

N° d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE & POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR & DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DJILLALI LIABES
FACULTE DES SCIENCES
DE LA NATURE ET DE LA VIE
SIDI BEL ABBES

Département de Biologie

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : MANSOUR Mohammed Ibrahim Imad Eddine

Spécialité : Sciences alimentaires

Option : Biochimie de la Nutrition

Intitulé

Détermination de quelques propriétés physicochimiques des amidons de Gingembre (*Zingiber officinale*) et de Curcuma (*Curcuma longa*) commercialisés à Sidi Bel Abbés

Soutenu le : Septembre 2020

Devant le jury composé de :

Examineur : DIAF M. Maitre de conférences UDL SBA

Examineur : MAI H. Maitre de conférences UDL-SBA

Encadreur : Pr BENALI Mohammed UDL-SBA

Co- Encadreur : Dr MANSOUR Insaf Fatima Zohra Université d'Oran 1

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

C'est avec un réel plaisir que je réserve ces lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation et à l'aboutissement de ce travail.

Avant tout, je remercie Dieu tout puissant pour m'avoir aidé à réaliser ce modeste travail. Je tiens tout d'abord à remercier *Mr Benali mohammed* (رحمه الله واسكنه فسيح جنانه), Professeur à l'université Djilali Liabes de Sidi Bel Abbes faculté SNV pour la confiance qu'il m'a témoigné. Je lui suis reconnaissant de m'avoir fait bénéficier tout au long de ce travail de sa grande compétence, de sa rigueur intellectuelle, de son dynamisme, et de son efficacité certaine que je n'oublierai jamais. Soyez assuré de mon attachement et de ma profonde gratitude. (اللهم اجعل هذا العمل في ميزان حسناته).

J'exprime mes plus vifs remerciements à Madame KARAR Insaf Fatima Zohra Maitre de conférences à l'université d'Oran1, qui a bien voulu accepter de m'encadrer. *Qu'elle trouve ici l'expression de ma respectueuse gratitude et mon profond respect.*

Je suis très sensible à l'honneur que me fait Docteur DIAF M. , Maitre de conférences à l'université de sidi bel abbes , en acceptant de juger ce travail. *Qu'il trouve ici, le témoignage de mon profond remerciement.*

Docteur MAI H. , Maitre de conférences à l'université de Sidi Bel-Abbes, me fait l'honneur d'examiner ce travail et de siéger dans ce jury. *Qu'il trouve ici l'expression de mes sincères remerciements.*

Je remercie également tous les membres du laboratoire de biotoxicologie, notamment ceux avec qui j'ai eu l'occasion de travailler et les autres simplement pour les bons moments partagés.

Enfin ; Je voudrais tout particulièrement exprimer ma reconnaissance à mes parents, MANSOUR Hamza et MAZARI Malika, qui ont été pour moi un modèle et n'ont cessé de m'encourager. Ainsi je dédie ce modeste travail à mes sœurs Hidayat et Riheb sans oublié ma nièce Assil , mon neveu Bassim et mon beau frère Fakreddine.

Résumé

Le gingembre (*Zingiber officinale*) et le curcuma (*Curcuma longa*) sont des plantes herbacées dont les vertus thérapeutiques sont mondialement connues. En vue de valoriser ces deux plantes, particulièrement leurs rhizomes, nous avons entrepris dans ce travail de quantifier l'amidon, l'amylopectine et l'amylose dans les deux épices ensuite d'étudier quelques propriétés comme le pouvoir de gonflement, la solubilité, le potentiel d'hydrogène et la gélatinisation. La mesure de l'ensemble amylose-amylopectine et amylose seule se fait sur la base de l'absorption à 580 et 720 nm respectivement. Les résultats montrent que les taux d'amidons dans les deux produits sont respectivement de $56,25 \pm 0,67\%$ et $50,22 \pm 0,93\%$ pour le gingembre et le curcuma. L'amylose et l'amylopectine présentent des quantités de $27,35 \pm 1\%$ et $72,65 \pm 1,34$ pour *Z. officinale* et $32 \pm 1,93\%$ et $68 \pm 0,87\%$ pour *C. longa*. Le taux d'amidon ainsi que celui de l'amylopectine du gingembre sont supérieurs à ceux du curcuma ce qui n'est pas le cas de l'amylose dont le taux est important dans le curcuma ($p < 0.05$). Nos résultats ont montré que lorsque la température augmente, le gonflement augmente. L'amidon présente un très faible taux de gonflement de 60 à 85 °C pour le gingembre et de 50°C à 70°C pour le curcuma. Mais au-delà de ces températures le pouvoir de gonflement en g/g d'amidon augmente fortement. Une forte augmentation de la solubilité dans l'eau est aussi observée à partir de 70 °C pour l'amidon de *Curcuma longa* et de 80°C pour *Zingiberofficinalis*. Les pH des deux produits sont de 06,52 et 07,04 respectivement pour le gingembre et le curcuma. La gélatinisation de l'amidon de curcuma observée au microscope optique est atteinte à une température de 70°C tandis que celle du gingembre à 80°C. Ces différentes propriétés physicochimiques sont en faveur d'une utilisation de ces amidons comme épaississants et gélifiants en agroalimentaire et comme excipient en pharmaceutique.

