

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université ABOU BEKR BELKAID –TLEMCEM–

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de
l'Univers



Département de Biologie

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences alimentaires

Option : Biologie de la Nutrition

Thème :

Méthodes d'extractions des colorants naturels et recherche
d'activités biologiques à partir de *Curcuma longa*
L. (synthèse des articles)

Présenté par :

M^{me} BOUANANI Saloua

Soutenu le 29-06-2022 devant les membres de jury :

Présidente :	Mme LOUKIDI Bouchra	Pr	Univ. Tlemcen
Encadreur :	Mr. AZZI Rachid	Pr	Univ. Tlemcen
Examineur:	Mr. CHAOUCHE Mohammed Tarik	MCA	Univ. Tlemcen

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

الْحَمْدُ لِلَّهِ
الَّذِي بِنِعْمَتِهِ تَتِمُّ الصَّالِحَاتُ

J'exprime mes louanges à dieu – الله - le tout puissant pour m'avoir permis d'accomplir ce travail.

*Je tiens à remercier infiniment **Pr AZZI Rachid** d'avoir accepté d'encadrer ce travail, pour ses encouragements et ses discussions scientifiques enrichissantes, ainsi pour ses conseils et orientation pour le bien de ce travail.*

Je remercie tous les membres du jury pour leur présence et leur point de vue sur mon travail. Veuillez d'accepter dans l'expression du grand respect que je vous témoigne.

*Je remercie le Professeur **Mme LOUKIDI Bouchra** pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider ce jury.*

*Je remercie sincèrement **Docteur CHAOUCHE Mohammed Tarik** d'avoir accepté de juger ce travail.*

Les remerciements de ce travail sont adressés aussi aux enseignants qui ont participé à ma formation durant le cursus du Master.

Je veux remercier chaleureusement mes collègues de promo et surtout Khadîdja Bouanani qui m'a soutenue et m'encouragé, Heureusement que vous être là ! et aussi ma chère ami Abbou Zoubida.

*Je ne peux poursuivre dans cette voie sans remercier **Docteur NACEUR Djilali** Institute of Translation University of Oran 1 Ahmed Ben Bella Oran, pour l'aide précieuse qu'il m'a apportée dans la conception de ce travail*

J'exprime mes profonds remerciements à ma famille (surtout ma sœur Souad) qui m'a permis de progresser dans ces études. Merci beaucoup pour tout.

Liste des Tableaux

Tableau1 : Les différents colorants organiques de synthèse

Tableau 2 : principaux groupes chromophores et auxochromes

Tableau3 : Systématique *du Curcuma longa L*

Le tableau 4 : la composition nutritionnelle pour 100g de curcuma et pour 3g, ce qui équivaut à une portion par personne.

Tableau 5 : La composition chimique de *Curcuma longa*

Tableau 6 : Les pigments curcuminoïdes responsables de la couleur jaune foncée du curcuma

Tableau7 : Principaux effets thérapeutiques de Curcuminoïdes

Tableau 8 : les différents techniques d'extraction des Curcuminoïdes dans les publications traitées.

Liste des Figures

Figure1 : Oxyde de fer rouge

Figure2 : Minium de plombe (2PbO.PbO₂)

Figure3 : La femelle du cochenille (*Dactylopius coccus*) donne l'acide carminique (colorant rouge)

Figure4 : La pourpre est issue d'un liquide jaune fermenté provenant d'une glande extraite d'un mollusque. C'est un colorant noble.

Figure5 : Le bleu pastel est issu d'une plante, le pastel (*Isatis tinctoria*).

Figure6 : pigment, l'indigo, tiré de l'indigotier (*Indigofera tinctoria*)

Figure7 : La garance est issue d'une plante herbacée (*Rubra tinctorum*).

Figure8 : Exemples des groupes chromophores et auxochromes des colorants de types azoïques et anthraquinones :

Figure 9 : Répartition du genre curcuma L. dans le monde.

Figure 10 : Différentes parties de la plante curcuma (*Curcuma longa* L.)

Figure 11 : Forme énol de la Curcumine

Figure 12 : Forme céto de la Curcumine

Figure 13 : Structure de la dihydrocurcumine (1, 7-bis-(4-hydroxy-3- méthoxyphényl)-1-héptène-3,5 diane)

Figure 14 : Structure chimique du zingiberène (A), de l'ar-turmérone (B), de l' α -curcumène (C), de l' α -bisabolène (D) et du β -sesquiphelandrène (E)

Figure 15 : Nombre de publications se rapportant à la curcumine par année selon la base de données en ligne PubMed®

Figure 16 : Présentation schématique de l'extraction et de l'isolement de la curcumine avec différentes techniques d'extraction Couplées à une technique analytique d'identification et de quantification.

Liste d'abréviations

JC : Jésus Christ

DIN : (Deutsches Institut für Normung) Institut allemand de normalisation.

pH : Potentiel hydrogène.

Cu : Cuivre est l'élément chimique de numéro atomique 29.

Ni : Nickel est l'élément chimique de numéro atomique 28.

Co : Cobalt est l'élément chimique de numéro atomique 27.

Pt : Platine est l'élément chimique de numéro atomique 78.

USDA : U.S. Department of Agriculture

FDA : (Food and Drug Administration)

GRAS : (Generally Regarded as Safe, GRAS)

LDL : lipoprotéine de basse densité

NF- κ B : nuclear factor-kappa B est une protéine de la superfamille des facteurs de transcription impliquée dans la réponse immunitaire.

FDA : (Food and drug administration) L'administration américaine des denrées alimentaires et des médicaments.

GRAS : generally recognized as safe.

NADES : Natural Deep Eutectic Solvant.

MAE : Extraction assisté par micro-onde.

HCWE : Extraction chaude comprimé.

UAE : Extraction assistée par ultrason.

HPLC : (high performance liquid chromatography) chromatographie à haute performance.

RP-HPLC : (reverse phase – high performance liquid chromatography) HPLC en phase inverse.

Ultra HPLC : (Ultra-High-Performance Liquid Chromatography) La chromatographie liquide UHPLC, ultra haute performance.

MS : Spectromètre de Masse.

(DPPH) : dosage de piégeage des radicaux 2,2-diphényl-1 picrylhydrazyle.

(FRAP) : dosage Ferrique du pouvoir antioxydant réducteur d'ions et 2,20-azinobis(3-éthylbenzothiazoline-6-acide sulfonique).

(ABTS) : dosage de piégeage des radicaux. Les échantillons ont été préparés en dissolvant.

Ag : Argent est l'élément chimique de numéro atomique 47.

Au : Or est l'élément chimique de numéro atomique 79.

NP : Nanoparticule.

Th1 et Th2 : sous population de lymphocytes (Th1 : LT auxiliaire de la réponse immunitaire cellulaire et Th2 : auxiliaire de la réponse immunitaire humoral)

AGS : Acide gras saturé

AGPI : acide gras polyinsaturé.

AGMI : acide gras monoinsaturé.

الملخص

جذبت الألوان الإنسان منذ وجوده على الأرض، وخاصة تلك التي هي من أصل نباتي، حيث وجدت الألوان مكانها في العديد من المجالات مثل فن الطهي؛ صناعة المواد الغذائية، الطب، وفي مستحضرات التجميل. ولهذا السبب فقد جذب الكركم الانتباه ليس فقط من خلال لونه الأصفر المشرق ولكن أيضًا من خلال الخصائص البيولوجية التي يحتوي عليها والتي هي موضوع العديد من الأبحاث.

اعتمدنا في هذا العمل على تقييم الطرق المختلفة لاستخراج الأصباغ الطبيعية للكركم والبحث عن الأنشطة البيولوجية له. واعتمدنا في ذلك على قراءة 12 دراسة تم اختيارها عشوائيًا من قواعد بيانات مختلفة مثل PubMed و ELSEVIER و MOLECULES ، إلخ...

أظهر عملنا حالة البحث في الوقت الراهن في مجال دراسة الكركم والمنهجيات المختلفة المستخدمة لاستخراج وعزل وتقدير هذه المركبات النشطة. ولقد لاحظنا أن طريقتي Soxhlet و HPLC هما الأكثر استخدامًا، ويرجع ذلك إلى التكلفة المنخفضة وسهولة استخدامهما.

لقد وجدنا أيضًا أن كركم لونجا له تأثيرات علاجية مثيرة للاهتمام ضد أمراض مختلفة مثل السرطانات والإجهاد التأكسدي والالتهابات والفيروسات المختلفة مثل كوفيد 19.

توصلت بعض المنشورات وجود علاقة قوية بين الكركم والأغذية الوظيفية. وعند إضافته إلى الطعام، فإن الكركم يقوي المناعة ويساعد الجسم على محاربة مسببات الأمراض المختلفة.

في النهاية تستحق هذه النتائج التي تم الحصول عليها أن تكون مصحوبة بعمل تجريبي إضافي من أجل الاستفادة من هذا النبات قدر الإمكان.

Résumé

La couleur a toujours attiré l'homme depuis son apparition sur terre, et bien souvent celle d'origine de certaines plantes a trouvé sa place dans plusieurs domaines telle que la gastronomie, l'industrie alimentaire, la médecine, et la cosmétique. C'est pour cette raison que le Curcuma a attiré l'attention, non seulement par sa couleur jaune vive, mais aussi par les propriétés biologiques qu'il renferme, et qui sont l'objet de plusieurs recherches.

Dans ce travail nous nous sommes intéressés à évaluer les différentes méthodes d'extraction des colorants naturels et la recherche des activités biologiques du Curcuma. Il est basé sur une lecture de 12 publications choisies au hasard à partir de différentes bases de données comme PubMed, ELSEVIER, MOLECULES, etc....

Notre synthèse a montré les mises à jour de la recherche actuelle dans le domaine d'étude du Curcuma et des différentes méthodologies utilisées pour l'extraction, l'isolement et la quantification de ces composés actifs. Nous avons noté que la méthode de Soxhlet et HPLC restent les plus utilisées, et cela est dû au faible coût de cette méthode et ses processus simple. Nous avons constaté aussi que le *Curcuma Longa* possède des effets thérapeutiques intéressants contre différentes maladies telles que les cancers, le stress oxydatif, l'inflammation, et les différents virus telle que COVID-19.

Certaines publications ont décrit l'existence d'une relation intense du Curcuma avec les aliments fonctionnels. Une fois ajouté aux aliments, le Curcuma renforce l'immunité et aide le corps à lutter contre divers pathogènes.

En fin, ces résultats obtenus méritent d'être accompagnés par des travaux expérimentaux complémentaires afin de bénéficier de cette plante le maximum.

Abstract

Colour has always attracted man since he appeared on earth. This attraction made him use some plants' colour in several fields such as gastronomy, food industry, medicine, and cosmetics. That is why Turmeric attracts attention not only by its bright yellow colour, but also by its biological properties, which are the subject of many research.

In this dissertation, I am interested in evaluating the different methods of extraction of natural dyes and the search for the biological activities of Turmeric. It is based on reading of 12 publications chosen randomly from different databases such as PubMed, ELSEVIER, MOLECULES, etc....

The synthesis showed the updates of the current research in the field of study of Turmeric and the various methodologies used for the extraction, the isolation and the quantification of these active compounds. We have noted that the Soxhlet method and HPLC remain the most widely used, and this is due to the low cost of this method and its simple process. I have also found that *Curcuma Longa* has interesting therapeutic effects against different diseases such as cancers, oxidative stress, inflammation, and different viruses such as COVID-19.

Some publications have described the existence of an intense relationship of Turmeric with functional foods. When added to food, Turmeric boosts immunity and helps the body fight against various pathogens.

In the end, I have to emphasize that the results obtained deserve to be accompanied by additional experimental work in order to benefit from this plant as much as possible.

Table de Matières

Remerciements	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Résumés	
Introduction	01
<u>Première partie : Synthèse bibliographique</u>	
<u>Chapitre I : Colorants</u>	
I- Colorant.....	04
1- Historique des colorants	04
2- Définitions	04
2.1. Définition de la substance colorante	04
2.2. Définition du colorant	05
2.3. Définition du pigment	05
3- Les grandes classes des colorants.....	05
3-1- les colorants naturels :.....	05
A- Les colorants naturels d'origine minérale.....	06
B- Les colorants naturels d'origine Animale	06
C- Les colorants naturels d'origine végétale :.....	07
3-2- les colorants de synthétiques :.....	07
3-2-2- Les colorants artificiels.....	07
3-2-3- Les colorants de synthèse.....	07
3-2-4- La classification des colorants de synthèses	08
A- Classification chimique :.....	08
B- Classification par domaine d'application :.....	11
4- La lumière et la matière :.....	11

4-2 Les substances responsables de la couleur :.....	12
A- chromophore :.....	12
B- Les Auxochromes :.....	13
5- Application :.....	15
<u>Première partie :</u>	
<u>Chapitre 2 : Plante étudiée : Curcuma Longa L</u>	
1- Etymologie et historique de la plante	18
2- Taxonomie	19
3- Nom vernaculaire :	20
4- Description botanique	20
5- Période de cueillette.....	22
6- La valeur nutritionnelle et composition chimique :.....	22
7- La composition chimique	24
7-1- Les composés phénoliques.....	24
7-2- Huile essentielle.....	27
7-3- L'oléoresine	28
8-Domains d'utilisation du Curcuma	28
8-1 Industrie alimentaire.....	28
8-2 Utilisations médicales	28
8-3 Utilisations en cosmétique	31

Deuxième partie : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Analyse d'articles publiés sur Curcuma longa L

1-	Introduction	
2-	Résultats d'analyses et Discussion	33
2-1-	L'origine de la plante Curcuma Longa :.....	35
2-2-	L'extraction de la Curcumine	37
2-3-	L'identification de la Curcumine	37
2-4-	Activités biologiques de la Curcumine	38
	➤ Produit à base de céréale	41
	➤ Produits laitier	42
	➤ Les produits à base de viande et de fruits et légumes	42
3-	Conclusion.....	42
4-	Bibliographie.....	45

INTRODUCTION
GENERALE

Les relations qui unissent les plantes et l'être humain sont complexes. Ces liens très forts et les équilibres qui en découlent - qui sont indispensables à la vie sur terre- sont mis en place au cours de l'histoire de la vie de l'être humain.

