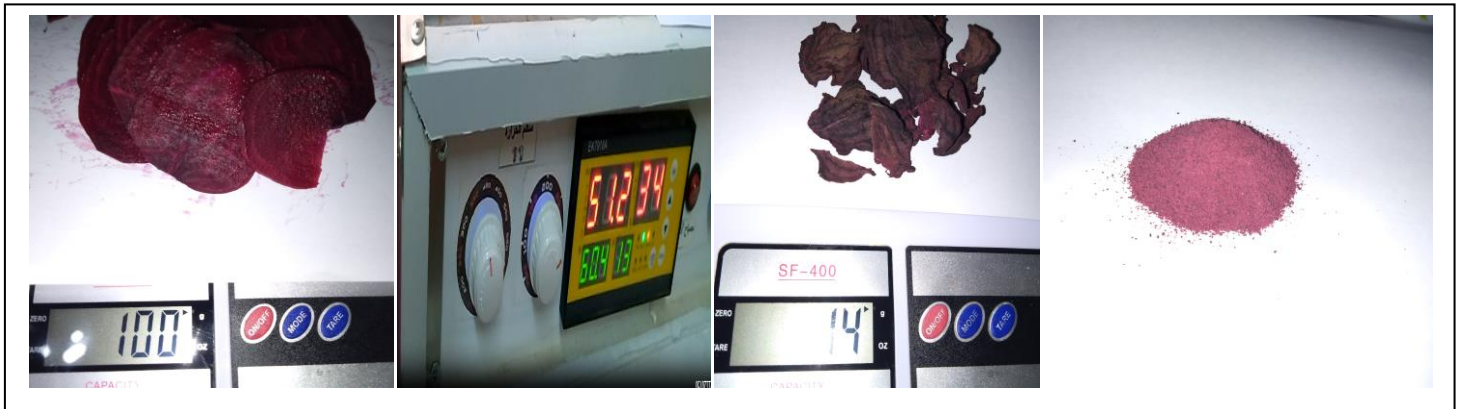


Figure 14 : Les étapes d'extraction en poudre (cliché Tridi ; Saci ; 2024)

3.2. Extraction En Liquide

- Préparation de la teinture: Ajoutez-les légumes à une casserole d'eau et portez à ébullition. Réduisez le feu et laissez mijoter pendant 30 minutes à une heure, ou jusqu'à ce que l'eau ait pris une couleur foncée.
- broyez le mélange.
- Filtrage de la teinture: Filtrez la teinture à l'aide d'un papier filtre pour éliminer les résidus végétaux.
- Concentration de la teinture : en la faisant mijoter à feu doux jusqu'à ce que le volume ait diminué de moitié.



Figure 15 : Les étapes d'extraction en liquide (cliché Tridi ; Saci ; 2024)

3.3. Conservation

Stockez la poudre ou le liquide de colorant naturel dans un récipient hermétique et opaque, à l'abri de la lumière et de l'humidité dans un endroit frais. La teinture peut se conserver plusieurs mois, voire plusieurs années.



Figure 16 : conservation d'extrait liquide et poudre (cliché Tridi ; Saci ; 2024)



CHAPITRE VII : RÉSULTATS ET DISCUSSION



1. Interprétation de l'enquête

Les résultats obtenus sont exprimés en pourcentage selon la nature de chaque question.

- **l'utilisation des colorants**

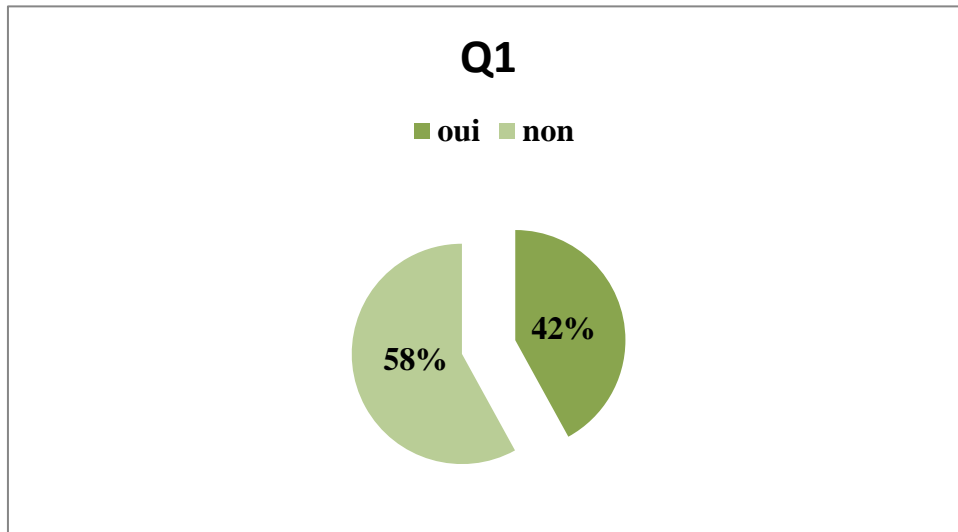


Figure 17 : L'utilisation des colorants

Selon les résultats obtenus nous avons enregistré que la population utilise les colorants d'un pourcentage de 58% et le reste de la population 42% ne utilise pas les colorants.