mots clés : gingembre , curcuma ,propriétés physicochimiques , épaississants , gélifiants

Abstract

Ginger (*Zingiberofficinale*) and turmeric (*Curcuma longa*) were herbaceous plants whose therapeutic properties were known worldwide. In order to enhance these two plants, particularly their rhizomes, we undertook in this work to quantify the starch, amylopectin and amylose in the two spices then to study some properties such as the swelling power, the solubility, the hydrogen potential and gelatinization. The measurement of amylose-amylopectin and amylose alone was made on the basis of absorption at 580 and 720 nm respectively. The results show that the starch levels in the two products were $56.25 \pm 0.67\%$ and $50.22 \pm 0.93\%$ respectively for ginger and turmeric. Amylose and amylopectin have amounts of $27.35 \pm 1\%$ and 72.65 ± 1.34 for *Z. officinale* and $32 \pm 1.93\%$ and $68 \pm 0.87\%$ for *C. longa*. The starch and amylopectin levels of ginger were higher than those of turmeric, which was not the case for amylose, which has a high level in turmeric ($p < 0.05$). Our results have shown that as the temperature increases, the swelling increases. The starch has a very low swelling rate of 60 °C to 85 °C for ginger and 50°C to 70 ° C for turmeric. However, beyond these temperatures the swelling power in g / g of starch increases sharply. A strong increase in water solubility was also observed from 70°C for the starch of *Curcuma longa* and from 80 ° C for *Zingiberofficinalis*. The pH of the two products were 06.52 and 07.04 respectively for ginger and turmeric. The gelatinization of turmeric starch observed under an optical microscope was reached at a temperature of 70 ° C while that of ginger at 80 ° C. These different physicochemical properties were in favor of using these starches as thickeners and gelling agents in the food industry and as an excipient in pharmaceuticals.

keywords: ginger , turmeric , physicochemical properties ,thickeners , gelling.

ملخص

الزنجبيل (*Zingiber officinale*) والكرم (*Curcuma longa*) نباتات عشبية معروفة بخصائصها العلاجية في جميع أنحاء العالم. من أجل تعزيز هذين النباتين ، خاصة جذورهما ، تعهدنا في هذا العمل بتحديد كمية النشا وأميلوبكتين وأميلوز في التوابل ثم دراسة بعض الخصائص مثل قوة التورم ، الذوبان ، إمكانات الهيدروجين والجيلاتين. يتم قياس أميلوز وأميلوبكتين وأميلوز بمفردهما على أساس الامتصاص عند 580 و 720 نانومتر على التوالي. أظهرت النتائج أن مستويات النشا في المنتجين هي على التوالي $56.25 \pm 0.67\%$ و $50.22 \pm 0.93\%$ للزنجبيل والكرم. يحتوي الأميلوز والأميلوبكتين على كميات $27.35 \pm 1\%$ و $72.65 \pm 1.34\%$ لـ *Z. officinale* و $32 \pm 1.93\%$ و $68 \pm 0.87\%$ لـ *C. longa*. مستويات النشا وأميلوبكتين من الزنجبيل أعلى من تلك الموجودة في الكرم ، وهو ليس هو الحال بالنسبة للأميلوز ، الذي يحتوي على مستوى عال من الكرم. ($P < 0.05$) أظهرت نتائجنا أنه مع زيادة درجة الحرارة ، يزداد التورم. يحتوي النشا على معدل تورم منخفض جدًا من 60 إلى 85 درجة مئوية للزنجبيل و 50 درجة مئوية إلى 70 درجة مئوية للكرم. ولكن بعد درجات الحرارة هذه ، تزداد قوة التورم في g / g من النشا بشكل حاد. كما لوحظت زيادة قوية في قابلية الذوبان في الماء من 70 درجة مئوية لنشا كرم لونها ومن 80 درجة مئوية للزنجبيل أوفيسيناليس. الرقم الهيدروجيني للمنتجين هو 06.52 و 07.04 على التوالي للزنجبيل والكرم. يتم تحقيق جلتنة نشا الكرم تحت المجهر البصري عند درجة حرارة 70 درجة مئوية بينما درجة حرارة الزنجبيل عند 80 درجة مئوية. هذه الخصائص الفيزيائية الكيميائية المختلفة تفضل استخدام هذه النشويات كمكثفات وعوامل تسمم في صناعة المواد الغذائية وكمادة سواغ في المستحضرات الصيدلانية.