L'homme façonne les plantes en les domestiquant, les sélectionnant et les cultivant non seulement pour maintenir son équilibre mais aussi pour soulager les souffrances, et soigner les maladies qui nuisent à sa santé (**Chable et Delmond, 2009**).

Les épices font partie des plantes médicinales cultivées et connues pour leurs effets bénéfiques sur la santé humaine grâce à leurs constituants à activités biologiques. Le *Curcuma longa* est une de ces épices. C'est une plante herbacée vivace de la famille de **Zingibéracées** utilisée au cours des siècles pour la cuisine comme additif alimentaire pour améliorer le goût, donner de la couleur, apporter des nutriments essentiels et aussi pour ces intérêts dans la thérapie et dans l'industrie alimentaire et cosmétique.

L'importance du curcuma a changé considérablement depuis la découverte de l'importance de ses constituants (**Loap , 2007**). De ce fait, la recherche sur la Curcumine, qui est le constituant majeur, est devenue l'un des sujets de prédiction de toutes les branches de la chimie y compris la chimie organique ; inorganique ; physique et analytique. (**Kavirayani, 2014**). Tous ces intérêts sur le Curcuma et la Curcumine ont un but d'avoir de l'espoir de traiter de nombreuses maladies.

Ce travail propose une synthèse réalisée sur la composition chimique des colorants extraits du *Curcuma Longa* et leurs activités biologiques. Il s'organise en 2 parties : partie bibliographique et partie d'analyse d'articles publiés sur ce sujet.

Le travail bibliographique d'écrit dans son 1^{er} chapitre l'histoire des colorants et l'explication de la notion couleur et pigment, ainsi que l'exploration des différentes classes des colorants et leurs relations avec les groupements structuraux responsables de la couleur. Le 2^{ème} chapitre décrit la plante *Curcuma Longa* et ses bénéfices pour la santé humaine en montrant la composition chimique de cette plante et les constituants principales douées d'activités biologiques, ainsi que leurs actions dans le corps humain, sans oublier les différents domaines d'utilisation de la plante et les principaux effets thérapeutiques des Curcuminoides.

Concernant la partie pratique et suite à des mesures préventives recommandés contre le Coronavirus (COVID19), la partie pratique du notre travail a été limité et orienté vers l'étude des dernières publications concernant le Curcuma et la Curcumine, décrites principalement les différents méthodes d'extraction ; de purification et de quantification.

Après la collecte des publications récentes concernant ce sujet aux différentes bases de données, nous avons analysé ces articles en suivant une stratégie basée d'extraire les informations concernant l'origine de la plante étudiée ; les méthodes d'extractions utilisées pour l'obtention des molécules actives ; ainsi que ces activités biologiques.

Partie 1 :
Étude
Bibliographique

I- Colorants

I-1- Historique des colorants

Depuis qu'il existe sur terre, l'homme a réalisé des dessins et des peintures afin de représenter ses expressions, ses sentiments, et le monde dans lequel il vit. Ces premières touches de l'art préhistorique de la peinture rupestre ont été découvertes, entre autres, dans les grottes de Lascaux-Dordogne en France, datant de 15 000 ans avant Jésus-Christ (J.C), dans celles d'Altamira en Espagne datant du Magdalénien (12^{ème} et 13^{ème} siècles avant (J.C) (**Moussa, 2019**)(Souheyla, 2010), et dans le vaste musée de peinture préhistorique du Tassili n'Ajjer en Algérie datant du Néolithique (8^{ème} siècle avant J.C. et 2^{ème} siècle après J.C.). (**Layati, 2020**)

La peinture, c'est la première écriture du monde. L'homme préhistorique a employé ses dessins grâce à des pigments minéraux tel que des terres d'ocre, des argiles rouges et jaunes, oxydes de fer et de la craie. Il a utilisé également des pigments à base de carbone tel que le noir d'os calcinés, et le noir de charbon de bois. (**Moussa, 2019**)

Les égyptiens, puis les phéniciens et les Grecs, commencèrent à broyer des pierres dures. Ils inventèrent le bleu et le vert Egyptien, le blanc de céruse, le rouge de saturne ou Minium et le jaune issu d'un oxyde de plomb (**Walter, 2019**).

Le moyen-Age voit se généraliser l'utilisation de nombreux pigments minéraux que l'on retrouve dans les fresques, les peintures religieuses sur bois, les enduits, les pierres, les manuscrits et les enluminures.

Jusqu'à la moitié du 19^{ème} siècle, les colorants appliqués sont tous des composés naturels, extraits de substances minérales (sels de cobalt, de fer, de manganèse...), végétales (pastel, safran, alizarine, indigo...) ou animales (cochenille, gale du Kermès, murexide) (**Chast, 2005**).

Cette époque est caractérisée par des démarches scientifiques qui ont permis d'élargir la gamme des pigments disponibles grâce à la chimie organique qui a permis la création de pigments organiques de synthèse (composé du carbone); et grâce aussi à la chimie du pétrole qui est responsable de l'arrivée de fines nuances pigmentaires. (**Walter, 2019**)

I-2- Définitions

I.2.1. Définition de la substance colorante

« Une substance est dite colorante, naturelle ou synthétique, lorsqu'elle est mise en contact avec le milieu dans lequel elle est introduite, dans des conditions appropriées, et le colore en s'y

dissolvant et/ou dispersant, de façon durable en lui communiquant une certaine couleur ». (Claude., 2005) ; (larousse.fr, 2021)

Les matières colorantes se divisent en deux grands groupes (colorant, pigment) définis par la norme DIN 55944 (nov. 1973. Matières colorantes ; classification)

I.2.2. Définition du colorant

Un colorant est une molécule soluble dans le milieu qu'elle colore. Elle est absorbée par le support et s'unit chimiquement aux molécules qu'elle colore. Ainsi, elle se mélange à la couleur initiale (Bouanimba, 2014).

I.2.3. Définition du pigment

Un pigment est une substance finement divisée colorée ou incolore. Il est insoluble dans le liant au moyen duquel il est appliqué. Il donne la couleur et contribue souvent à la protection de l'objet ainsi revêtu.

Le pigment est mis en évidence par filtration. Par contre, le colorant est mis en évidence par extraction (Henzi, 1991).

I-3- Les grandes classes des colorants

On trouve de diverses classifications qui concernent les colorants (en fonction de la solubilité, la structure, la nature, l'application...) ; mais la classification en fonction de l'origine reste la plus importante. On distingue deux grandes familles de colorants : *les colorants naturels* (extraits de matières minérales ou organiques) et *les colorants synthétiques* issus de la synthèse chimique (Moussa, 2019).

I-3-1- les colorants naturels :

Ce sont des substances qui, contrairement aux colorants de synthèse, ne contiennent aucun produit à base de pétrole (Moussa, 2019), car la quasi-totalité des colorants provient de la pétrochimie.

Les colorants provenaient de sources tinctoriales d'origine végétale (gaude, garance, indigo, etc.) ou animale (cochenille, pourpre des coquillages, etc.) ou minérale (l'azurite, le lapis-lazuli, la malachite, etc.).

Malgré le fait que les colorants naturels ont un avantage d'être généralement sans danger pour la santé humaine, leurs stabilités et leurs coûts de production élevés demeurent le côté négatif

de leurs utilisations. Mais on trouve ces dernières années -et à causes de soucis et préoccupations de consommateurs envers les colorants- des approches qui permettent dans certains cas d'améliorer la stabilité des colorants naturels. (Moussa, 2019).

A- Les colorants naturels d'origine minérale

Ce sont soit des terres naturelles soit des composés minéraux.

Les terres naturelles comprennent les craies ou encore les ocre. Les ocre proviennent de gisements de sable ocreux (Fig.1 et 2) (Souheyla, 2010)

	
<p>Fig.1 Oxyde de fer rouge</p>	<p>Fig.2 Minium de plomb (2PbO.PbO_2)</p>

B- Les colorants naturels d'origine Animale

Les colorants d'origine animale ne représentent pas un grand choix de couleurs. La Fig.3 et Fig.4 représentent quelques exemples :

	
<p>Fig.3 La femelle du cochenille (<i>Dactylopius coccus</i>) donne l'acide carminique (colorant rouge)</p>	<p>Fig.4 La pourpre est issue d'un liquide jaune fermenté provenant d'une glande extraite d'un mollusque. C'est un colorant noble.</p>

C- Les colorants naturels d'origine végétale :

Ils sont très nombreux et les couleurs disponibles sont très variées. Leurs structures organiques les rendent souvent peu stables dans le temps.

La Fig.5, 6 et 7 représentent quelques exemples :



Fig.5 Le bleu pastel est issu d'une plante, le pastel (*Isthis tinctoria*).



Fig.6 pigment, l'indigo, tiré de l'indigotier (*Indigofera tinctoria*)



Fig.7 La garance est issue d'une plante herbacée (*Rubra tinctorum*).

- **Les caroténoïdes** sont des composés poly-isopreniques de couleur orange, rouge, jaune présents dans certains végétaux, comme le carotène (carotte), le lycopène (tomate) et la xanthophylle sont les plus connus. Ces composés sont solubles dans les huiles (CUQ, 2014).
- **Les chlorophylles** sont des composés présents dans les végétaux à l'origine de la transformation de l'énergie "solaire" en énergie chimique". Elles sont de couleur verte ou bleue selon leurs structures. (CUQ, 2014)

I-3-2- les colorants de synthétiques :

L'industrie des matières colorantes est née en Angleterre en 1856 avec la découverte du chimiste **William Henry Perkin** (1838-1907) qui a synthétisé la mauvéine, premier colorant violet.(Chast, 2005), Par la suite, une quantité importante de colorants est utilisée par différentes industries (alimentaire, pharmaceutique, cosmétique...) (Chevallier, 2016).

Les colorants de synthèses existent en deux sortes :

- **les colorants artificiels** dont l'équivalent en termes de structure chimique n'existe pas dans la nature. C'est la classe de colorants la plus utilisée, et sans doute la plus dangereuse (Šuleková, 2017).

- **les colorants de synthèse** identiques aux colorants naturels : ce sont des imitations de colorants naturels. Théoriquement, ils sont sans danger pour la santé, mais pratiquement – en

utilisant des solvants souvent toxiques pour les fabriquer- peuvent devenir un danger potentiel (Šuleková, 2017).

I-3-2-1- La classification des colorants de synthèses :

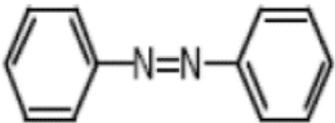
Les colorants de synthèse sont classifiés par rapport aux *structures chimiques* (la nature des groupements chromophores et auxochromes) (tableau 1), ou selon *les méthodes d'applications*. Cette classification est la plus rencontrée dans les différentes industries (Bouanimba, 2014).

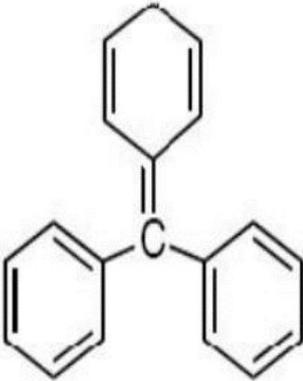
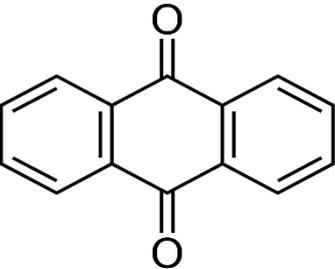
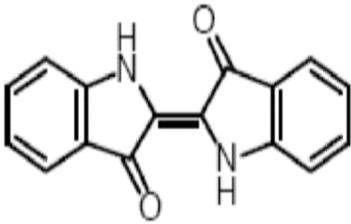
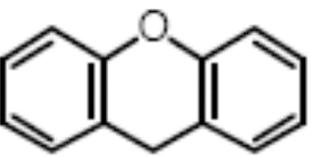
A- Classification chimique :

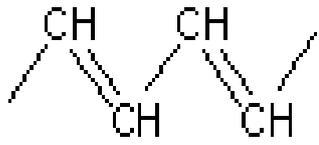
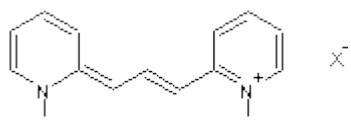
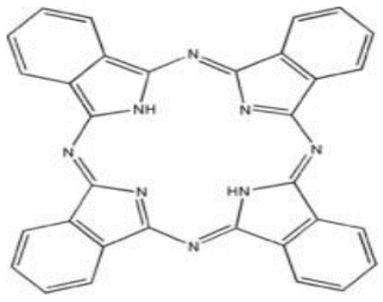
La classification des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature des groupes (chromophore et auxochrome) qui sont responsables de l'absorption d'un colorants (CUQ, 2014). Ces deux (02) notions seront détaillées dans **la partie** : « La lumière et la matière. »

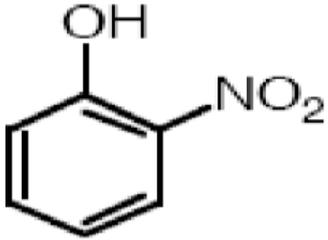
Le **tableau 1** résume les différents colorants organiques de synthèse.