- **le danger des colorants**

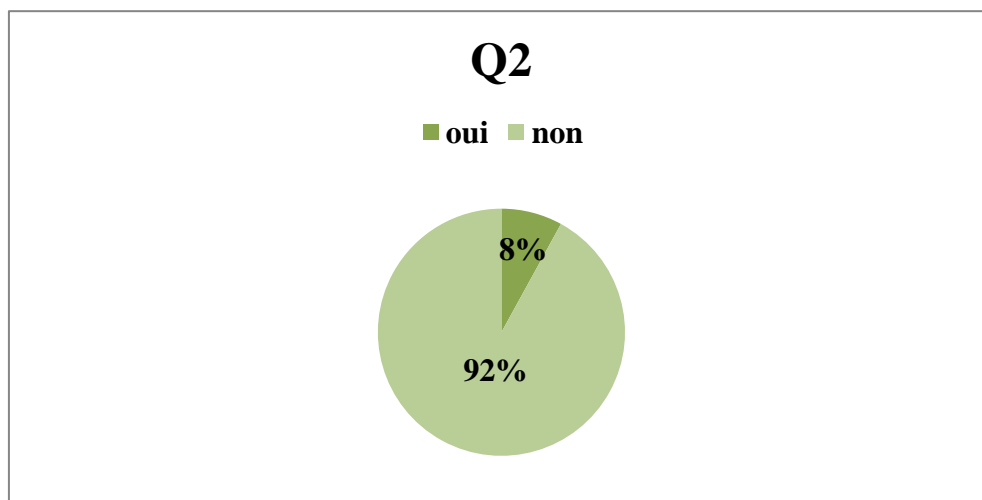


Figure 18 : Le pourcentage de connaissance de la population par le danger des colorants



D'après les résultats obtenus ; la plus part des participants (92%) sont conscients que les colorants alimentaire sont dangereux pour la santé ceci puisque la majorité des gens connaissent que les colorants disponibles au niveau du marché sont à base des composés chimiques néfaste pour la santé. Ce qui montre **M. Ourrad Zakaria et al.,2021**, Le cancer est la maladie la plus courante causée par la consommation des colorants pour la majorité des participants, suivie par les allergies et l'hyperactivité.

- **Utilisation malgré la connaissance des effets néfastes des colorants alimentaire sur la santé**

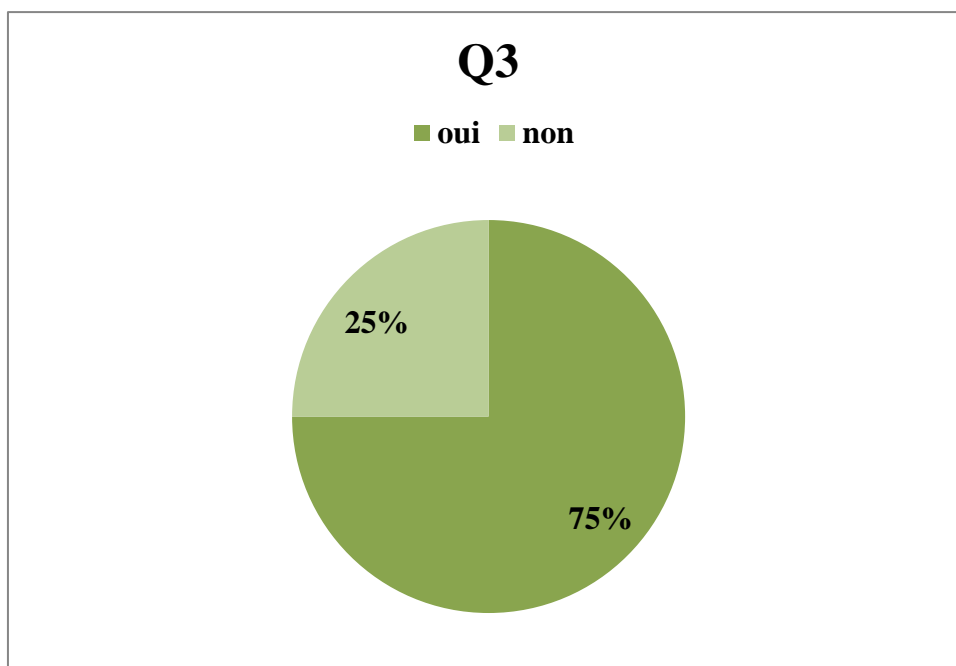


Figure 19 : Pourcentage d'Utilisation malgré la connaissance des effets néfastes des colorants alimentaire sur la santé

Selon les réponses de population nos avant remarque que 75% utilise les colorant chimique malgré leur connaissance de les effets secondaire de ce produit ceci peut-être du la manque de produit bio sur le marche.