Sommaire

Remerciements	
Résumés en Français, Anglais et Arabe	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale	01
Partie bibliographique	
Chapitre I	
I.1	03
I.2	03
I.2.1	03
I.2.2	03
I.2.3	05
I.2.4	06
I.2.5	07
I.3	08
I.4	08
I.4.1	09
I.4.2	10
I.4.2.1	10
I.4.2.2	10
I.4.3	11
I.5	12
I.5.1	12
I.5.2	13
I.5.3	14
Chapitre II	
II	15
II.1.	15
II.2.	15
II.3.	16
II.4.	17
II.5.	18
II.6.	19
II.7	20
II.7.1	20
II.7.2	20
II.7.2.1	20
II.7.2.2	22
Chapitre III	
III	23
III.1	24
III.2	26

III.3	Structure chimique de l'amidon	26
III.4	Amylose	27
III.5	Amylopectine	28
III.6	Traitement thermique de l'amidon	29
III.6.1	Comportement des granules d'amidon hydratées aux faibles températures	29
III.6.2	Transformations hydrothermiques de l'amidon	30
III.6.2.1	Gélatinisation	30
III.6.2.2	Mécanismes de gélatinisation de l'amidon	30
III.7	L'amidon de gingembre	31
III.8	L'amidon de Curcuma	34
Partie Matériel et méthodes		
IV	Matériel et méthodes	36
IV.1	Echantillonnage	36
IV.2	Extraction de l'amidon	36
IV.3	Prise d'essai pour analyse	36
IV.4	Dosage spectrophotométrique de l'amidon total, l'amylose et l'amylopectine	36
IV.4.1	Principe	36
IV.4.2	Matériels et réactifs	37
IV.4.3	Mode opératoire	38
IV.4.3.1	Courbe d'étalonnage de l'amidon standard	38
IV.4.3.2	Préparation de l'échantillon à analyser	38
IV.4.3.3	Dosage de l'amidon dans le matériel biologique	39
IV.5	Propriétés physicochimiques de l'amidon des deux épices	39
IV.5.1.	Pouvoir de gonflement	39
IV.5.2.	Indice de solubilité	39
IV.5.3.	pH	40
IV.5.4.	Température de gélatinisation	40
IV.6	Statistiques	40
Partie résultats et discussion		
V	Résultats et discussion	41
V.1	Dosage de l'amidon de Gingembre et de Curcuma	41
V.1.1	Etalonnage pour dosage à 580 nm	41
V.1.2	Etalonnage pour dosage à 720 nm	43
V.2	Pouvoir de gonflement	44
V.3	Solubilité de l'amidon	46
V.4	Détermination des pH	47
V.5	Gélatinisation de l'amidon	47
Conclusion générale		48
Références bibliographiques		50

Liste des tableaux

- Tableau 1 :** Répartition des macronutriments du gingembre (<http://www.aprifel.com/fiche-nutri-produit-gingembre.51.html>) (Pinson, 2012)
- Tableau 2 :** Composition chimique de la poudre de *Curcuma longa* (Jansen et al., 2005)
- Tableau 3 :** Teneurs (% MS) en amylose et en amylopectine d'amidons naturels (Cheftel et Cheftel, 1976)
- Tableau 4 :** Etablissement de la courbe d'étalonnage (mesures réalisées en triplet)
- Tableau 5 :** Modalités de dosage de l'amidon dans les échantillons (mesures réalisées en triplet)
- Tableau 6 :** Différentes concentrations en amidon standard
- Tableau 7 :** Composition en amylose et amylopectine de l'amidon de racine de gingembre et curcuma (% de la matière sèche)