Tableau 1 : Les différents colorants organiques de synthèse :

Colorant	L'utilisation	Structure
<p>a- Les colorants azoïques : caractérisés par le groupe fonctionnel azo (-N=N-) unissant deux groupements alkyles ou aryles identiques ou non (azoïque symétrique et dissymétrique). (Hammami, 2008.). Ces structures qui reposent généralement sur le squelette de l'azobenzène, sont des systèmes aromatiques ou pseudo-aromatiques liés par un groupe chromophore azo (-N=N-). (Hammami, 2008.) (Boudia, 2021)</p>	<p>Utilisés pour leurs propriétés antiseptiques sur le Staphylocoque et le bacille typhique, mais également pour leurs vertus cicatrisantes. Le bleu de trypan était proposé dans les trypanosomiasés, les cancers et la maladie de Parkinson.(Chevallier, 2016)</p>	

<p>b- Dérivés du triarylméthane</p> <p>constituent une famille de composés organiques synthétiques très fortement colorés caractérisés par la présence du triphénylméthane qui est un hydrocarbure qui possède trois cycles phényle liés à un carbone central. (Moussa, 2019)(Hammami., 2008.)</p>	<p>Utilisés intensivement dans les industries papetières et textiles, et comme colorant dans les médicaments et dans les denrées alimentaires, mais aussi dans le domaine médical comme marqueur biologique et comme agent antifongique, et notamment comme indicateur de pH (pour la plupart) car ils ont cette faculté à réagir de manière réversible avec les acides et les bases. (Moussa, 2019)</p>	
<p>c- Les colorants anthraquinoniques :</p> <p>Jouent un rôle important dans le domaine des colorants synthétiques. Ils sont les plus importants après les colorants azoïques</p>	<p>Utilisée dans :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la fabrication des teintures. - fabrication industrielle de pâte à papier. - application médicale comme laxatif. 	
<p>d- Les colorants indigoïdes :</p> <p>dérivent de l'indigo qui est l'un des plus anciens colorants connus, déjà utilisé par les Égyptiens il y a quelques milliers d'années.</p>	<p>Utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans des diagnostics médicales.</p>	
<p>e- Les colorants xanthènes</p> <p>Les colorants xanthènes sont des composés qui constituent les dérivés de la fluorescéine halogénée. Ils sont dotés d'une intense fluorescence.</p>	<p>-utilisés comme colorant en alimentaire, cosmétique, textile et impression.</p> <p>-présentent une large gamme d'activités pharmaceutiques et biologiques, telles que les propriétés antimicrobiennes.</p> <p>-peuvent également être utilisés dans la biologie moléculaire et dans la</p>	

	préparation de colorants lasers stables, la thérapie photodynamique, antiprolifératives, antibactériennes, antivirales et antinociceptives, -activité antioxydante.	
<p>f- Les colorants polyméthiniques :</p> <p>-sont des composés formés d'une série de groupements méthine =CH- reliés en une chaîne de doubles liaisons conjuguées.</p> <p>Cette classe de colorants couvre une variété importante de structures dont le point commun réside dans la présence de groupements hétérocycliques, donneurs et accepteurs d'électrons aux extrémités d'une chaîne polyméthinique. Parmi ces colorants, les plus connus sont vrais emblablement les <u>cyanines</u>, (Daniel FUES)</p>	<p>-Teinture</p> <p>-Sensibilisation des émulsions photographiques</p> <p>- Cellules photovoltaïques organiques</p> <p>- Enregistrement sur disque</p> <p>- Suivi de molécules organiques in-vivo</p> <p>- Thérapie photodynamique</p> <p>(BARON)</p>	 
<p>g- les colorants phtalocyanéniques:</p> <p>Les phtalocyanines ont une structure complexe possédant un atome métallique central. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, ect).</p>	<p>Cosmétique -> Colorant cosmétique.</p> <p>Utilisé Comme phtosensibilisateur pour la thérapie photodynamique (PDT).</p>	

<p>h- Les colorants nitrés et nitrosés :</p> <p>forment une classe de colorants très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO₂) en position ortho d'un groupement électro-donneur (hydroxyle ou groupes aminés).</p>	<p>sont rarement utilisés tels quels. Leur principale application réside dans leur réduction en dérivés de l'aniline pour la production de colorants, de pigments, d'insecticides, de textiles, de matières plastiques, de résines, d'élastomères (polyuréthanes), de produits pharmaceutiques, de régulateurs de la croissance végétale, d'additifs pour carburants, d'accélérateurs de vulcanisation et d'antioxydants.</p>	
---	---	---

B- Classification par domaine d'application :

Contrairement à la classification chimique des colorants qui repose sur la nature du groupe chromophore, la classification tinctoriale est définie par les auxochromes (Claude., 2005). Selon les différents types de liaisons colorant/substrat (liaison ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente), on distingue différentes catégories tinctoriales comme les colorants acides, basiques, azoïques insolubles, de cuve.... (Djebar, 2019)

I-4- La lumière et la matière :

La couleur n'existe pas en tant que telle. C'est seulement dans notre cerveau qu'elle se construit. C'est un phénomène complexe qui fait intervenir quatre acteurs inséparables qui sont la lumière, la matière, l'œil et le cerveau de l'observateur. L'œil capte les rayons lumineux en provenance de la surface et des surfaces environnantes et notre cerveau interprète ensuite le message qui lui parvient (Kacha., 2009) ; (Souheyla, 2010)

La couleur qui apparaisse par l'éclairage d'un objet par la lumière blanche peut être due à celle de la lumière réfléchiée ou celle de la lumière absorbée.

L'absorption de la lumière peut avoir deux origines distinctes : Elle peut être due à la structure physique de la surface ou résultant de la nature chimique des composants. (Bouthier, Lafont , consulté le 19 février 2022.)

I-4-2 Les substances responsables de la couleur :

Depuis qu'il y a des colorants, les savants se sont posé la question de savoir pourquoi la plupart des corps sont blancs, et pourquoi certains seulement sont colorés.

Le chimiste allemand *Otto Nicklaus Witt* a expliqué en 1876 sa théorie basée sur l'existence de certains groupes atomiques favorisant l'absorption de la lumière de certaines longueurs d'onde (absorption sélective) et ainsi donner une Couleur. Witt a constaté que les substances colorées renferment toutes un groupement insaturé caractéristique auquel il donne l'appellation de "chromophore", et de groupes ionisables appelés **auxochromes** dans la molécule du colorant Fig.8. L'ensemble des deux groupes {chromophore et auxochrome} est appelé chromogène. L'existence de ces deux groupes conditionne l'obtention d'un colorant. (Souheyla, 2010) (CUQ, 2014).

Autrement dit, les chromogènes sont des systèmes comportant un nombre suffisant de doubles liaisons conjuguées où les électrons sont délocalisés, associés à des donneurs et à des accepteurs d'électrons : les auxochromes. www.universalise.fr/encyclopedie/colorants.

Tableau 2 : principaux groupes chromophores et auxochromes. (Bouanimba, 2014)

Groupement chromophores	Groupement auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (-NO ou -N=OH)	Méthylamino (-NHCH ₃)
Carbonyl (>C=O)	Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂)
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)
Nitro (-NO ₂ ou =NO-OH)	Alkoxy (-OR)
Sulphure (>C=S)	Groupement donneurs d'électron

I-4-2-1 chromophore :

Groupe d'atomes capable d'absorber certaines radiations lumineuses autour d'une longueur d'onde appelée λ_{\max} en donnant de la couleur à un composé organique Fig.8. (La chlorophylle [verte], le bêta-carotène [orange] ou l'hémoglobine [rouge] doivent leur couleur à leur chromophore.) (larousse.fr, 2021).

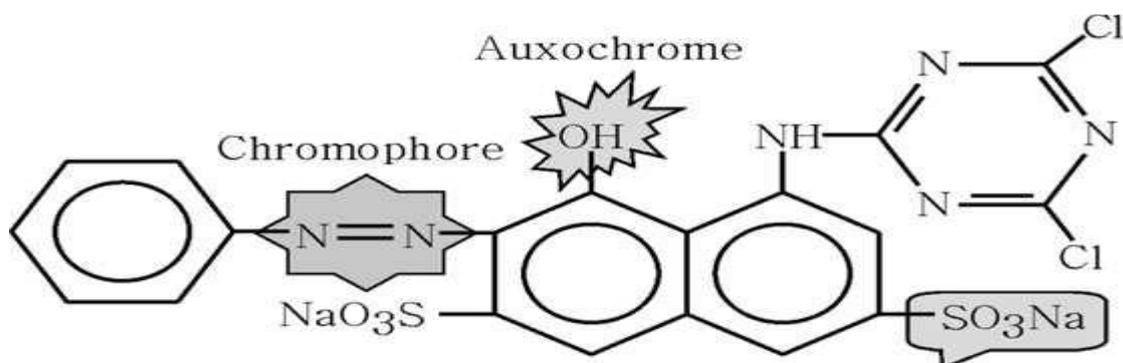
Les chromophores des molécules organiques sont composés de systèmes de liaisons conjuguées carbonées (c'est-à-dire la présence d'une alternance de liaisons doubles et de liaisons simples concernant des atomes de carbone, sans discontinuité dans sa structure). **Tableau1.**

I-4-2-2- Les Auxochromes :

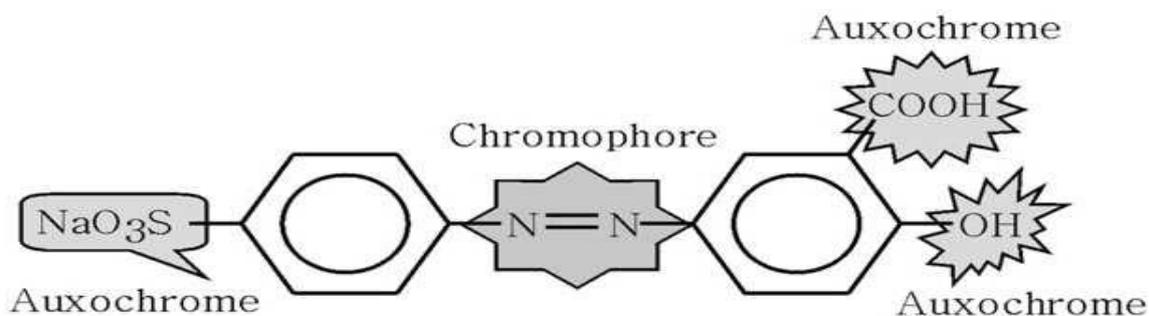
Les Auxochromes sont le plus souvent des groupes d'atomes ionisables acides ou basiques qui influencent la longueur d'onde absorbée par un chromophore ainsi que la valeur de son absorbance Fig8. Ils permettent d'assurer la solubilité dans l'eau et de créer une liaison plus ou moins entre le colorant et le substrat (l'objet à coloré) (**Bouanimba, 2014**).

La figure 8 représente des exemples sur des groupements chromophore et auxochrome de types azoïques et antraquinones.

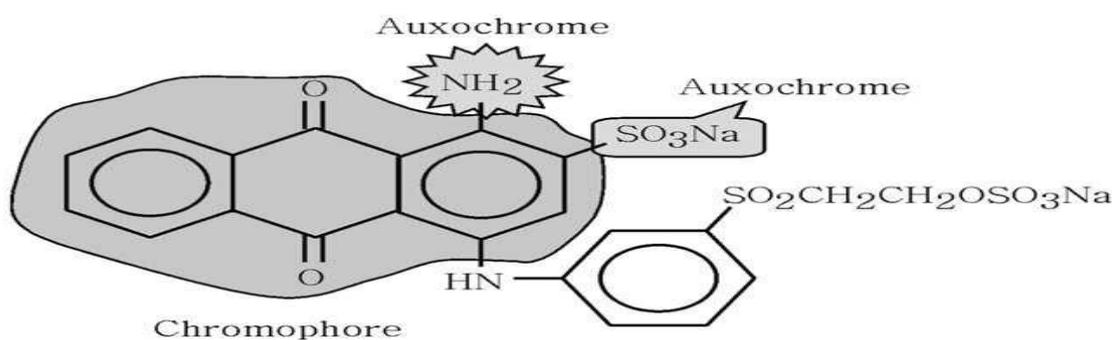
Fig. 8 : Exemples des groupes chromophores et auxochromes des colorants de types azoïques et anthraquinones



Colorant azoïque Rouge réactif



Colorant azoïque Jaune mordant



Colorant anthraquinone Bleue de réactif

5- Application :

Après la découverte de Perkin qui a marqué la naissance de l'industrie chimique organique et après le développement de cette dernière au début du 20^{ème} siècle, une véritable démarche scientifique a été conduite pour élargir la gamme des pigments disponibles conduisant à la création de l'industrie des matières colorantes synthétiques et artificielles. **(Guyot, 2010)**

Aujourd'hui, l'industrie des colorants constitue un marché économique considérable. Les colorants sont employés dans de nombreux domaines, principalement pour l'impression et la teinture des fibres textiles, papiers, cuirs, fourrures, bois, matières plastiques et élastomères. Ils servent aussi à préparer des peintures, encres d'imprimerie et vernis, etc. **(Moussa, 2019)**.

La coloration de différentes matières a permis de modifier certaines caractéristiques dans le but de répondre à des besoins d'esthétisme, de repérage, et de sécurité. Elle participe à la mise en valeur d'un objet et à l'amélioration de son aspect.

Dans le domaine alimentaire la couleur est la principale caractéristique de tout produit car elle améliore l'attrait et l'acceptabilité des aliments. Durant le traitement de cette dernière, une quantité substantielle de couleur est perdue et rend tout produit alimentaire attrayant pour les consommateurs ; donc des colorants synthétiques ou naturels sont ajoutés ((Heiplanmi et al., 2011 ; Guyot, 2010, Souheyla, 2010) avec un usage réglementé par une législation stricte et rigoureuse.

Dans le domaine médical l'emploi des colorants dans la formulation des médicaments n'a réellement débuté que dans les années 60, et grâce aux nombreuses avancées technologiques la majorité des médicaments commercialisés actuellement sont colorés **(Moussa, 2019)**. L'ajout de colorants peut jouer un rôle important pour la santé humaine, car ils contiennent des composés actifs qui possèdent un certain nombre de propriétés pharmacologiques comme un puissant antioxydant, antimutagène, anti-inflammatoire et antiarthritique. **(Heiplanmi et al, 2011)**.

L'application des colorants dans la biologie a donné de grands résultats dans le domaine thérapeutique et diagnostique. Grâce aux colorants, on peut visualiser au microscope la structure des différentes cellules, éléments subcellulaires, structure des tissus, et on peut détecter la présence de certaines molécules.

Les colorants influent sur certains paramètres physico-chimiques. Ils peuvent être utilisés comme des indicateurs afin d'estimer l'activité des solutions. Et au niveau thérapeutique ils

sont employés comme antiseptiques, antiparasitaires (antimalarique), antibactériens, etc.(**Moussa, 2019**).

La couleur joue un rôle prédominant dans la cosmétique. Rouge à lèvres, fard à paupières, poudre de mascara, les crèmes et le maquillage n'ont aucune valeur sans couleur, car la décision d'achat est le résultat de la couleur et de l'emballage d'un produit (**Otterstatter, 1999**).