▪ **Attraction des aliments colorés (oui /non)**

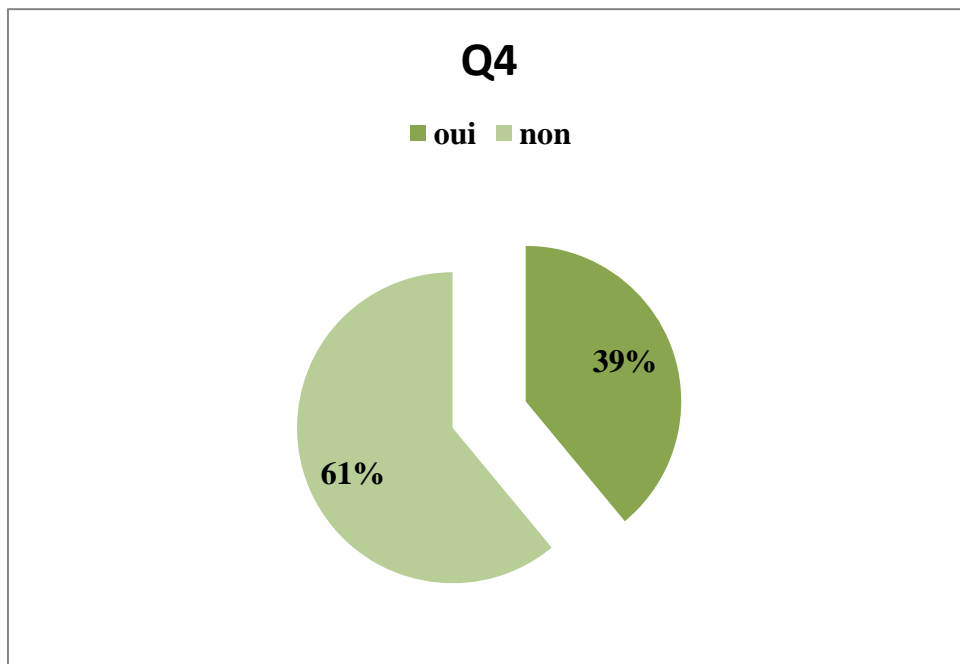


Figure 20 : Attraction des aliments colorés

61 personnes disent que les aliments colorés sont pas attirants et 39 disent que les aliments colorés plus attirants

▪ **Limitation de l'utilisation des aliments colorés**

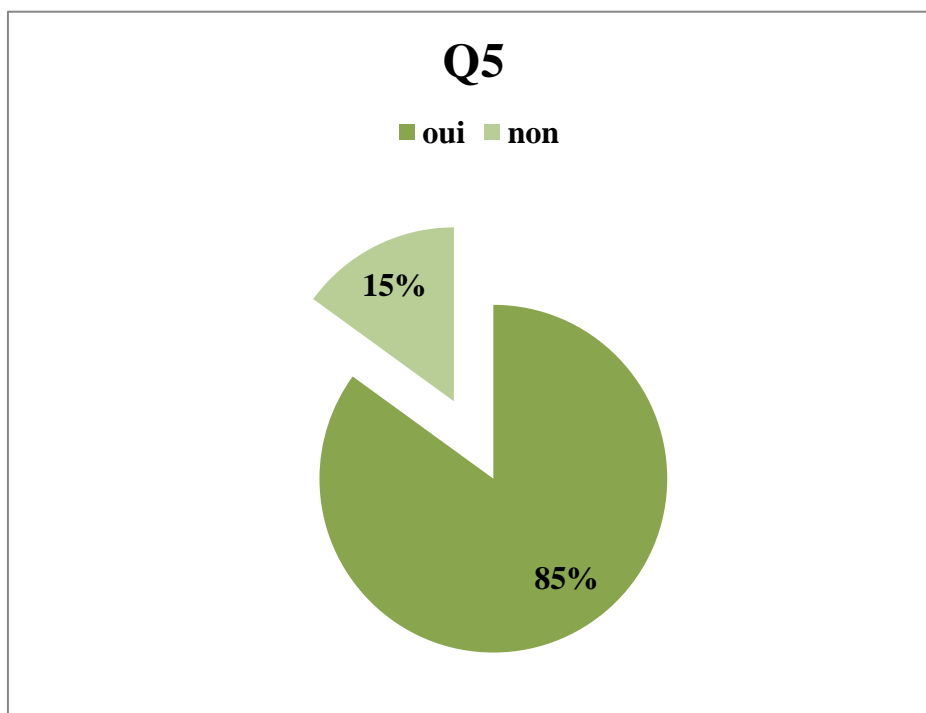


Figure 21 : Pourcentage de l'utilisation des aliments colorés



85% des personnes évitent les aliments colorés et 15% ne prend pas considération de la présence des colorants dans les aliments.