Liste des figures

- Figure 1 : Aspect général de *Zingiber officinale* Roscoe (http://www.ethnopharmacologia.org/recherche-dans-prelude/?plant_id=13270)
- Figure 2 : Rhizome de *Zingiber officinale* (<https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/134/gingembre>)
- Figure 3 : Coupe transversale d'un rhizome de gingembre (abergo1.e-monsite.com/medias/files/ginger1.doc)
- Figure 4 : Gingembre- gari (<http://www.cuisine-japon.fr/gari-gingembre-marine-qui-accompagne-les-sushi/>)
- Figure 5 : Gingembre frais coupé, gingembre séché confit, et gingembre moulu (<http://www.gingembre.biologique.bio/category/histoire-origines/>)
- Figure 6 : Compléments alimentaires de gingembre, posologies et indications
- Figure 7 : Structure chimique des gingérols (<http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Js2200e/30.html>)
- Figure 8 : Formule chimique des shogaols (<http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Js2200e/30.html>)
- Figure 9 : Rhizome et poudre de curcuma (Hombourger, 1984)
- Figure 10 : Les sources de curcumine, d'après (Shishodia et al., 2005)
- Figure 11 : Dessin représentant la plante entière, d'après (http://www.plantcultures.org/plants/turmeric_landing.html), consulté le 02.06.2020)
- Figure 12 : Port de *Curcuma longa*. Souche connue sous le nom de curcuma long (en haut) et de curcuma rond (en bas), d'après (Boullard, 2001)
- Figure 13 : Dessin d'un artiste Indien, représentant l'inflorescence, d'après (http://www.plantcultures.org/plants/turmeric_landing.html)
- Figure 14 : *Curcuma longa*, Linné (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Curcuma>)
- Figure 15 : Rhizome de *Curcuma longa*, d'après (http://www.courscuisine.eu/photos/le_rhizome_de_curcuma.jpg)
- Figure 16 : Coupe d'un rhizome de *Curcuma longa*, L., d'après (http://www.archive.org/stream/compendiumoffood00clayrich#page/310/mod_e/2up)
- Figure 17 : Coupe transversale du tissu cortical d'un rhizome de *Curcuma longa* L., d'après http://books.google.fr/books?id=XIyc0SvKzVkC&pg=PA134&lpg=PA134&dq=fibro+vascular+bundle+turmeric&source=bl&ots=mbvCQD_3O&sig=XZpHqRhNz0IHvU9epkFaTMDcvBY&hl=fr&ei=jju7S6q8OsGTOPewyPkH&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=8&ved=0CCgQ6AEwBw#v=onepage&q=&f=false

- Figure 18 : Aspect microscopique de la poudre de *Curcuma longa*, L. montrant les grains d'amidon, le parenchyme et les grandes masses jaunes, d'après (<http://www.archive.org/stream/compendiumoffood00clayrich#page/310/mod/e/2up>)
- Figure 19 : Formes et tailles des granules d'amidon de maïs, blé, riz, pomme de terre, manioc et de pois (MEB grossissement $\times 280$) (Atkin et al., 1999, Leonel et al., 2003)
- Figure 20 : Structure et ultra structure d'un grain d'amidon classique d'après Levèque, Haye et Belarbi, 2000
- Figure 21 : Photographie et représentation schématique d'un grain d'amidon d'après Jenkins et Donald (1998)
- Figure 22 : Diagrammes de diffraction des rayons X des types cristallins A, B, C et V d'après Zobel (1988)
- Figure 23 : Structure chimique du D-glucopyranose (a) de l'amylose (b) et de l'amylopectine (c) (Buléon, 2001).
- Figure 24 : Comportement des granules d'amidons à teneurs croissantes en amylose sous différents traitements (Atkin et al., 1999)
- Figure 25 : Différents états du grain d'amidon placé en présence d'un excès d'eau et soumis au chauffage-refroidissement (Angellier, 2005)
- Figure 26 : Absorbances de l'amidon, de l'amylose et de l'amylopectine (Jarvis et Walker, 1993)
- Figure 27 : Droite d'étalonnage de l'amidon standard (580 nm)
- Figure 28 : Droite d'étalonnage de l'amidon standard (720 nm)
- Figure 29 : Gonflement de l'amidon natif de gingembre (A) et de curcuma (B) en fonction de la température ($^{\circ}\text{C}$).
- Figure 30 : Solubilité dans l'eau de l'amidon de gingembre (A) et de curcuma (B) en fonction de la température.
- Figure 31 : Observations en microscopie optique ($\times 400$) de poudre d'amidon de *Curcuma longa* avant chauffage (A) et après chauffage (B) et de *Zingiberofficinalis* avant (C) et après chauffage (D)

Liste des abréviations

Å :	Ångström
ANSES :	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ANSM :	Agence Nationale de la Sécurité du Médicament
<i>C. longa</i> :	<i>Curcuma longa</i>
cm :	centimètre
Da :	Daltons
DCP :	direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
DMSO :	Diméthylsulfoxyde
DO :	Densité optique
DP :	Degré de polymérisation
DRX :	Diffraction des rayons X
g:	gramme
I ₂ :	Iode
KDa :	Kilodaltons
Kg :	kilogramme
KI :	Iodure de potassium
ml :	millilitre
MS :	Matière sèche
µm :	micromètre
nm:	nanomètre
pH :	Potentiel d'hydrogène
<i>Z. officinale</i> :	<i>Zingiber officinale</i>

Introduction générale

Les épices sont largement utilisées pour leurs propriétés favorables à la santé. Si ces propriétés préventives ou curatives ont été constatées d'abord empiriquement, elles font l'objet actuellement de nombreux travaux du fait de la richesse des épices en molécules actives.