Aujourd'hui, de nouvelles caractéristiques de colorants et de pigments sont recherchées, telle que l'utilisation des colorants dans des cellules solaires pour fournir de l'énergie et comme photo catalyseurs dans des réactions organiques, combinant deux démarches importantes de la chimie verte pour la transformation de la matière : la catalyse et les réactions photochimiques. (**Walter, 2019**).

Chapitre 2
Plante étudiée :
Curcuma longa

1. Etymologie et historique de la plante

Le terme de curcuma est d'origine irano-indienne. Il dérive du sanscrit *kartouma* qui a donné *kurkum* en persan ancien, *kourkoum* en arabe et *curcuma* en latin (Hombourger, 2010).

En passant dans les langues européennes le « c » du terme *curcuma* se transforme parfois en « k » dans les langues germaniques, à l'exception de l'anglais qui le désigne sous le nom de *turmeric*. C'est grâce à la langue anglaise que l'origine de son appellation en latin médiéval a été conservée, *terra merita* (terre mérite) par le mot "*turmeric*".

De même, son nom chinois *jianghuang*, signifie gingembre jaune, une allusion au fait qu'il est de la même famille botanique que le gingembre et à la remarquable couleur de son rhizome, la couleur jaune intense de ce dernier le fait parfois nommer, bien à tort, *safran cooli* et *safran des Indes* (Karunaratne., 1930 ; Hombourger, 2010).

Il y a 6000 ans « *L'Atharvaveda* » qui est le premier texte Hindou en rapport avec la médecine relate que le curcuma était utilisé pour chasser la jaunisse. Plus récemment, Marco Polo en 1280 retrace le transport du curcuma entre la Chine et l'Inde dans son journal de bord. Pendant ce siècle-là, les commerçants Arabes ont desservi le marché Européen depuis l'Inde (Jourdan, 2017).

Certaines croyances sont liées aux traditions des pays orientaux concernant le curcuma. En Inde, la poudre de curcuma mélangée au beurre chaud sert d'antiseptique pour les petites blessures ; en Thaïlande, il sert d'antidote aux morsures de cobra et repousse les moustiques ; chez les hindous, il est associé à la fertilité. Certaines ethnies lui attribuent des propriétés magiques pour chasser les mauvais esprits ; ainsi, en Malaisie, la mère applique sur le cordon ombilical de son bébé et sur son ventre une pâte de curcuma. Pour les Birmans, il est à l'origine de l'univers ; il sert notamment depuis longtemps comme colorant jaune naturel pour la soie et la laine, pour les robes des bonzes, mais aussi dans les lieux sacrés (Bouzabata et Ziouche , 2016).

Le genre *Curcuma* est répandue presque dans toute l'Asie tropicale, de l'ouest de l'Inde à l'Asie du Sud, le sud Chine, Asie du Sud-Est, Nouvelle-Guinée, nord de l'Australie et îles du Pacifique Sud (Figure 2) (Maknoi, 2006). Mais également au Japon, aux Philippines, au Brésil, à Ceylan, à Java et Haïti. (Grugeau, 1995).

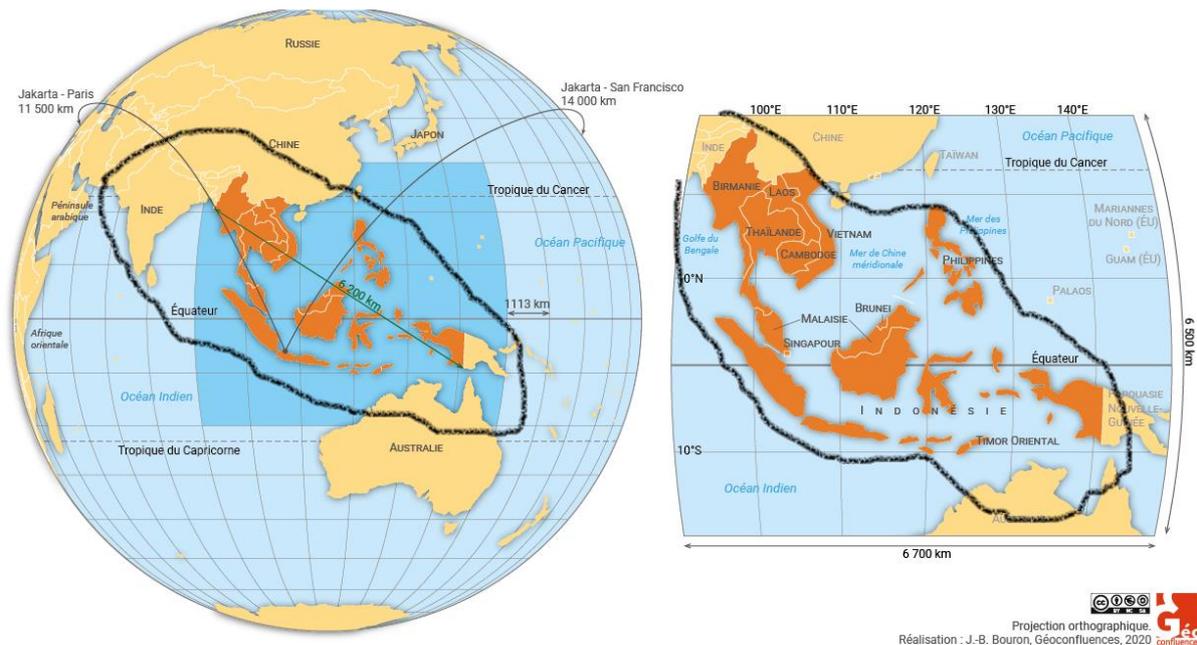


Figure 9 : Répartition du genre *curcuma* L. dans le monde

Actuellement la production mondiale du Curcuma représente 25 Kilos par seconde soit 800 000 tonnes par an. L'Inde est le plus grand producteur avec environ 75% du total mondial (600 000 tonnes). (<https://www.planetoscope.com>).

2. Taxonomie

La classification botanique du Curcuma est dans le tableau 1

Tableau 3 : Systématique du *Curcuma longa* L (Jourdan, 2017).

Règne	végétale, angiosperme, monocotylédone ;
Division	<i>Magnoliophyta</i> ;
Classe	<i>Liliopsidae</i> ;
Ordre	Zingiberales ;
Famille	<i>Zingiberaceae</i> ;
Genre	<i>Curcuma</i> ;
Espèce	<i>longa</i> ;
Nom binomial	<i>Curcuma longa</i> L ;
Nombre de chromosomes	2n = 63 ;
Formule florale	3S +3P +1E+ 3C ;

Synonyme :	- <i>Amomum curcuma</i> J.A. Murray - <i>Curcuma domestica</i> L. - <i>Curcuma domestica</i> Valetton, 1918 - <i>Curcuma purpurascens</i> Blume, 1827
------------	--

3. Nom vernaculaire :

Le curcuma présente plusieurs dénominations vernaculaires (**Loap , 2007**)

Français :	Curcuma long, safran des Indes, souchet de Babylone, terre-mérite
Arabe :	Kurkum, Kharkoum
Allemand :	Kurkumawurzel
Anglais :	Turmeric, Indian saffron
Chinois :	Wong geung, yu chin
Hindi :	Haldi
Indonésien :	Kunyit, Daun Kunyit (feuilles)
Japonais :	Ukon

4. Description botanique

Curcuma longa L. est une plante herbacée persistante qui peut mesurer de 0,6 m à 1m de hauteur, vivace par des rhizomes, tuberculeux cylindriques à la base de vieilles feuilles, présentant de nombreuses racines adventives (**Grugeau, 1995**). Le curcuma ne se reproduit que via ses rhizomes (**Figure3**) (**Demmar et Khlaifa2021**).

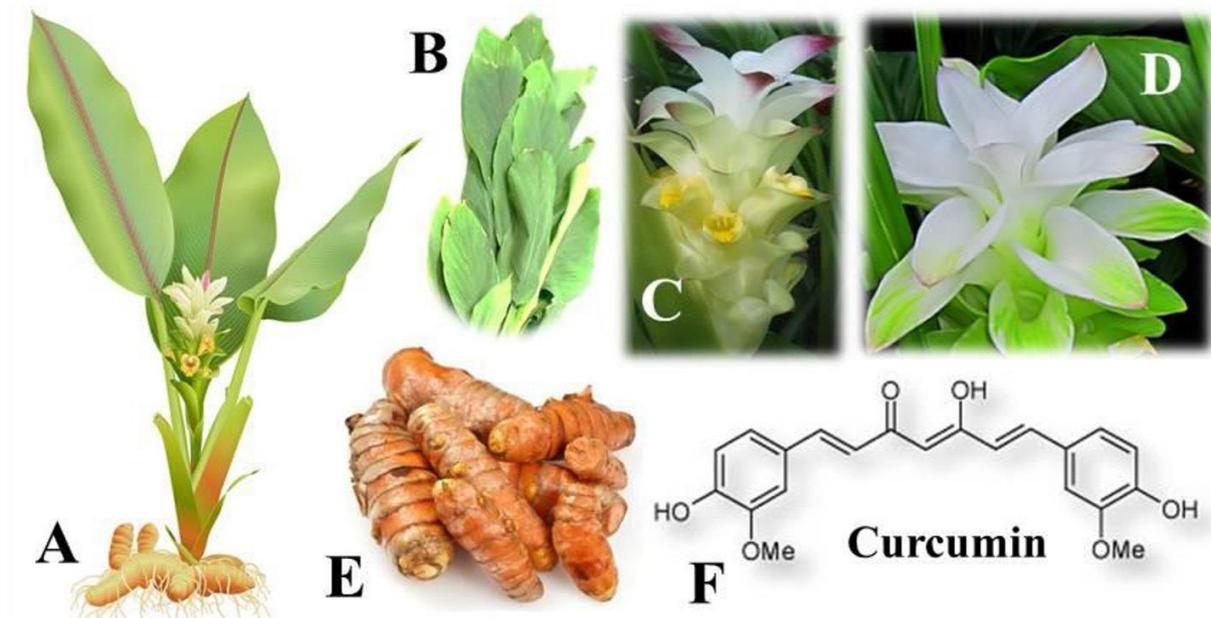


Figure 10 : Différentes parties de la plante curcuma (*Curcuma longa* L.) Tripathy et al., 2021).

(A) Une plante de *C. longa* très ramifiée avec des rhizomes cylindriques de jaunâtre à couleur orange. (B) De larges feuilles longues et simples avec de longs pétioles (tiges de feuilles) (C) Inflorescences est terminale, en forme d'épi et cylindrique, ayant des bractées latéralement vertes unies avec des taches rougeâtres. (D) fleurs blanches de grande taille. (E) *C. longa* rhizomes de couleur jaunâtre à orange. (F) Le composé bioactif naturel et majeur de la plante *C. longa*.

Les rhizomes, sont de couleur jaunâtre à brun-jaunâtre à l'extérieur et jaune ou jaune orange à l'intérieur attribuée à la présence de **Curcumine**, qui fournissent la drogue à l'origine des propriétés thérapeutiques.

Il existe deux variétés de Curcuma : le « rond » et le « long ». Ces deux variétés sont fournies par le rhizome de la même plante, *le Curcuma longa*, dont l'un constitue la partie centrale, l'autre les ramifications latérales (Grugeau, 1995).

Les rhizomes exhalent une légère odeur de gingembre plus prononcée à l'état frais, teintent la salive en jaune et dégagent une saveur aromatique chaude et légèrement amère (Grugeau, 1995 ; Jourdan, 2017).

Les **feuilles** sont grandes pointues engainantes limbe elliptique de couleur verte pouvant mesurer jusqu'à 45 cm de long et 18 cm de large. Elles sont alternes et sortent directement du rhizome (Grugeau, 1995).

Les fleurs sont jaune pâle et ne possèdent qu'une étamine et sont réunies en épi conique terminal muni de bractées serrées dont les feuilles terminales sont jaune pourpre.

Le fruit est une capsule globuleuse avec de nombreuses graines arillées.

1. Période de cueillette

La récolte du rhizome de *Curcuma longa* s'effectue lorsque les feuilles commencent à se dessécher. Les rhizomes sont arrachés puis échaudés à la vapeur d'eau ou à l'eau bouillante avant d'être séchés. (GRUGEAU, 1995)

5. La valeur nutritionnelle et composition chimique :

Selon une étude faite en 2020 par des chercheurs Camerounais - afin de contribuer à une meilleure utilisation de la poudre de *Curcuma longa*, disponible au Cameroun, comme phytobiotique (additif alimentaire) dans l'alimentation des cochons d'Inde, à l'Université de Dschang- la poudre du *Curcuma Longa* a une forte teneur en matière sèche, (84,1%), en matière organiques (91,7%) et en énergie digestible (3628 kcal/kg MS) (Tobou, et al, 2020).

Et Selon la « National Nutrient Database for Standard Reference » du USDA Food and Nutrition Information Center, le curcuma est une plante faible en calories et en matières grasses, principalement composée de carbohydate (**Tableau 2**). Il contient une forte proportion de minéraux tels que le potassium, le phosphore et le magnésium, et est une bonne source de vitamines C et E. (Cos, 2014)

Le tableau 4 : la composition nutritionnelle pour 100g de curcuma et pour 3g, ce qui équivaut à une portion par personne. (Cos, 2014)

NUTRIMENTS	UNITE	VALEUR POUR 100g	VALEUR POUR 3g
Eau	g	12,85	0,39
Énergie	kcal	312	9
Protéine	g	9,68	0,29
Lipides totales (gras)	g	3,25	0,10
Carbohydrates	g	67,14	2,01
Fibres Alimentaire total	g	22,7	0,7
Sucres totaux	g	3,21	0,10
MINERALES			
Calcio, Ca	mg	168	5
Hierro, Fe	mg	55,00	1,65
Magnésium, Mg	mg	208	6
phosphore, P	mg	299	9
Potassium, K	mg	2080	62
Sodium, Na	mg	27	1
Zinc, Zn	mg	4,50	0,14
VITAMINES			
Vitamine C total (acide ascorbique)	mg	0,7	0,0
Thiamine	mg	0,058	0,002
Riboflavine	mg	0,150	0,004
Niacine	mg	1,350	0,041
Vitamine B-6	mg	0,107	0,003
Folate, DFE	µg	20	1
Vitamine B-12	µg	0,00	0,00
Vitamine A, RAE	µg	0	0
Vitamine A, IU	IU	0	0
Vitamine E (alfa-tocophérol)	mg	4,43	0,13
Vitamine D (D2 + D3)	µg	0,0	0,0
Vitamine D	IU	0	0
Vitamine K (phylloquinone)	µg	13,4	0,4
LIPIDES			
Acides Gras saturés, totaux	g	1,838	0,055
Acides Gras mono insaturés, totaux	g	0,449	0,013
Acides Gras polyinsaturés, totaux	g	0,756	0,023
Acides Gras Trans, totaux	g	0,056	0,002

6. La composition chimique

Les propriétés médicinales du curcuma sont attribuées à la bioactivité des composants produits dans les voies métaboliques secondaires : composés phénoliques et huiles volatiles (Cos, 2014). (Tableau 3)

Tableau 5 : La composition chimique de *Curcuma longa* (Loap, 2007).