▪ **Vérification de la présence du colorant artificiel dans les étiquettes des aliments**

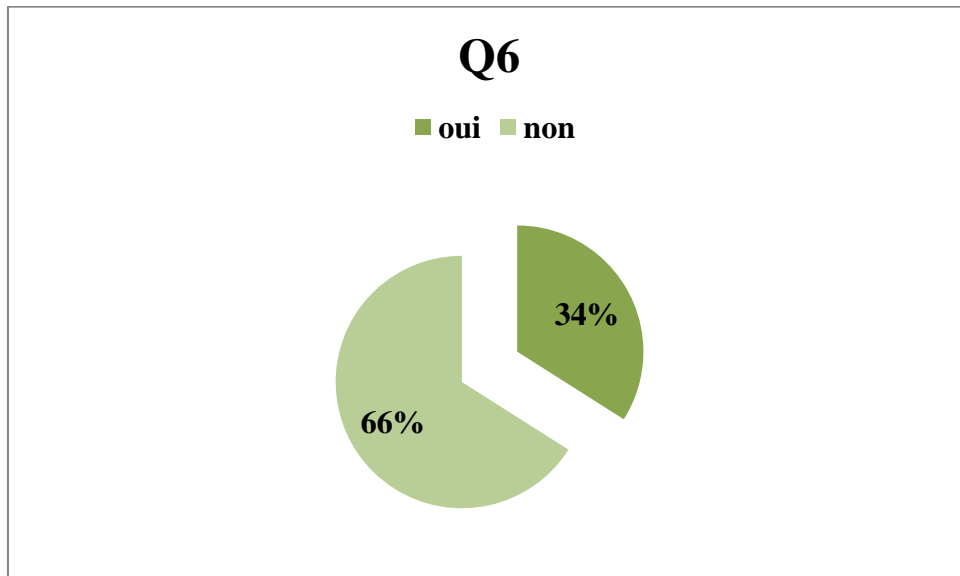


Figure 22: Pourcentage de vérification des étiquettes

(34%) des participants lisent les étiquettes des produits, tandis que la majorité (66%) ne fait pas attention de la présence des colorants artificiels dans les aliments par contre **selon M. Ourrad Zakaria et al.,2021**, (70,3%) des participants ils disent qu'ils lisent l'étiquetage. Tandis que 29,7% ils ne font pas l'attention.

▪ **L'alternative de l'utilisation des colorants végétal naturel (oui / non)**

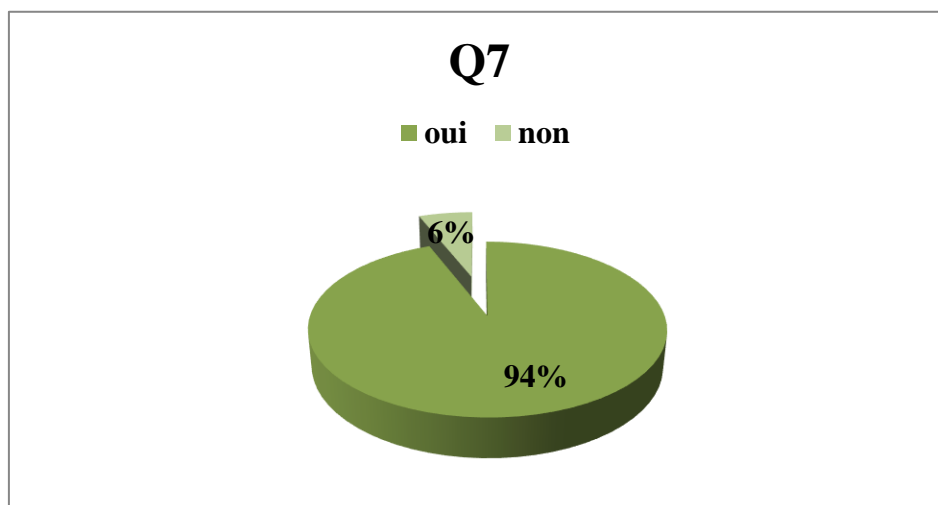


Figure 23 : L'alternative de l'utilisation des colorants végétal naturel



(94%) des participants pensent que les teintures végétales sont une solution et (6%) ne les voient pas comme une alternative. le mémé resulta. selon M. Ourrad Zakaria et al.,2021, la majorité des participants (88%) pensent que l'origine des colorants naturels est végétale, suivie par une minorité qui pensent que les colorants naturels sont d'origine marine ou animale.