Le curcuma (*Curcuma longa*) est une plante herbacée rhizomateuse vivace du genre *Curcuma* de la famille des Zingibéracées originaire du sud de l'Asie. Il est largement cultivé en Inde mais aussi, à un moindre degré, en Chine, à Taïwan, au Japon, en Birmanie, en Indonésie et en Afrique. On utilise le rhizome séché et réduit en poudre comme épice et il entre couramment dans les mélanges d'épices de la cuisine indienne, en particulier le curry mais aussi le mukhavas (mélange indien de graines pris en fin de repas pour favoriser la digestion), le colombo antillais, le ras-el-hanout du Maghreb et d'Algérie (Garance Leureux, 2010). C'est un des constituant du «curry», avec la coriandre, la cannelle, le piment de Cayenne, le girofle, la muscade et le gingembre (FAO, 2004). Le curcuma est utilisé comme médicament traditionnel pour le traitement des maladies de peaux, en particulier en Inde et dans l'île Maurice dans le traitement de la gale. Il est utilisé depuis très longtemps comme anti-inflammatoire par la médecine ayurvédique indienne. Le cancer du côlon est statistiquement moins présent dans les aires où on le consomme régulièrement. Le principe actif du curcuma, la curcumine, est l'objet de recherches actives (<http://www.rtflash.fr/>). C'est un agent de chimioprévention efficace des cancers colorectaux chez les rongeurs.

Le gingembre (*Zingiber officinale*) est l'une des plus importantes épices à travers le monde. Cette espèce est d'une importance économique majeure à travers le monde (Nayak et al., 2005) ; car, elle permet de générer des ressources pour les producteurs. C'est une herbacée annuelle vivace grâce à son rhizome charnu, allongé et formé de plusieurs ramifications tubéreuses et noueuses. Selon Preeti et al. (2008), le gingembre est originaire du Sud-Est asiatique. C'est une large famille constituée de 47 genres et 1 400 espèces (Parthasarathy et al., 2012). Kress et al. (2002) ainsi que Jatou et al. (2007) rapportent que cette famille est divisée en 53 genres et plus de 1200 espèces qui se répartissent à travers l'Asie, les Iles du Pacifique et l'Afrique. Le gingembre est une épice d'une grande importance compte tenu de ses vertus médicinales. Cette espèce contient de nombreux composés tels que les gingérols, les gingerdiols et les gingerdiones (Colleen et al., 2012). Ces composés possèdent une activité antioxydante élevée (Singh et al., 2008; Akbarian et al., 2011). Dans la médecine chinoise, le gingembre est traditionnellement utilisé pour traiter les problèmes d'estomac et d'indigestion,

de diarrhée, de nausée (Shamsi et al., 2010 ; Azam et al., 2014), le rhumatisme, les maladies nerveuses, les maux de dents, l'asthme, la constipation, le diabète, etc... (Soong-Yukuo et al., 2011). La plante représente donc une plante d'intérêt majeur pour la pharmacopée.

Le rhizome du curcuma (famille des zingibéracées) est riche en composés phénoliques, notamment en curcuminoïdes. Le curcuma a donc des propriétés diverses (antioxydante, anti-inflammatoire, détoxiquante...). Dans le curcuma, on retrouve plusieurs éléments qui sont réduits en poudre : des huiles essentielles ; de la curcumine ; de l'amidon ; des colorants ; des vitamines et des fibres. Le Curcuma renferme 45 à 55 % d'amidon et d'arabino-galactanes (ukonanes).

Outre les huiles essentielles et l'oléorésine, le gingembre quant à lui renferme d'autres composés notamment l'amidon qui est son constituant majeur (Dei-Tutu et Rish, 1976 ; Natarajan et al., 1972) avec une teneur comprise entre 40,4 et 59% (Natarajan et al., 1972).

L'amidon est une substance de réserve alimentaire prédominante dans les plantes et fournit 70 à 80% des calories consommées par l'homme dans le monde. Il possède des caractéristiques chimiques et physiques uniques et sa qualité nutritionnelle le distingue de tous les autres glucides.

La présence de ce composé dans les deux types d'épices à des concentrations élevées suscite l'intérêt des chercheurs dont les travaux ont porté sur la valorisation du curcuma (*Curcuma longa*) et le gingembre (*Zingiber officinale*) à travers la caractérisation des propriétés physico-chimiques et fonctionnelles de son amidon.