Famille des constituants	Molécules
De 4 à 14 % d'une huile jaune orangé volatile (huile essentielle) <ul style="list-style-type: none"> - Mono terpènes - Sesquiterpènes - Cétones sesquiterpènes 	Cycles aromatiques <ul style="list-style-type: none"> - Alpha-phellandrènes (1 %) - zingibérène, atlantone (25 %) - 50-60% ar-turmérone, turmérone
Pigments phénoliques appelés curcuminoïdes	- difèruloylméthane ou curcumine : de 0,3 à 5,4 % - bis-(4-hydroxy-cinnamoyl) -méthane (bisdésméthoxycurcumine) - 4-hydroxycinnamoylfé ruloylméthane (désméthoxycurcumine) - dihydrocurcumine, dérivé asymétrique,
Polysaccharides Glucides Divers	Dont un arabino-galactane dénommé «uconane A» Amidon : 28 % glucose, 12 % fructose, 1 % arabinose Résines, protéine, vitamines, minéraux

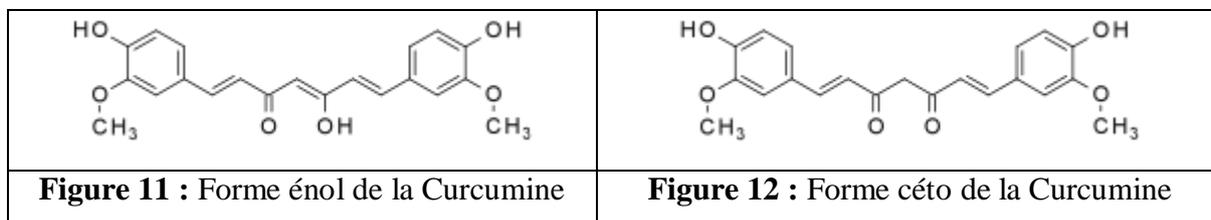
6.1. Les composés phénoliques

Ils sont appelés aussi Curcuminoïdes.

Les Curcuminoïdes sont absentes dans les jeunes plantes et concentrées majoritairement dans les rhizomes. Elles se développent que tardivement ; c'est pourquoi on récolte que les rhizomes âgés (Grugeau, 1995).

Un curcuminoïde est un diarylheptanoïde linéaire, constitué de deux cycles aromatiques reliés par une chaîne de sept carbones et ayant divers substituants.

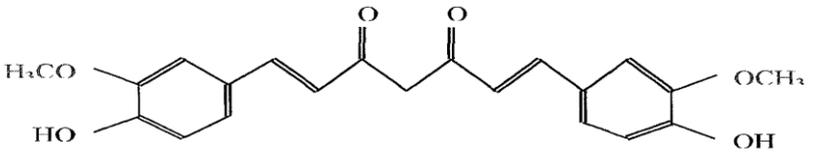
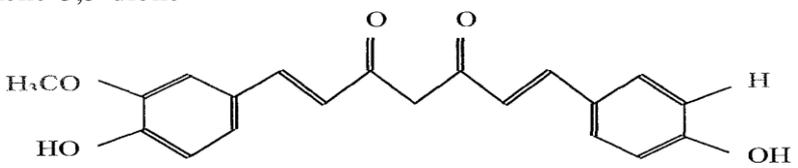
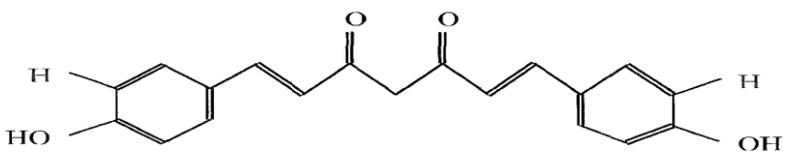
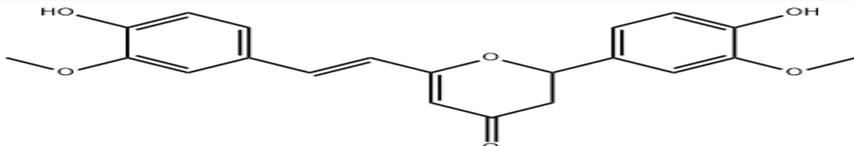
La curcumine peut exister sous au moins deux formes tautomères, céto et éno. La forme éno est plus stable énergétiquement en phase solide et en solution (**Figure 11 et 12**) (**Akram et al., 2010**)



Le mélange de curcuminoïdes fait l'objet de nombreuses études analytiques qui ont pour but de différencier les teneurs respectives en curcuminoïdes (**Jourdan, 2017**), et ces composés jaunes sont surtout constitués de 4 pigments apparentés (**Tableau 4**).

Ces pigments jaunes sont souvent accompagnés de dihydrocurcumine (1. 7-bis-(4-hydroxy-3-méthoxyphényl)-1-héptène-3.5 diane) (**Figure 13**).

Tableau 6 : Les pigments curcuminoïdes responsables de la couleur jaune foncée du curcuma

Pigment	La structure
Curcumine I	diferuloyl méthane (E, E) 1. 7-bis-(4-hydroxy-3-méthoxyphényl)-1.6 heptandiène-3.5 dione.
MF : C ₂₁ H ₂₀ O ₆ PM : 368,4 g/mol Composé majoritaire 50% - 60%	
Curcumine II	deméthoxycurcumine (1E,6E)-1-(4-hydroxy-3-méthoxyphényl)-7-(4-hydroxyphényl)hepta-1,6-diène-3,5-dione
MF : C ₂₀ H ₁₈ O ₅ PM : 338,4 g/mol Représente 24% de l'ensemble	
Curcumine III	bisdéméthoxycurcumine (1E,6E)-1,7-bis(4-hydroxyphényl)hepta-1,6-diène-3,5-dione
MF : C ₁₉ H ₁₆ O ₄ PM : 308,3 g/mol Représente 14% de l'ensemble	
Cyclocurcumine Ou Curcumine IV	2-(4-hydroxy-3-méthoxyphényl)-6-[(E)-2-(4-hydroxy-3-méthoxyphényl)éthényl]-2,3-dihydropyran-4-one
MF : C ₂₁ H ₂₀ O ₆ PM : 368,4 g/mol	

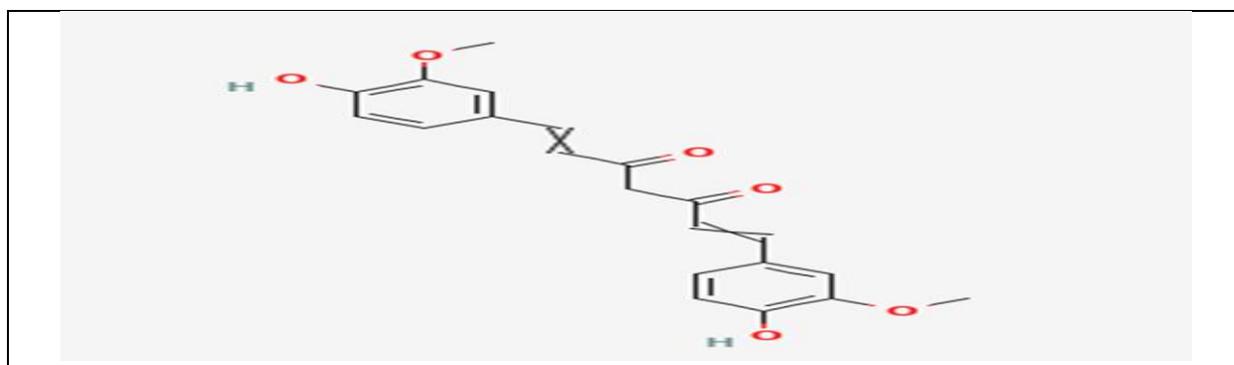


Figure 13 : Structure de la dihydrocurcumine (1. 7-bis-(4-hydroxy-3- méthoxyphényl)-1-héptène-3.5 diane)

6.2. Huile essentielle

Le rhizome de curcuma contient également des huiles volatiles dans un maximum de 5%. Ce sont ces composés **terpénoïdes** qui donnent à ce rhizome son arôme caractéristique (Cos, 2014). Il présente une grande caractéristique de l'espèce comme : variété de **sesquiterpènes cétoniques (Figure 7)**

- **l'ar-tumérone** (maximum 25 %), responsable de l'activité allélopathique du curcuma ;
- Les isomères **α -turmérone (atlantone) et β -turmérone (curlona)** (maximum 30%) ;
- Et **zingiberène** (maximum de 25%) est un bisabolane sesquiterpénoïde, un lipide formé à partir de trans-farnesyl diphosphate par la zingiberène synthase (ZIS). Ce composé est également présent dans le gingembre.

Il contient également :

- du caryophyllène,
- de l' α -curcumène,
- du bisabolène
- et du β -sesquifelandrenendrène

Ces sesquiterpénoïdes sont de puissantes molécules antioxydantes, juste derrière les curcuminoïdes (Cos, 2014)

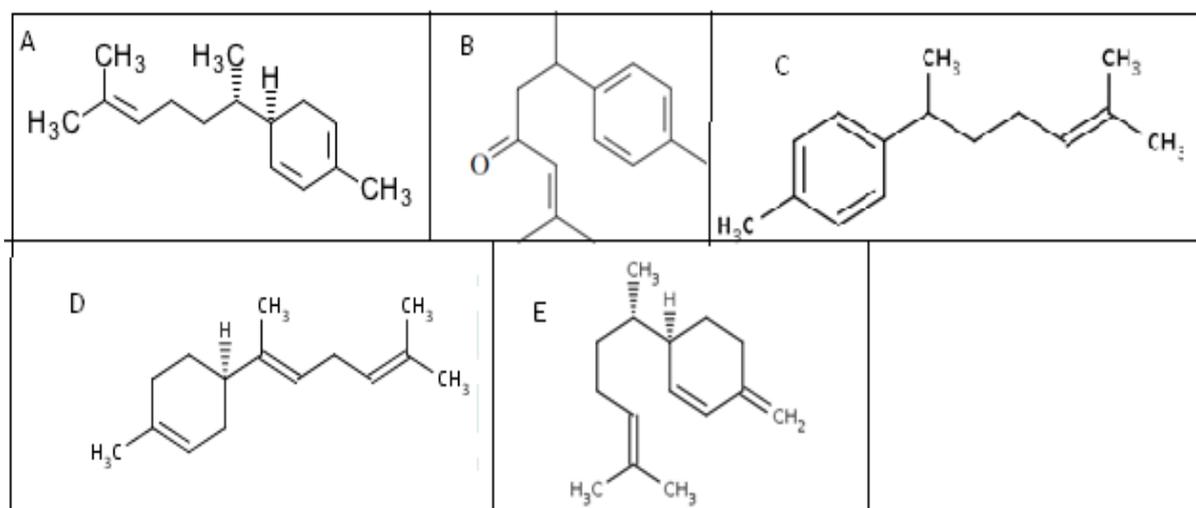


Figure 14 : Structure chimique du zingiberène (A), de l'ar-tumérone (B), de l' α -curcumène (C), de l' α -bisabolène (D) et du β -sesquifelandrenendrène (E) (Cos, 2014)

6.3. L'oléoresine

Par extraction des rhizomes à l'aide d'alcool, d'acétone, d'hexane ou d'éther de pétrole, on peut fabriquer une oléoresine, produit compact dont la couleur orange foncé à rouge brillant est due à la présence de curcumine.

Les sesquiterpènes (bisabolanes et germacrènes) sont présents dans l'oléoresine et les divers extraits et sont généralement plus riches en ar-turmérone que l'huile essentielle. Le caractère aromatique de l'oléoresine est supérieur à celui de l'huile essentielle (**Lonchamp, 2002**).

7. Domaines d'utilisation du Curcuma

Le curcuma est utilisé dans la gastronomie et l'industrie alimentaire, en médecine, en cosmétique naturelle et dans les rites spirituels.

7.1. Industrie alimentaire

Le curcuma est connu dans l'industrie alimentaire sous le nom de E-100. Sa résine est utilisée comme agent aromatisant et colorant alimentaire orange. Il est utilisé pour aromatiser et colorer le beurre, le fromage, diverses conserves, la moutarde, pop-corn coloré, céréales, soupes, bouillons, viandes et produits laitiers (**Cos, 2014**).

L'apport journalier recommandé ne doit pas dépasser 1 mg de curcumine/Kg de poids et 0,3 mg de curcuma par Kg de poids (www.food-info.net).

La FDA (Food and Drug Administration) des États-Unis a déclaré la curcumine comme "un produit considéré comme sûr" (Generally Regarded as Safe, GRAS), et acceptée comme colorant et arôme alimentaire.

7.2. Utilisations médicales

Le rhizome de curcuma a été adopté comme médicament par le Comité des médicaments à base de plantes (HMPC) le 12 novembre 2009 (Cos, Curcuma I (Curcuma longa L.), 2014).

Le curcuma est utilisé depuis des siècles en médecine ayurvédique, qui intègre les propriétés médicinales des herbes à la nourriture. Cette herbe s'est fait connaître en Europe en raison de son large éventail de bienfaits médicaux (**Akram et al., 2010**).

- Le suc du rhizome est utilisé contre les maux de ventre, les diarrhées et les rhumatismes. (Jules, 1960.)