2. Résultats de fabrication des colorants en poudre

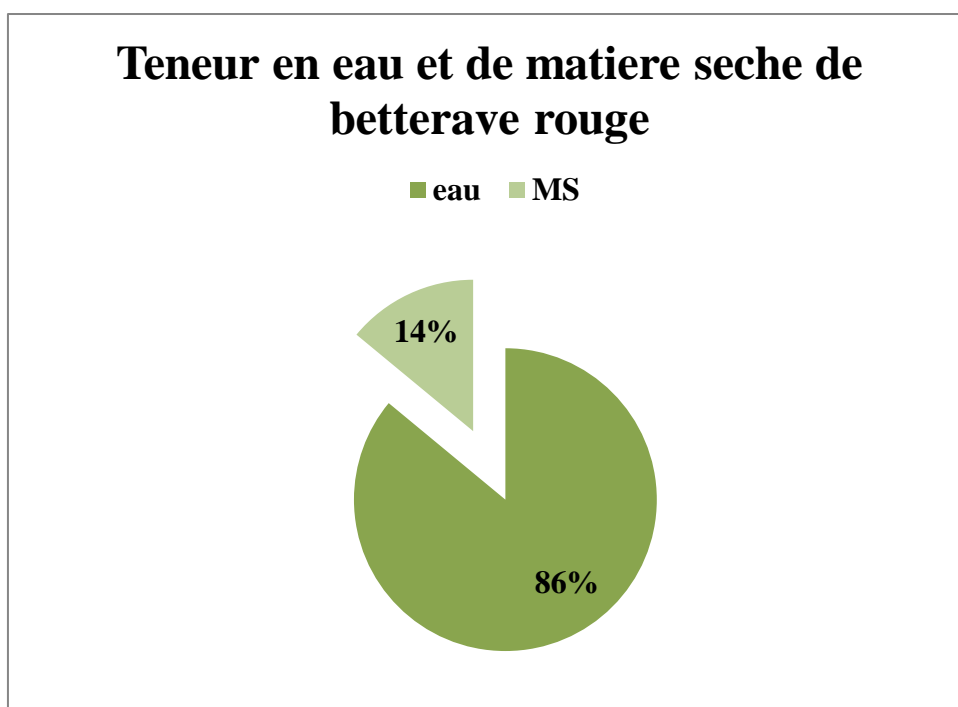


Figure 24 : Teneur en eau et de matière sèche de betterave rouge

Selon les résultats obtenus nous avons enregistré que Cent (100) gramme de betterave épluché contient 86% équivalent de 86 g d'eau et 14% équivalent de 14 g de matière sèche.

3. Résultats de fabrication des colorants en liquide

L'extraction liquide de colorant à partir de 100 g de betterave épluchée donne 14 g d'extrait.



Matière fraîche	Quantité de colorant
100g	14g équivalent en millilitres 14ml

Tableau 2 : Résultats de fabrication des colorants en liquide



CONCLUSION



L'extraction des pigments végétaux et leurs substances bioactives : Une alternative prometteuse aux colorants artificiels

Cette étude a permis d'explorer le potentiel des pigments végétaux comme alternative aux colorants artificiels dans l'industrie agroalimentaire et cosmétique. Les résultats obtenus démontrent la faisabilité technique de l'extraction de pigments naturels à partir de sources végétales telles que la betterave et les épinards, en utilisant des méthodes simples et accessibles.

L'enquête réalisée auprès d'un échantillon de 100 personnes a révélé une prise de conscience croissante des dangers potentiels des colorants artificiels pour la santé. La majorité des participants (92%) étaient conscients des risques associés à l'utilisation de ces additifs, et 75% d'entre eux connaissaient les effets néfastes sur la santé. De plus, 85% des participants déclaraient éviter les aliments contenant des colorants artificiels, et 94% d'entre eux considéraient les colorants végétaux naturels comme une alternative viable.

Les résultats de l'expérimentation ont mis en évidence la richesse des sources végétales en pigments naturels. Les betteraves sont avérées être des sources prometteuses de pigments rouges respectivement. Les colorants obtenus par extraction en poudre et en liquide présentaient des propriétés colorantes intéressantes et une bonne stabilité dans le temps.

Cette étude ouvre la voie à de nouvelles perspectives de recherche dans le domaine de l'extraction et de l'utilisation des pigments végétaux. Des travaux complémentaires seront nécessaires pour optimiser les procédés d'extraction, caractériser d'avantage les propriétés des pigments naturels et explorer leur application dans des produits alimentaires et cosmétiques innovants.

En conclusion, l'utilisation des pigments végétaux comme alternative aux colorants artificiels présente de nombreux avantages. Les pigments naturels sont non seulement sûrs et biocompatibles, mais ils offrent également des propriétés fonctionnelles intéressantes et une large palette de couleurs. L'exploitation de ce potentiel permettra de répondre à la demande croissante des consommateurs pour des produits sains et naturels, tout en contribuant à la préservation de l'environnement.