Dans ce présent travail nous avons quantifié l'amidon total dans les deux épices et ses constituants l'amylose et l'amylopectine en vue d'une comparaison des deux produits et l'appréciation de leurs pouvoirs de gonflement, leurs solubilités, leurs potentiels d'hydrogènes et leurs cinétiques de gélatinisation.

I.1 Définition des épices

Une épice est une matière organique d'origine végétale odorante ou piquante, que l'on utilise pour assaisonner les plats. Les épices peuvent être issues d'écorces (cannelle), de fleurs (safran, clou de girofle), de feuilles (thé, Thym), de fruits (poivre, aneth, moutarde), de bulbes (ail, oignon, gingembre, curcuma) ou de graines (fenouil, coriandre).

Elles contiennent des composés odorants (parfois nommés fautivelement « arômes »), mais aussi des composés sapides et, surtout, des composés à action trigéminal, ce qui les distingue des aromates. Elles sont donc responsables des odeurs (orthonasale: par les narines ; ou rétronasales : par les fosses rétronasales, qui relie la bouche au nez), des saveurs, et des stimulations du nerf trijumeau (piquants, frais...).

Les épices sont utilisées en petite quantité en cuisine, comme conservateur, assaisonnement ou colorant. Les épices sont à différencier d'autres produits utilisés pour parfumer les plats, comme les herbes aromatiques ou les fruits.

Ce sont pour la plupart des produits exotiques, ce qui explique que les épices étaient parmi les produits agricoles importés les plus coûteux, durant l'Antiquité et le Moyen Âge. Un grand nombre d'épices étaient employées autrefois en médecine (Hombourger, 2010 ;Butin, 2017)

I.2 Le gingembre (*Zingiber officinale*)

I.2.1 Etymologie

Le nom *Zingiber officinale* et sa traduction française «gingembre» proviennent du mot sanskrit shringavera, qui signifie « en forme de bois de cerf », en allusion à la forme des jeunes pousses sortant de son rhizome. Apparaît ensuite le nom grec ziggiberis, qui découlerait du nom arabe zangabil. Le terme latin zingiber apparaît plus tard, et est à l'origine du nom de genre botanique *Zingiber*. Il est adapté en vieux français en « gingibre », pour finalement s'écrire « gingembre » à partir du XIIIe siècle (Pinson, 2012).

I.2.2 De son origine à son état actuel

• *Premières traces*

Le gingembre est une plante dont l'origine exacte est inconnue, mais de nombreux pays du continent asiatique l'utilisent depuis des millénaires à la fois comme condiment, et comme plante médicinale : en effet, le rhizome de gingembre est très employé dans la médecine ayurvédique indienne et dans la médecine traditionnelle chinoise. Confucius, grand philosophe chinois, le mentionne dès 500 avant Jésus-Christ : dans ses entretiens, il est dit que

« le gingembre éclaircit l'intelligence, et dissipe toutes les impuretés. Confucius en avait toujours sur sa table » (Confucius, 2016).

• **Importation en Occident**

Les Phéniciens ont probablement été les premiers à importer le gingembre dans le bassin méditerranéen, dès le IV^e siècle avant Jésus-Christ. C'est cependant au 1^{er} siècle après Jésus-Christ, grâce aux marins arabes naviguant sur la Mer Rouge, que la plante fut véritablement introduite en Grèce et à Rome.

Par son goût poivré et par le manque de données concernant son origine, les occidentaux ont longtemps cru que le gingembre constituait la racine du poivre. C'est l'écrivain et naturaliste romain Pline l'Ancien (<http://www.gingembre.biologique.bio/category/histoire-origines/>; <http://www.ameli-sante.fr/ulcere-gastroduodenal/lulcere-gastroduodenal-definition-et-causes.html>), qui contredit les idées reçues : «Ce n'est pas la racine du poivrier, comme certains l'ont pensé, qui porte le nom de zimpiberi ou, suivant d'autres, celui de zingiberi, quoique la saveur soit la même, car le gingembre croît dans l'Arabie et dans le pays des Troglodytes, au voisinage des habitations. C'est la racine blanche d'une petiteherbe.» (<http://remacle.org/bloodwolf/erudits/plineancien/livre12.htm>). Il le décrit également comme «une racine blanche, âpre et piquante au goût». Dioscoride, médecin grec du I^{er} siècle après Jésus-Christ, décrit ses vertus carminatives et antitoxines dans son traité *De universamedicina*: «Il croît en Arabie et aux Indes, ses racines ont quasi le gout du poivre, bon à manger il aide à la digestion, mollit le ventre moyennement, est bon à l'estomac ; on le mêle aux antidotes» (http://www.toildepices.com/wiki/index.php?title=Histoire_du_gingembre). Les vertus culinaires du gingembre sont également mises en lumière dès le IV^e siècle, grâce au romain Apicius, qui le cite dans son traité de cuisine *De recoquinaria*.