- La curcumine exerce une activité anti-inflammatoire en inhibant un certain nombre de différentes molécules qui jouent un rôle important dans l'inflammation. Elle est efficace pour réduire l'inflammation post-chirurgicale.

Cette action est probable en raison d'une combinaison de trois propriétés différentes :

- ❖ Premièrement, le curcuma réduit la production d'histamine induisant une inflammation.
 - ❖ Deuxièmement, il augmente et prolonge l'action des anti-inflammatoires naturels de l'organisme, l'hormone surrénalienne, le cortisol.
 - ❖ Et enfin, le curcuma améliore la circulation, en éliminant ainsi les toxines des petites articulations où les déchets cellulaires et les composés inflammatoires sont fréquemment piégés (**Akram et al., 2010**).
- Le curcuma aide à prévenir l'athérosclérose en réduisant la formation d'amas sanguins ;
 - La curcumine inhibe la croissance de *Helicobacter pylori*, qui provoque des ulcères gastriques et les ulcères associés aux cancers gastriques.
 - La curcumine peut se lier aux métaux lourds tels que le cadmium et le plomb, réduisant ainsi la toxicité de ces métaux lourds.
 - Le curcuma et son principal constituant actif, la Curcumine, sont de puissants antioxydants que les vitamines C, E et bêta-carotène, faisant de l'utilisation du curcuma un choix de consommation pour la prévention contre le cancer, la protection du foie et vieillissement prématuré.
 - Plusieurs études publiées montrent également que le curcuma inhibe la croissance de plusieurs types de cellules cancéreuses (**Akram et al., 2010**).
 - La supplémentation en curcumine est considérée comme relativement sûre et bien tolérée pour renforcer l'immunité afin de lutter contre les nouveaux coronavirus (**Tripathy et al, 2021**).

Le tableau 7 résume les principaux effets de Curcuminoïdes :

Tableau 7 : Principaux effets thérapeutiques de Curcuminoïdes (Bengmark et al., 2009)

Mécanismes d'action	
<i>Athérosclérose</i>	↓ LDL oxydation, stabilisation de la membrane cellulaire, ↑ concentration plasmatique d'antioxydants.
<i>Cancer</i>	Induit l'apoptose ; Inhibe les métastases
<i>Diabète sucré</i>	↓ glucose, hémoglobine et hémoglobine glyquée; ↑ protection antioxydante
<i>Maladies gastriques</i>	↓ croissance de certaines souches d' <i>Helicobacter</i> ; ↓ NF-κB et réponse mitogène ; Propriétés antifongiques
<i>Maladies hépatique</i>	↓ accumulation de lipides; ↓ biomarqueurs de risque hépatique ; ↓ expression génique dépendante de NF-κB ; ↓ expression des molécules inflammatoires ; ↓ oxydation.
<i>Maladies pancréatiques</i>	↓ activation de NF-κB et expression de la protéine activatrice 1 ; ↓ expression des molécules inflammatoires ↓ activation de la caspase-3 ; ↓ activation intra-pancréatique de la trypsine
<i>Maladies intestinales</i>	↓ peroxydation lipidique ; ↓ activation de NF-κB ; ↓ taux d'oxyde nitrique ; régulation de la fonction immunitaire ; ↓ MAPK p38 ; ↓ réponse inflammatoire
<i>Maladies neurodégénératives</i>	Capteur de radicaux libres ; ↓ marqueurs oxydatifs ; ↓ dépôts β-amyloïdes
<i>Maladies oculaires</i>	Protège l'œil du stress oxydatif ; et les cellules du ganglion rétinien ↓ l'évolution du glaucome ; ↓ la progression du cataracte
<i>Maladies respiratoires</i>	↓ fibrogenèse ; marqueurs inflammatoires ; altération de la pompe à calcium et chlorure ; Effet anti-asthmatique.

Blessure induite par la fumée de tabac

↓ activation de NF-κB : ↓ molécules anti-inflammatoires

7.3. Utilisations en cosmétique

Le curcuma est utilisé pour traiter les pellicules, comme colorant capillaire et stimulant de la croissance des cheveux. On le retrouve également dans les crèmes pour ses propriétés astringentes, ou comme huile essentielle aromatisant. Les femmes indiennes utilisent la pâte de Curcuma pour éliminer les poils du corps et comme remède maison contre les coups de soleil et pour aider au remodelage de la peau endommagée et vieillie (Cos,2014).

Partie 2

Analyse d'articles publiés
sur *Curcuma Longa* L.

3- Introduction

Le Curcuma (*Curcuma Longa L.*), de la famille des Zingiberacées, est une plante médicinale, cultivée largement dans les régions tropicales et subtropicales, notamment en Inde, sud-est de l'Asie et la Chine (Degot et al, 2021).

Le rhizome de cette plante est la partie la plus utilisée à des fins culinaires et médicinales (Yulianto et al, 2018). Il est riche en constituants chimiques dont la Curcumine est la principale molécule active. Cette dernière est une poudre cristalline jaune orangé pratiquement insoluble dans l'eau.

Tenant compte des bienfaits de cette molécule sur la santé, un nombre très important de recherches et de publications parues durant ces deux dernières décennies reflète son importance (Figure15).

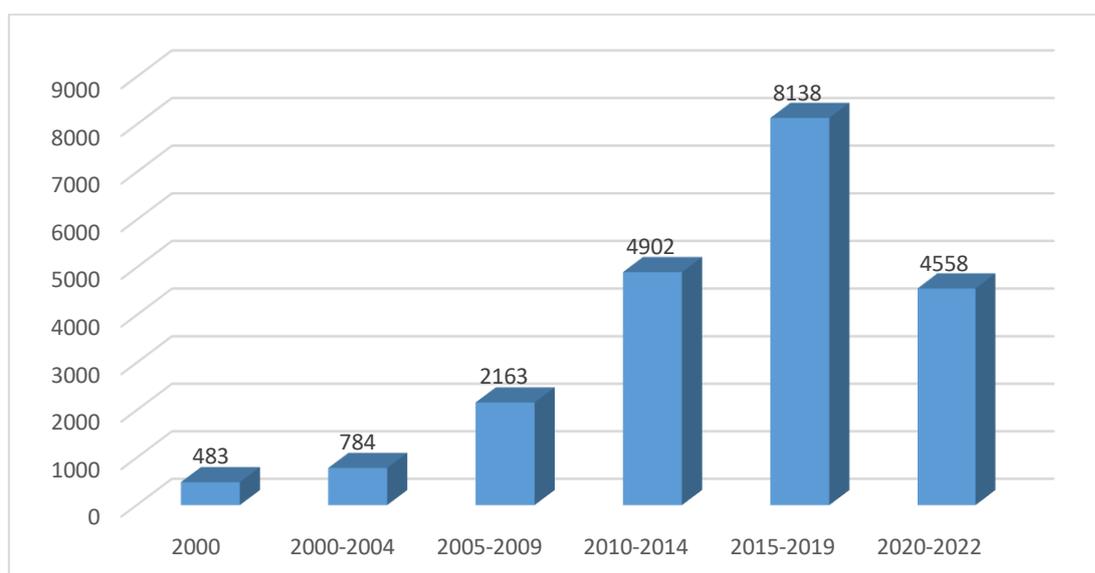


Figure 15 : Nombre de publications se rapportant à la curcumine par année selon la base de données en ligne PubMed® (dernier accès le 21/05/2022).

L'histoire scientifique de la Curcuma attire toujours les chercheurs du monde entier. La Curcumine a été isolée pour la première fois en 1815 ; il n'y avait que quelques rapports jusqu'aux années 1970 sur sa structure chimique, sa synthèse, son activité biochimique et antioxydant. Mais après le rapport d'Aggarwal et ces collègues (S Singh ,BB Aggarwal, 1995) dans les années 1990 sur les effets anticancéreux potentiels, le rythme de la recherche sur la Curcumine s'est accéléré rapidement. Actuellement, et selon Pub Med, on recense plus de **21000** (21028) citations sur la Curcumine à ce jour (Figure 15).

Plusieurs essais cliniques évaluant la curcumine ont prouvé son innocuité. *L'administration américaine des denrées alimentaires et des médicaments (FDA)* a approuvé la curcumine en tant que composé généralement reconnu comme sûr dans son programme de notification alimentaire des adjuvants culinaires débuté en 1998 (**Jourdan, 2017**).

Nous pouvons dire que la Curcumine attire l'attention des chercheurs dans divers domaines (biologique, chimique, physique, pharmaceutique...). Cette molécule a fait l'objet de nombreuses études approfondies pour ces effets thérapeutiques contre plusieurs maladies chroniques (la maladie d'Alzheimer, la sclérose en plaques, la polyarthrite rhumatoïde et l'athérosclérose. Elle protège également contre la formation de cataracte, lésions hépatiques, toxicité pulmonaire et fibrose...) (**Priyadarsini, 2014 ; Ziwei Ma et al. , 2019**).

Nous nous sommes intéressés aux différents travaux réalisés sur cette plante et principalement les travaux qui traitent les colorants de *Curcuma Longa*, dont la stratégie a été de savoir les différentes méthodes d'extraction des colorants, leur importance, et leur utilisation. Pour cela nous avons utilisé dans notre recherche différents mots clés et principalement les suivant : ***Curcuma Longa, composition chimique, colorant, extraction***

Malgré les difficultés qu'on a vécues au cours de la collecte d'articles (la majorité des sources sont payantes et d'autres nécessitent l'accès via la plateforme de l'université), nous avons pu sélectionner 12 articles au hasard reconnus et indexés dans les bases de données suivantes :

- Pub Med (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>);
- ELSEVIER (www.elsevier.com/locate/jconrel);
- Molecules (www.mdpi.com/journal/molecules);
- SCIENTIFIC ROPORTS (www.natur.com/scientificreports);
- Medicina (www.mdpi.com/journal/medicina);
- Frontiers in Nutrition (www.frontiersin.org);
- Hindawi Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine ;
- AIP Publishing

Dans le but de rechercher les informations suivantes :

- L'origine de la plante *Curcuma Longa* ;

- Les méthodes d'extraction ;
- L'identification des molécules bioactives ;
- Activités biologiques.

4- Résultats d'analyses et Discussion

L'importance du Curcuma, et de la Curcumine en tant qu'agent thérapeutique et nutraceutique, a été largement observée durant les dernières décennies. Cette importance a stimulé la croissance des différentes méthodologies de préparation et d'analyses des échantillons afin d'isoler et de quantifier la molécule active. Le tableau suivant résume les différentes techniques utilisées pour l'extraction des Curcuminoïdes dans les 12 publications sélectionnées.

Tableau 8 : Les différentes techniques d'extraction des Curcuminoïdes dans les publications traitées

Partie utilisée/ région	Procédure d'extraction	Rendement	référence
1-Rhizome (acheter) Iran	<u>Extraction avec Ethanol :</u> - Extraction de la poudre dans l'éthanol (96%) - L'extrait résultant a été concentré sous basse pression - Détermination qualitative et quantitative de la curcumine dans l'extrait par RP-HPLC	14 %	(Boskabady et al, 2021)
2-Rhizome (récolter) Corée de Sud	<u>Extraction avec Ethanol :</u> - L'extraction a été effectuée 10 fois avec 30% éthanol à 80 °C pendant 1h, et l'extrait a été concentré à 40 mmHg à 50 °C. - L'extrait concentré est pré-congelé dans un congélateur pendant 2 jours sous forme d'aliquotes de 2 litres. - L'extrait a été lyophilisé à 0,06 mbar à -70 °C pendant 48 h et stocké à -50 °C. - Analyse de l'extrait lyophilisé par HPLC.	-----	(Soon-Young Lee et al, 2020)
3-Rhizome (récolter) Inde	<u>Extraction avec l'eau :</u> - Un extrait aqueux a été préparé en ajoutant 2,5 g de poudre de rhizomes dans 100 ml d'eau distillée, puis macéré dans un agitateur orbital pendant 48 h à température ambiante. - La solution filtrée a été refroidie, séchée et utilisée pour la synthèse des NP.		(Manta Sharma et al, 2020)
4-Rhizome	<u>Extraction à l'aide d'un agent tensioactif vert, microémulsion (SFME= food-agreed surfactant-free</u>	150mg/g	(Degot et al, 2021)

(acheter) Autriche	<p><u>microémulsion) ternaire mélange composé d'eau, d'éthanol et de triacétine :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 2 g de poudre de curcuma ont été extraits avec 32 g du binaire EtOH/ Mélange d'extraction TriA (40/60) sous agitation constante à 1300 rpm à température ambiante pendant 1 h. - Les solutions ont été centrifugées, le surnageant a été recueilli et 2 g de poudre de curcuma frais ont été ajoutée à nouveau (un cycle). - -Après chaque cycle (six cycles au total), la densité l'optique a été mesurée via UV/Vis, à l'aide d'un spectromètre Lambda 18 UV/Vis de Perkin Elmer (Waltham, États-Unis). - Avant les mesures, tous les échantillons ont été correctement dilué avec de l'acétone. - la purification est faite par distillation sous vide et lyophilisation. 	15%	
5- Racine (acheter) Espagne	<p><u>Extraction MAE (extraction assisté par micro-onde) et Extraction de Soxhlet (méthode classique) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - L'extraction de l'huile de <i>Curcuma longa</i> L. a été réalisée par MAE. - Les conditions optimales pour l'extraction étaient de 29,99 min, 160 W et un rapport Curcuma longa L./EtOH de 1 /20 g/mL, - L'extraction de l'huile de <i>Curcuma longa</i> L. a été réalisée à l'aide d'un Soxhlet. 	(MAE) 10,32 ± 0,69 % (Soxhlet) 8,44 ± 0,17%	(Rut Fernandez-Marin et al , 2021)
6- Rhizome Indonésie	<p><u>Extraction à l'eau chaude comprimée (HCWE) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Les extractions ont été réalisées à des températures de 130°C à 150°C, des ratios solide/ liquide de 1:10 à 1 :12, et des temps d'extraction de 10 à 40 minutes à une pression fixe de 2 bars. 	32,83 %	(Yulianto et al , 2018)
7- rhizome (acheter) Indonésie	<p><u>Extraction avec solvants : Dichlorométhane et l'Éthanol :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - L'extraction avec deux solvants différents (dichlorométhane et éthanol), - La curcumine a été isolée par chromatographie sur colonne de gel de silice - La structure de la curcumine a été confirmée par spectrophotométrie UV/Vis, FTIR et spectroscopie de masse 	Éthanol 12,67% Dichlorométhane 9,01%	(N. Nurjanah and E Saepudin, 2019)
8- le rhizome (acheter) Autriche	<p><u>Extraction Soxhlet et à pression contrôlée avec un système Ternaire : NADES+EtOH+TriA :</u></p>	84%	

	<ul style="list-style-type: none"> - Un mélange de solvants ternaires sans eau composé d'un solvant eutectique profond naturel (NADES), d'éthanol et de triacétine a été étudié concernant sa capacité à dissoudre et à extraire la curcumine de <i>Curcuma longa</i>.L - Application de plusieurs cycles - Evaluation par HPLC, 		(Huber et al, 2021)
--	--	--	----------------------------

Les travaux sélectionnés sont des travaux récents publiés entre **2018 et 2022**. Ces travaux traitent le *Curcuma Longa* comme plante douée de propriétés bénéfiques pour la santé, car elle contient des curcuminoïdes dont la curcumine est la principale molécule bioactive.