Références bibliographique



- Alexandre, M., 2017. Optimization of mechanical behavior of PEKK / Carbon fibers structural composites by PEKK oligomers sizing.
- Adeinate L. 2018. L'impact des Colorants et des Conservateurs de L'industrie Alimentaire sur notre santé; Docteur en Pharmacie Université de Poitiers; P46, 47, 55,56.
- Atba S et Benkaddour N, 2013 « élimination d'un colorant par des algues marines modifiées»: diplôme de Master, université de Mostaganem.
- Basnet P.; Tho I.; Skalko B. N. (2010). Curcumin, a Wonder Drug of 21st Century: Liposomal Delivery System Targeting Vaginal Inflammation. 5th International Congress on Complementary Medicine Research. Tromsø, Norway. Abstract Number A9M2K9C
- Batistella, E. Moraes, and M. Maciel, "Molecular distillation process for recovering biodiesel and carotenoids from palm oil," in *Biotechnology for Fuels and Chemicals*: Springer, 2002, pp. 1149-1159.
- Belhadj F, 2015. Caractérisation et l'étude des Colorants Alimentaires: Diplôme de Master en Chimie Analyse Spectrale en Chimie; Université Abd El-Hamide Ibn Badis Mostaganem; P4, 5, 6,7.
- Brouillard R., 1986. The flavonoides Advances. *Research science*: 525-538.
- Brandt, K., Christensen, L.P., Hansen-Møller, J., Hansen, S.L., Haraldsdottir, J., Jespersen, L., Purup, S., Kharazmi, A., Barkholt, V., Frøkiær, H., Kobæk-Larsen, M., 2004. Health promoting compounds in vegetables and fruits: A systematic approach for identifying plant components with impact on human health. *Trends in Food Science & Technology*, NFIF part 2 15, 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.12.003>
- Cabrita L. Petrov V. Et Pina F. 2014. On the thermal degradation of anthocyanidins: Cyanidin. *RSC Advances*, 4: 18939-18944.
- Cao-Hoang, L., & Waché, Y. (2009). *Carotene dispersion in liquid media*. New York: Nova science publishers.
- Conseil Européen de l'Information sur l'Alimentation (EUFIC), Références sur les additifs alimentaires, www.eufic.org/fr/quickfacts/food_additives.htm (consulté le 11/01/2004)
- Cikrikci, S., Mozioglu, E., & Yilmaz, H. (2008). Biological activity of curcuminoid isolated from *Curcuma longa*. *Records of Natural Products*, 2(1):19.
- CHEOK, C., SALMAN, H., SULAIMAN, R. (2014). Extraction and quantification of saponins: A review. *Food Research International*, 59, 16-40.



- Chemat, F., Fabiano-Tixier, A.-S., Abert-Vian, M., 2018. Les six principes de l'éco-extraction du végétal 19.
- Croteau, R., Ketchum, R.E.B., Long, R.M., Kaspera, R., Wildung, M.R., 2006. Taxol Biosynthesis and Molecular Genetics. *Phytochem Rev* 5, 75–97. <https://doi.org/10.1007/s11101-005-3748-2>
- Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A.-S., AbertVian, M., 2017a. Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*41, 357–377. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.016>
- CHEOK, C., SALMAN, H., SULAIMAN, R. (2014). Extraction and quantification of saponins: A review. *Food Research International*, 59, 16-40.
- Chemat, F., Zill e, H., & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18 (4), 813-835.
- Christina Schallenberg, « There's a reason those maple leaves are red: Leaves produce powerful chemical», *Toronto Star*, vol. 22 octobre, 2005
- Danielski, L., Campos, L.M.A.S., Bresciani, L.F.V., Hense, H., Yunes, R.A., Ferreira, S.R.S., 2007. Marigold (*Calendula officinalis* L.) oleoresin: Solubility in SC-CO₂ and composition profile. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 46, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.05.004>
- Dall'armellina, Extraction-formulation de produits naturels issus du végétal dans des émulsions stables et conception de formulations sèches bioactives, (2021)
- Drewnowski, A., Henderson, S. A., & Barratt-Fornell, A. (2001). Genetic Taste Markers and Food Preferences. *Drug Metabolism and Disposition*, 29 (4), 535-538.
- Duran N., Tixeira M.F.S., DeConti R., and Esposito E. (2002). Ecological-friendly pigments from fungi. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 42:53-66.
- Doe, J., & Smith, A. (2020). “Méthodes de conservation des colorants naturels : Congélation, déshydratation et utilisation de conservateurs naturels.” *Journal de Conservation des Aliments*, 10(2), 123-135.
- file:///C:/Users/acer/Desktop/master%20de%20pigments.pdf page 1