• **Début du commerce en Europe**

Au VII^e siècle, le commerce du gingembre débute entre les Arabes et les pays méditerranéens voisins. Très utilisé par les pays du Moyen Orient, il est d'ailleurs mentionné dans le Coran. Au Moyen-Âge, c'est à dire à partir du IX^e siècle, le commerce du gingembre se fait de plus en plus fréquent, et la route des Indes devient une importante voie d'échange de cette épice vertueuse entre l'Orient et l'Europe. Commercialisé sous forme sèche, le rhizome de gingembre est une épice très prisée donc onéreuse.

Vers 1100, les vertus médicinales du gingembre se font connaître : la célèbre religieuse allemande Hildegarde de Bingen l'utilise dans ses remèdes pour ses actions antiseptique et tonique.

A la même époque, l'école de Salerne, l'une des plus importantes écoles européennes de médecine du Moyen-Âge, lui prête de multiples vertus : « Le gingembre prévient nos maux, les guérit tous, jusqu'aux plus anciens, et chasse les dégoûts » (Levacher, 1779).

• **Introduction en Afrique et en Amérique**

L'implantation du gingembre en Afrique a lieu au XIII^e siècle, grâce au commerce entre les Arabes avec l'Afrique de l'Est. Sa culture s'étendra ensuite rapidement jusqu'en Afrique occidentale grâce aux colons portugais.

Francesco de Mendoca, le fils du vice-roi du Mexique, introduit le gingembre sur le continent américain, peu de temps après la découverte du Nouveau Monde. Sa culture connaît alors un bel essor dans toutes les Antilles ainsi qu'en Jamaïque, qui devient un pays exportateur dès le XVI^e siècle. Grâce à cette forte production outre Atlantique, son prix devient plus abordable en Europe (http://www.toildepices.com/wiki/index.php?title=Histoire_du_gingembre).

I.2.3 Etude botanique de *Zingiber officinale* Roscoe

2.1 Classification

Le gingembre, dont le binôme latin est *Zingiber officinale*, appartient à :

- Règne : Végétal
- Embranchement : Spermatophyte
- Sous-embranchement : Angiospermes (Magnoliophyta)
- Classe : Monocotylédones (Liliopsida)
- Sous-classe : Zingiberidae • Ordre : Zingibérales
- Famille : Zingiberaceae
- Genre : *Zingiber*
- Espèce : *Zingiber officinale* Roscoe

La famille des Zingiberaceae est une importante famille botanique qui regroupe plus de 1000 espèces différentes. Ce sont toutes des plantes herbacées de grande taille, vivaces, à rhizome souterrain ramifié à l'origine de racines formant souvent des tubercules, et de plusieurs tiges aériennes portant des feuilles distiques, c'est à dire disposées sur deux rangs opposés (Botineau, 2010). Le gingembre, de par son nom, est la plante la plus connue des Zingiberaceae. Cependant, d'autres espèces ont déjà montré d'intéressantes propriétés, tel que

Curcuma longa, riche en curcuminoïdes, composés responsables à la fois de sa couleur jaune (il est d'ailleurs le principal constituant du curry), et de ses propriétés pharmacologiques (Botineau, 2010). Le curcuma est d'ailleurs appelé «gingembre safran» à la Réunion.

I.2.4 Description botanique

Aspect général



Figure 1 : aspect général de *Zingiber officinale* Roscoe (http://www.ethnopharmacologia.org/recherche-dans-prelude/?plant_id=13270)

Zingiber officinale est une plante vivace tropicale herbacée, dont le port fait penser à celui d'un roseau, et mesure environ 1m30 de haut. Il s'agit d'une plante stérile : les quelques graines et fruits produits n'entraînent pas de reproduction sexuée. La multiplication de la plante se fait grâce aux bourgeonnements de son rhizome à l'origine de nouveaux plants.

Partie souterraine

Le rhizome et les racines qui en découlent constituent la partie souterraine de *Zingiber officinale*. Le rhizome est de forme caractéristique : certains y trouvent une ressemblance avec les bois d'un cerf, d'autres disent qu'il a la forme d'une main gonflée.



Figure 2 : Rhizome de *Zingiber officinale* (<https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/134/gingembre>)

Il possède une peau beige et une chair jaune parfumée et juteuse. En vieillissant, il se couvre d'épaisses écailles et devient plus fibreux. Les racines, de forme cylindrique, s'insèrent au niveau de la partie inférieure du rhizome (Faivre, 2006). Le rhizome de *Zingiber officinale* constitue la partie active de la plante (Butin, 2017).