1. L'origine de la plante *Curcuma Longa* :

Cette plante est originaire de l'Inde et généralement cultivé dans plusieurs parties du monde qui se caractérisent par un climat Tropical chaud et humide. Certaines espèces se trouvent en Afrique tropicale surtout au Nigeria (**Aid, 2020**) et Camerone (**Djoumessi Tobou et al., 2020**)

Le Curcuma comme matière végétale a été soit récupéré au niveau des marchés des herbes locaux (Iran, Espagne, Indonésie, Autriche), soit obtenu auprès de *Chonnam Medical Herb Agreicultural Corporation* (Coré de Sud). (**Manta Sharma et al, 2020**) ont récolté le rhizome de la plante Curcuma sur 3 collines de *Himachal Pradesh* (Inde) et leur travail résulte pour la première fois de l'impact des variations altitudinales sur les composés phytochimiques.

2. L'extraction de la Curcumine

L'effet bénéfique de la Curcumine a poussé les chercheurs dès le 19^{ème} siècle à faire des extractions afin de séparer la Curcumine du Curcuma.

L'extraction par solvant est la méthode la plus couramment utilisée. Plusieurs solvants organiques polaires et non polaires ont été utilisés, notamment l'hexane, l'acétate d'éthyle, l'acétone, le méthanol et l'éthanol qui reste le plus préféré pour l'extraction de la Curcumine (**Priyadarsini, 2014**), et cela est dû à ses procédures simples et a son faible coût d'exploitation (**Soubhagya et al, 2021**).

D'après les résultats des analyses, nous avons constaté que les articles présentent les mises à jour de la recherche actuelle dans les domaines d'études des Curcuminoïdes et les différentes méthodologies utilisées pour les analyser et pour la recherche d'activité biologique.

Sur 12 articles traités, 4 d'entre eux recensent les différentes méthodes d'extraction d'une façon générale ; 6 articles ont utilisé la méthode classique ou extraction par Soxhlet ; soit avec un seul solvant (éthanol ou l'eau), soit avec deux solvants (dichlorométhane et l'éthanol) ; ou trois solvants (l'eau, l'éthanol et de triacétine,) ; ou même, d'un mélange de solvants ternaires sans eau (composé d'un solvant eutectique profond naturel (NADES), d'éthanol et de triacétine). Cette variation a pour but d'avoir un rendement d'extraction élevé.

Par ailleurs, 2 autres articles ont utilisé d'autres méthodes d'extraction comme :

- Extraction assistée par micro-onde MAE ;
- Extraction chaude comprimée HCWE.

(Soubhagya et al, 2021) ont distingué les méthodes d'extraction en techniques traditionnelles et modernes. Les techniques d'extraction traditionnelles les plus courantes sont Soxhlet et Macération, alors que l'extraction assistée par micro-onde (MAE), l'extraction assistée par ultrason (UAE) et l'extraction assistée par enzyme sont les méthodes les plus courantes dans le processus d'extraction moderne.

Malgré la modernisation des techniques d'extraction qui ont conduit à une augmentation du rendement d'extraction, et malgré les inconvénients tels que la température élevée, la durée de fonctionnement élevée et l'utilisation élevée du solvant organique, la méthode d'extraction traditionnelle est couramment utilisée. Elle est même considérée comme méthode de référence pour les autres techniques, et cela est dû au coût faible et à ses procédures simples.

La préparation de l'échantillon est une étape principale avant l'extraction de la Curcumine. Les résultats ont montré que tous les chercheurs avaient extrait l'échantillon en poudre sauf **(Marin et al, 2021)** qui ont utilisé l'huile du Curcuma. La procédure d'extraction est liée aux différents paramètres, tels que : le temps, la Température, la pression, les solvants,....

3. L'identification de la Curcumine

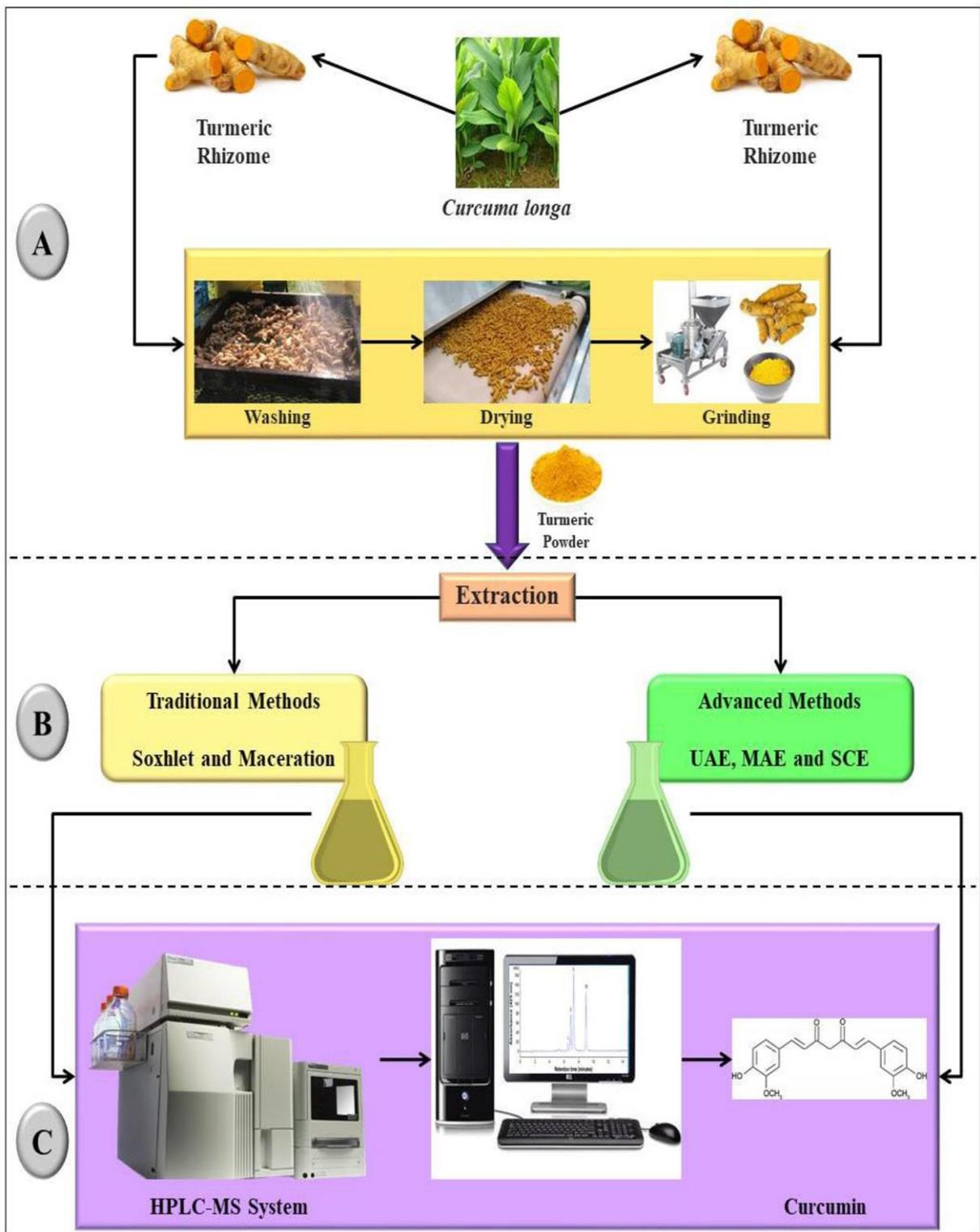
L'identification et la quantification de la curcumine comme composé actif sont toujours accompagnés d'une ou plusieurs techniques de chromatographie.

La Curcumine doit être séparée des Curcuminoïdes par chromatographie sur colonne pour donner toutes les fractions qui constituent la Curcuminoïde. Cette fraction est ensuite purifiée sur gel de silice.

Pour la détection et l'estimation de la Curcumine, la technique de chromatographie liquide à haute performance HPLC suivi par une spectrométrie de masse ou par fluorescence est recommandée (**Priyadarsini, 2014**).

Dans les différents articles traités, les chercheurs utilisent :HPLC, RP-HPLC, ultra HPLC avec spectromètre de masse (MS). Ces techniques ont été utilisées séparément ou en combinaison pour caractériser des composés bioactifs uniques (**Soubhagya et al, 2021**). La figure suivante résume en schéma l'extraction et l'isolement de la curcumine avec différentes techniques d'extraction couplées à une technique analytique d'identification.

Figure 16 : Présentation schématique de l'extraction et de l'isolement de la curcumine avec différentes techniques d'extraction Couplées à une technique analytique d'identification et de quantification. (Soubhagya et al, 2021).



(A) *Préparation de l'échantillon* : les rhizomes de Curcuma ont été collectés, lavés, séchés, et broyés.
 (B) *Extraction et purification* : soit par la méthode traditionnelle ou moderne. (C) *Identification et quantification* : par la technique HPLC.

4. Activités biologiques de la Curcumine

Le Curcuma est utilisé comme un ingrédient naturel qui offre un profil de couleur et de saveur. Ces molécules actives ont prouvé la capacité d'affecter plusieurs cibles biologiques et ont présenté une activité contre les différentes maladies.

(Marin et al , 2021) ont révélé, en appliquant les tests (DPPH, ABTS et FRAP), une activité antioxydante plus élevée pour l'huile du Curcuma, en appliquant la méthode MAE.

Les chercheurs (Priyadarsini K. I., 2014), (Zeilinska et al , 2020) et (Ma et al , 2019) ont proposé un nouveau système basé sur la taille des particules du Curcumine. Cette solution appelée nanotechnologie peut corriger la mauvaise biodisponibilité et la faible bioactivité de la Curcumine, donnant une efficacité pharmacologique pour ces particules, et amenant à trouver un nanosystème plus adapté pour traiter et prévenir certains types de cancers et autres maladies comme les maladies neurodégénératives.

Parmi ces solutions, les chercheurs ont cité : Nanoparticules biosourcées chargées de curcumine ; Exosomes ciblés sur la curcumine

Le même système a attiré l'attention de (Manta Sharma et al, 2020) vers la synthèse des nanoparticules d'Ag et d'Au à partir d'extrait de rhizome du Curcuma. Ces particules seront peut-être utilisées pour développer de nombreux médicaments, et peut être un outil de soutien pour guérir de nombreuses maladies. Les résultats ont révélé que les nanoparticules d'Ag et d'Au ont démontré une activité anticancéreuse efficace pour les lignées cellulaires cancéreuses. Aussi, ces nanoparticules ont-ils démontré une activité antibactérienne intense contre *Escherichia Coli* et *Bacillus Sutilis*.

« *Curcuma longa* à des promesses thérapeutiques dans le traitement de l'asthme ». C'est (Boskabady et al, 2021) qui ont tiré cette conclusion après des essais faits sur des rats. Les résultats ont indiqué que le *Curcuma longa* avait des propriétés anti-inflammatoires et des effets antioxydants équivalents, voire supérieurs à la Dexaméthason, et son action immuno-modulateur plus spécifique entraînant de meilleurs équilibres de la balance Th1 / Th2.

L'effet anti inflammatoire a été étudié aussi en Algérie par (H. Negaoui et al, 2022) sur un modèle Murin (Balb/c) rendu enflammé par lipopolysaccharides (LPS). Les résultats montrent que les signes inflammatoires sont moins remarquables chez les souris traités par *Curcuma Longa*. Ils ont conclu que le *Curcuma Longa* réduit ou inhibe la cascade réactionnelle du processus inflammatoire, donc semble être une thérapie efficace et peut avoir un effet curatif.

Selon (**Soubhagya et al, 2021**), il existe des épreuves scientifiques d'un impact bénéfique pour la santé humaine dans les aliments fonctionnels produits en incorporant des parties de plantes contenant des substances bioactives, dont le Curcuma, qui fut une des plantes incorporées avec succès dans ces aliments et aussi dans les suppléments et produits pharmaceutiques.

(**Soubhagya et al, 2021**) ont recensé, aussi, les aliments fonctionnels importants qui ont été développés en utilisant la Curcumine comme ingrédient fonctionnel.

➤ **Produit à base de céréale**

La Curcumine favorise la fonctionnalité des aliments sans affecter les propriétés sensorielles des produits de boulangerie. Les Curcumines sont ajoutées aux pains, biscuits, et gâteaux ; et ceux-là peuvent rapidement renforcer l'immunité et améliorer grandement la teneur et le potentiel antioxydant des pains et biscuits.

➤ **Produits laitier**

L'ajout du Curcumine pourrait améliorer la consistance, la valeur nutritionnelle, les caractéristiques sensorielles, et la durée de conservation des produits laitiers fonctionnels sans l'ajout de colorant artificiel ou d'autres substances, en raison de ses propriétés antimicrobiennes, et de renforcement de l'immunité.

➤ **Les produits à base de viande et de fruits et légumes**

La curcumine a été ajoutée à la viande d'agneau dans le but de réduire la graisse de la viande, et il a été observé que l'ajout de 100 à 300 mg de curcumine/g de viande réduisait les acides gras saturés sans affecter les AGPI et les AGMI.