- F. C. Stintzing, A. Schieber, and R. Carle, “Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose,” *Food Chemistry*, vol. 77, no.1. pp. 101-106, 2002.
- Fabiano-Tixier, A.-S., Culioli, G., 2013. *Chimie des substances naturelles et chimie de l’environnement*.
- Goodwin, T. W. (1980). *The biochemistry of the carotenoids* (Vol. 1. Plant; 2. Animals). London: Chapman & Hall.
- Gowd, V., Jia, Z., & Chen, W. (2017). Anthocyanins as promising molecules and dietary bioactive components against diabetes – A review of recent advances. *Trends in Food Science & Technology*, 68, 1-13.
- Griffiths, J. (1984). Developments in the light absorption properties of dyes-color and photochemical reactions. In *Developments in the Chemistry and Technology of Organic Dyes* (pp. 1-30). Society of Chemistry Industry Oxford.
- G. Pfaff. *Inorganic Pigments*, Berlin, Walter de Gruyter GmbH & Co KG. 2017.
- G. Trezzini and J.-P. Zryd, “*Portulaca grandiflora*: a model system for the study of the biochemistry and genetics of betalain synthesis,” in *I International Symposium on In Vitro Culture and Horticultural Breeding* 280, 1989, pp. 581-585.
- Guignard JL., 1996. *Abrégé de biochimie végétale*, Ed. Masson, Paris, 160 p.
- Harbone JB., 1967. *Comparative biochemistry of the flavonoides*. Academic press. New York, 1-130p.
- Harbone JB., Grayer RJ., 1988. *The flavonoids*, *Advances. Research science*: 1-20.
- Havsteen BH., 2002. *The Biochemistry And Medical Significance Of The Flavonoids*. *Pharmacol. Therapeut*, 96: 67-202
- Heinrich, Z. (1991). *Color chemistry: Syntheses, properties and applications of organic dyes and pigments*. New York: VCH.
- Hendry, B. S. (1996). *Natural food colours*. In G. A. F. Hendry & J. D. Houghton (Eds.). *Natural Food Colorants* (pp. 40-79), Boston, MA: Springer US.
- https://www.osiperception.org/IMG/pdf/Fiche_pedagogique_pigments_vegetaux.pdf
page1
- H. Wyler, G. Vincenti, M. Mercier, G. Sassu, and A. S. Dreiding. “Zur Konstitution des Randfarbstoffes Betanin. 2. (vorläufige) Mitteilung.” *Helvetica Chimica Acta*, vol. 42, no. 5, pp. 1696-1698, 1959.



- Jacquot, M., Voilley, A., & Fagot, P. (2011). La couleur des Aliments, de la théorie à la pratique.
- J.A.Macia, A., et al., activation of coal tar pitch carbon fibres: Physical activation vs. Chemical activation,, carbon, 2004. 42(7): p. 1367-1370.
- Jayaprakasha, G.K., Jagan Mohan Rao, L, Sakariah, K.K. 2005. Chemistry and biological activities of C. Longa. Trends in Food Science & Technology, 16:533-548.
- J. Escribano, M. A. Pedreño, F. Garcia-Carmona, and R. Muñoz, "Characterization of the antiradical activity of betalains from Beta vulgaris L. Roots," Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques, vol. 9, no. 3, pp. 124-127, 1998.
- Kholi K., ALLJ. Ansari m.J., Raheman Z. (2005). Curcumin: A natural antiinflammatory agent. Indian J. Pharmacol., 37(3): 141-147.
- K. M. Davies, Plant Pigments and Their Manipulation, Oxford, Blackwell, 2004.
- Laura Dominguez Diaz, Fernández-Ruiz, V., Camara, M., 2019. The frontier between nutrition. And pharma: The international regulatory framework of functional foods, food supplements and nutraceuticals. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 1549-7852.
- L. Cao-Hoang, H. Phan-Thi, F. J. Osorio-Puentes, and Y. Waché, "Stability of carotenoid extracts of gấc (Momordica cochinchinensis) towards cooxidation Protective effect of lycopene on B-carotene," Food Research International, vol. 44, no. 7, pp. 2252-2257, 2011.
- Le-Anh, D., Dinh-Nga, T., & Phan Thi, S. (2008). The extraction red pigment of Bixa orellana. L from Vietnam. National conference organic chemistry, 2, 264-268.
- LIGOR, M., RATIU, I., KIEŁBASA, A. et al . (2018). Extraction approaches used for the determination of biologically active compounds (cyclitols, polyphenols and saponins) isolated from plant material. Electrophoresis.
- L.Tesoriere, M. Allegra, D. Butera, and M. A. Livrea, "Absorption, excretion, and distribution of dietary antioxidant betalains in LDLs: potential health effects of betalains in humans." The American journal of clinical nutrition, vol. 80, no. 4, pp. 941-945, 2004.
- Luque de Castro, M. D. and L. E. Garcia-Ayuso (1998). "Soxhlet extraction of solid materials: An outdated technique with a promising innovative future." Analytica Chimica Acta 369: 1-10.