Un effet similaire a été observé dans le pâté de viande où la graisse a été totalement ou partiellement conservée par l'hydrogel de curcumine et l'oxydation des lipides a également été réduite.

Les saucisses d'agneau fraîches peuvent être modifiées par les conditionnements atmosphériques. L'extrait de curcuma riche en curcumine peut ralentir l'oxydation des lipides et générer des composés volatils associés, et améliorer la capacité antioxydante. La curcumine améliore non seulement la couleur des produits carnés, mais augmente également la teneur en vitamine E des pépites de volaille.

Les auteurs ont conclu que l'ajout d'extrait de curcuma peut remplacer l'érythorbate de sodium jusqu'à 500 ppm, et ils ont constaté une amélioration de la fonctionnalité du smoothie avec une

augmentation significative de la teneur en polyphénols et de la capacité antioxydante lors de l'ajout de 14 gramme de Curcuma à la boisson.

(Soubhagya et al, 2021) ont conclu leur article en conseillant les organisations de santé du monde entier de faire connaître les propriétés immuno-modulatrices de la curcumine et demandent aux gens de consommer ces aliments fonctionnels afin d'améliorer leur immunité pour lutter contre divers agents pathogènes, surtout après la dernière pandémie du coronavirus le COVID-19.

CONCLUSION :

Notre étude a proposé une lecture d'un nombre de 12 publications choisis d'une façon au hasard concernant le sujet de Curcuma Longa et Curcuminoïdes, en consultant différents bases de données comme PubMed, ELSEVIER, MOLECULES, etc.....

L'étude des articles nous a conduit à établir une présentation de synthèse, à travers cette dernière nous avons discuté les différentes méthodes d'extraction ; d'isolement et de quantification de la Curcumine et son application dans diffère domaines.

Après avoir précisé l'origine des échantillons utilisés dans les différentes publications, nous avons enregistré l'utilisation de plusieurs méthodes d'extraction, d'isolement et de quantification, dans un but d'améliorer le rendement, Nous avons noté que la méthode classique ou méthode de Soxhlet et HPLC restent les plus utilisées, est cela est dû au faible cout de cette méthode et ses processus simple.

Les articles traités montrent que le *Curcuma Longa* possède des effets thérapeutiques intéressantes contre les cancers, le stress oxydatif, l'inflammation, et les différents virus telle que COVID-19....

Par ailleurs, malgré ces caractéristiques bénéfiques pour la santé humaine leurs utilisation reste limité et cela est dû à sa faible solubilité dans les milieux aqueux, sa faible biodisponibilité et ses profils pharmacocinétiques. De ce fait, des études expérimentales se sont intensifiées, dans un but d'éviter ce problème dont la nanotechnologie, les nanoparticules bisourcées chargées de Curcumine, et les nanoparticules-NP d'Ag et d'Au, sont parmi les solutions proposées.

En traitant ces articles, nous avons constaté aussi que le Curcuma à une relation intense avec les aliments fonctionnels. La Curcumine a été ajoutée en succès dans les différents aliments pour développer et renforcer le bénéfique de ces aliments, autrement dit la Curcumine ajoutée aux aliments renforce l'immunité et aide le corps à lutter contre divers pathogènes (virus, bactéries...).

Ce travail mérite d'être approfondi par d'autres travaux expérimentaux : caractérisation et identification d'autres molécules bioactives, et recherche d'autres activités biologiques anti inflammatoires, antioxydantes... Par ailleurs cette étude peut s'intéresser à la recherche

d'utilisation des colorants extraits de cette plante dans différents domaines alimentaire, cosmétique pharmaceutique....

Bibliographie

- Aid, K. e. (2020, 09 28). *Caractérisation phytochimique et activité antibactérienne de curcuma longa*. FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE DEPARTEMENT DE BIOLOGIE, BOUIRA.
- Amel, B. (2013). Ethnobotanique et Utilisations traditionnelles de Curcuma longa L. en Algerie. *texte universitaire*, p. 94 page.
- BARON, J. (s.d.). les colorants polyméthiniques: les cyanines. <https://tice.ac-montpellier.fr/ABCDORGA/Famille7/CYANINES.htm>.
- Boskabady et al. (2021). The effect of Curcuma longa on Inflammatory Mediators and Immunological, Oxidant, and Antioxydant Biomarkers in Asthmatic Rats. *Hindawi*.
- Bouanimba, N. (2014, juin 12). Etude comparative de la dégradation photochimique et photocatalytique de quatre colorants: Impact de la structure chimique et corrélation entre l'adsorption et l'activité photocatalytique de TiO₂. *MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT en SCIENCES, UNIVERSITE - CONSTANTINE 1, FACULTE DES SCIENCES EXACTES, DEPARTEMENT DE CHIMIE*.
- Boudia, R. (2021, 04 01). Etude comparative de l'élimination de colorants textiles par deux adsorbants : naturel et activé. *Mémoire de Dctorat 3eme cycle, Universite Djilali Liabes*. <http://hdl.handle.net/123456789/3283>.
- Boutanami, M. (2013). Etude de la variation du rendement et de la composition chimique du Curcuma longa et Myristica fragrans en fonction du temps et de la technique utilisée.
- Bouthier, Lafont . (consulté le 19 février 2022.). « PIGMENTATION ANIMALE », *Encyclopædia Universalis [en ligne]*, URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/pigmentation-animale/>.
- BOUZABATA Amel, ZIOUCHE Nihed. (2016, 01 16). Ethnobotanique et Utilisations traditionnelles de Curcuma.
- Chast, F. (2005). Les colorants, outils indispensables de la Révolution biologique et thérapeutique du XIXe siècle. *Revue d'histoire de la pharmacie*, 93^e année, n°348, 2005. pp. 487-504., 487-504.
- Chevallier, J. (. (2016, novembre-décembre). La peau teinte... Histoire de l'utilisation des colorants en dermatologie. *Images en Dermatologie • Vol. IX - n° 6* , pp. 177-182.
- Claude., V. (2005). Colorants naturels et teintures du XVIIe siècle à la naissance des colorants de synthèse. *Revue d'histoire de la pharmacie* 93^e année, n°347, pp. 327-348.
- Cos, P. S. (2014). Cúrcuma I (Curcuma longa L.). *Reduca (Biología). Serie Botánica.*, 84-99.
- CUQ, J.-L. (2014, Juin 16). La science et les couleurs dans la peinture à huile. *Académie des Science et Lettre de Montpellier*, (pp. 215-228).
- Daniel FUES, i. c. (s.d.). « COLORANTS », *Encyclopædia Universalis [en ligne]*, consulté le 19 mars 2022. URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/colorants/>.
- Degot et al. (2021). Curcumin extracts from Curcuma Longa – Improvement of concentration, purity, and stability in food-approved and water-soluble surfactant-free microemulsions. *ELSEVIER*.

- DEMMAR Samah et KHELAIFA Meriem. (2021, juillet 4). Evaluation de quelques activités biologiques du curcuma longa L.
- Djebbar. (2019). ETUDE DE LA DECOLORATION DU (BM) EN MILIEU HETEROGENE ET HOMOGENE. *Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER Génie des Procédés de l'Environnement.*
- F G Djoumessi Tobou, et al. (2020). Effet de différents niveaux de Curcuma longa dans la ration sur les performances de reproduction et de croissance pré-sevrage des cochons d'Inde. *ReasearchGate.*
- GRUGEAU, C. (1995, 10 23). Curcuma longa L, Zingiberacées. .
- Guyot, S. (2010). *la chimie et l'alimentation, Chapitre 3 : Couleur et coloration des aliments, une simple affaire de chimie ?* EDP Sciences.
- Hammami., S. (2008., 12 12). Étude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels. *Sciences de l'environnement. Université de Marne la Vallée.,*
- Heiplanmi et al. (2011, Octobre). Les biocolorants et leurs implications dans l'industrie de la santé et de l'alimentation - Une revue. *Journal international de recherche PharmTech 3(4):2228-2244,* p. p 9.
- Henzi, T. (1991, Février). Les minéraux et pigments minéraux utilisés comme colorants. *Bull . mens . Soc . !nn . Lyon, 1991, 60 (2).*
- H. Negaoui et al. (2022). Effet curatif du Curcuma Longa après induction inflammation chez la souris Balb/c. *Nutrition clinique et métabolisme.*
- Hombourger, C. (2010). Le curcuma, De l'épice au médicament. *HAL open science.*
- Huber et al. (2021). Improvement of the Solubilization and Extraction of Curcuma in Edible Ternary Solvent Mixture. *molecule.*
- http://a.gharbage.free.fr/colorants/colorants_mineraux.htm. (s.d.).
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/phthalocyanine>. (s.d.).
- <https://www.fenetre123.fr/lexique/din/>. (s.d.). <https://www.fenetre123.fr/lexique/din/>.
- Jourdan, J.-P. (2017). Curcuma et curcumine : del'histoire aux intérêts thérapeutiques. *HAL open science.*
- Jules, V. (1960. , Septembre-octobre). Les Plantes utiles du Laos (suite). *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée, vol. 7, n°9-10,* pp. pp. 417-440.
- Kacha., M. (2009, 2). La couleur, variable d'action marketing. Gestion et management. *Université Nancy, Français. ffNNT : 2009NAN22005.*
- KARUNARATNE., C. R. (1930, mai). Notes et actualités... *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale, 18^e année, bulletin n°201,* pp. pp. 361-366.

larousse.fr. (2021).

Layati, H. (2020, 2022/03/10). عوينت في (عوينت في 2020, 2022/03/10). محاضرات في مقياس ما قبل التاريخ الشمال الافريقي. جامعة محمد بوضياف بالمسيلة، كلية العلوم الانسانية والاجتماعية، قسم التاريخ

Loap S. (2007). Le curcuma. *NAFAS, édition de santé*.

LONCHAMPT, E. (2002). CURCUMA DOMESTICA V. (Zingibéracées). *These pour LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE*.

M. AKRAM et al. (2010). CURCUMA LONGA AND CURCUMIN: A REVIEW ARTICLE. *ROM. J. BIOL. – PLANT BIOL., VOLUME 55, No. 2, P. 65–70, BUCHAREST, , 65-70*.

Maknoi, C. (2006, janvier). Taxonomie et phylogénie du genre curcuma L. (Zingiberaceae) avec une référence particulière à sa présence en Thaïlande. *ResearchGate*.

Manta Sharma et al. (2020). Unveiling antimicrobial and anticancerous behavior of AuNPs and AgNPs moderated by rhizome extracts of Curcuma Longa from diverse altitudes of himalaya. *SCIENCE REPORTS*.

Meriem., DEMMAR Samah et KHELAIFA. (2021, juillet 4). Evaluation de quelques activités biologiques du curcuma longa L.

Moussa, G. (2019, 12 23). Contribution à la détermination des éléments de contrôle de qualité botanique et phytochimique de quatre plantes du Mali, sources de colorants utilisés la formulations médicamenteuses. *Mémoire en vue d'obtenir le Grade de Docteur en PHARMACIE (Diplôme d'Etat) inédit, UNIVERSITE DES SCIENCES, DES TECHNIQUES ET DES TECHNOLOGIES DE BAMAKO, FACULTE DE PHARMACIE*.

N. Nurjanah and E Saepudin. (2019). Curcumin isolation, synthesis and characterization of curcumin isoxazole derivative compound. *AIP Publishing*.

Nomenjanahary, R. Z. (2015). CARACTERISATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET POTENTIALITES ANTIOXYDANTES DE L'HUILE ESSENTIELLE DE Curcuma llonga ((Ziingiiiberaceae). *Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Sciences de la Vie Option : Biochimie appliquée aux Sciences de l'Alimentation et à la Nutrition*.

Otterstatter, G. (1999). *Coloring of Food, Drugs, and Cosmetics*. Published by CRC Press. 1er édition.

Priyadarsini. (2014, Decembre 1). The Chemistry of Curcumin: From extraction to Therapeutic Agent. *molecules*.

Rut Fernandez-Marin et al . (2021). Microwave-Assisted Extraction of Curcuma Longa L.Oil: Optimization, Chemical Structure and Composition, Antioxydant Activity and Comparison with Soxhlet Extraction. *molecules*.

S. Bengmark et al. (2009). Plant-derived health - the effects of turmeric and curcuminoids. *Nutr Hosp.* , 273-281.

S Singh , BB Aggarwal. (1995). L'activation du facteur de transcription NF-kappa B est supprimée par la curcumine (diferuloylmethane). *Biol.Chem*.

- Soubhagya Tripathy et al. (09/2021). Curcumin Extraction, Isolation, Quantification and Its Application in Functional Foods: A Review With a Focus on Immune Enhancement Activities and COVID-19. *Frontiers in Nutrition* | www.frontiersin.org, Volume 8 | Article 747956.
- Soon-Young Lee. (2020). Anti-inflammatory Effect of Curcuma Longa and Allium hookeri Co-treatment via NF-kB and COX-2 Pathways. *SCIENTIFIC REPORTS*.
- Souheyla, C. (2010, 12 06). Structures et propriétés physico-chimiques de substances colorantes de synthèse. *Mémoire de maîtrise inédit, Université Mentouri Constantine. Faculté des Sciences exactes, Département de Chimie*, p. 25.
- Šuleková, M. S. (2017, July 13). ORGANIC COLOURING AGENTS IN THE PHARMACEUTICAL INDUSTRY. *FOLIA VETERINARIA*, 61, 3:, pp. 32-64.
- Walter, M. J. (2019, Octobre-Novembre). Pigments et colorants. *L'actualité chimique N 444-445*, pp. 13-15.
- Yulianto et al . (2018). Hot compressed water extraction of curcumin from Curcuma domestica Val. *AIP Publishing*.
- Yulianto et al. (2018). Hot Compressed Water Extraction of Curcumin from Curcuma domestica Val.
- Zeilinska et al . (2020). Properties, Extraction Methods, and Delivery Systems for Curcumin as a Natural Source of Beneficial Health Effects. *medicina*.
- Ziwei Ma et al . (2019). Pharmaceutical strategies of improving oral systemic bioavailability of curcuma for clinical application. *ELSEVIER*.