- LadyofHats (Mariana Ruiz Villarreal) French translation of Image:Plastids types.svg ,2007
- Manahan SE. 1998 Environmental chemistry, 6ed Ed, USA: Lewis publisher, 1994 color removal from textile effluent, JSDC..
- Mazza, R. Brouillard. Food Chem., 25 (1987), p. 207.
- MULTON J.L., Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires, 3ème édition, Collection sciences et techniques alimentaires, Editions Tec et Doc, 746 p, 2002.
- Muñoz-Espada, A. C., Wood, K. V., Bordelon, B., & Watkins, B. A. (2004). Anthocyanin Quantification and Radical Scavenging Capacity of Concord, Norton, and Marechal Foch Grapes and Wines. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52 (22), 6779- 6786.
- M. Jacquot, P. Fagot, and A. Voilley, La couleur des aliments: de la théorie à la pratique. Lavoisier, 2011.
- M. OURRAD Zakaria M. METAICHE Mohammed Amine,Enquête sur l'impact de la consommation des colorants alimentaires sur la santé,2021
- Nguyen-Thi, T., Hoang Thi, H. A.. & Nguyen-Quyet, C. (2007). Isolation and purification zeaxanthin from the lycium barbarum for used as the standard in HPLC. Journal chemistry, vietnam, 45 (6A), 231-236.
- Nguyen thi thu,2018. Éco-extraction des pigments naturels 55.
- Ozaki A., Kitano M., Furusawa N., Yamaguchi H., Kuroda K., and Endo G. (2002). Genotoxicity of gardenia yellow and its components. Food Chem Toxicol. 40: 1603-1610.
- Portes E., 2008. Synthèse et Etudes de Tétrahydrocurcuminoïdes. Propriétés Photochimiques. Et Antioxydantes, Applications à la Préservation de Matériaux d'Origine Naturelle. Thèse de doctorat Université Bordeaux 1. 44-46.
- Preetha A., Chitra S., Sonia J., Ajaikumar B. K., Bharat B. Aggarwal. (2008). Curcumin and cancer. An "old-age" disease with an "age-old" solution Revue Elsevier. Cancer Letters, 267:133.
- Perino, S., Mackerri, C., Abert-Vian, M., & Chemat, F. (2016). Extraction d'actifs cosmétiques. In.



- R.-B. De Quirós and H. S. Costa, “Analysis of carotenoids in vegetable and plasma samples: A review,” *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 19, no. 2-3, pp. 97-111, 2006.
- Rein, G.L., “Reputation Information Systems: Conceptual Foundations, Design Theory, and Research Issues,” Working Paper GLR-3, 2/2/2004.
- Ribereau GP., 1968. Les composés phénoliques des végétaux. Dunod, Paris, 009
- Silva, L.V., Nelson, D.L., Drummond, M.F.B., Dufossé, L., Glória, M.B.A., 2005. Comparison of hydrodistillation methods for the deodorization of turmeric. *Food Research International*, Third International Congress on Pigments in Food 38, 1087–1096. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.025>
- Singh, O. V. (Ed.). (2017). *Bio-pigmentation and Biotechnological Implementations*. John Wiley & Sons.
- Suleria, H.A.R., Barrow, C., Barrow, C., 2019. *Bioactive Compounds from Plant Origin : Extraction, Applications, and Potential Health Benefits*. Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9780429029288>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., Murphy, A., 2014. *Plant Physiology and Development*, 6e ed. Sinauer Associates, Incorporated, USA.
- TAKEUCHI, T., PEREIRA, C., BRAGA, M., MAROSTICA et al . (2009). Low-pressure solvent extraction (solid–liquid extraction, microwave assisted, and ultrasound assisted) from condimentary plants. *Extracting bioactive compounds for food products*, 137-218
- Thi thu Nguyen, 2018...mémoire éco-extraction et encapsulation de pigment.
- Trung tâm dinh dưỡng, H. C. M. C. (2001). *Thành phần dinh dưỡng 400 thức ăn thông dụng: Nhà xuất bản Y học*.
- T. T. Nguyen, “Eco-extraction et encapsulation de pigments caroténoïdes et anthocyanes à partir de plantes tropicales,” Université Bourgogne Franche-Comté, 2018.
- Valix, M., W.H. Cheung, and G. McKay, Roles of the textural and surface chemical properties of activated carbon in the adsorption of acid blue dye. *Langmuir*, 2006. 22(10): p. 4574-82.
- Vinatoru, M., 2001. An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics Sonochemistry* 8, 303–313. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(01\)00071-2](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(01)00071-2)
- Wüthrich B, Schmid-Grendelmeyer P, Lundberg M. 1997 Anaphylaxis to saffron. *Allergy*.52:476-7.



Références bibliographique

- Yeh, G.Y., Eisenberg, D.M., Kaptchuk, T.J., Phillips, R.S., 2003. Systematic Review of Herbs and Dietary Supplements for Glycemic Control in Diabetes. *Diabetes Care* 26, 1277–1294. <https://doi.org/10.2337/diacare.26.4.1277>



Références bibliographique

iphvomhpxy24ec3tb68va6onkekupypwtn4328qy3twbu9hhe&h=AT1AohDDgqP-
8fvghmm5gb-
Zkv2QXUFzMA5VoGfZ5AvHbaoqka0nfy20v80DqmALZrd8oocWDu2feOswgrfPOj2fjI
uPTM2SS9RXgoWEiidA359BQ9r0UxH4p0p2GRsCP7n5wEg