I.2.5 Partie active et Pharmacopée

La partie souterraine de *Zingiber officinale* Roscoe, c'est à dire le rhizome, constitue la partie active de la plante. Deux types de rhizomes sont généralement utilisés :

- Le rhizome gris (ou noir) ou rhizome complet : séché tel quel, sa surface externe conserve sa couche de liège protectrice, ce qui le rend rugueux au toucher.
- Le rhizome blanc : décortiqué avant d'être séché, l'absence de liège est responsable de son aspect blanc et de sa surface lisse.

Dans les deux cas, le parenchyme interne reste jaune (<http://www.guide-phytosante.org/aphrodisiaques/gingembre/gingembre-description.html>)

Au niveau macroscopique, il est ramifié dans un seul plan, et mesure 5 à 12 cm de long pour 1,5 à 2 cm de large et 1 à 1,5 cm d'épaisseur. Possédant de nombreuses ramifications ou lobes répartis de façon irrégulière, il est dit digité. Comme décrit précédemment, sa peau est beige et son parenchyme jaune, riche en amidon. Son odeur est forte et très aromatique, et son goût fort et épicé (ANSM, 1989 ;) ([http://www.botanicalauthentication.org/index.php/Zingiber_officinale_\(rhizome\)](http://www.botanicalauthentication.org/index.php/Zingiber_officinale_(rhizome)))

Au niveau microscopique, plusieurs types de cellules coexistent : (figure 3)

- En périphérie se trouvent des cellules subérifiées à l'origine de la couche de liège qui enveloppe le rhizome. Elles sont polygonales, et deviennent rectangulaires en profondeur.
- Le parenchyme cortical contient à la fois des cellules à oléorésine polygonales et riches en molécules actives, de nombreux grains d'amidon (on parle de parenchyme amylofère), ainsi que des cellules de soutien regroupées en faisceaux libéro-ligneux.
- L'endoderme est peu développé et son péricycle n'est constitué que d'une seule couche de cellules.
- Le cylindre central est volumineux et contient de nombreuses fibres et faisceaux libéro-ligneux, et est riche en grains d'amidon de formes et de tailles variées (ANSM, 1989).

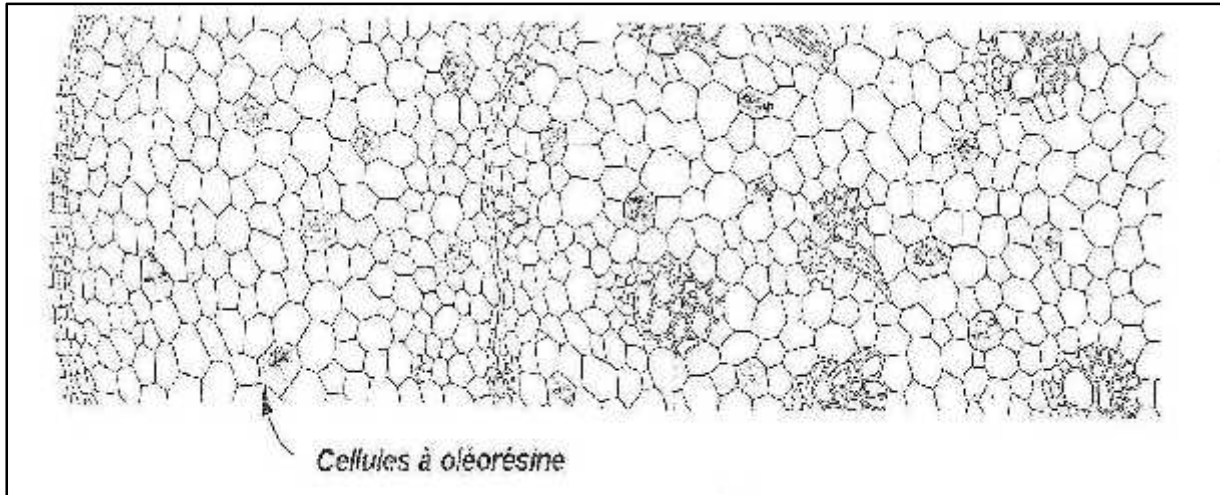


Figure 3: Coupe transversale d'un rhizome de gingembre
(abergo1.e-monsite.com/medias/files/ginger1.doc)

I.3 Règlementation

Le rhizome de *Zingiber officinale* séché fait partie des plantes médicinales inscrites dans les Pharmacopées Française et Européenne. La 4^{ème} édition de la Pharmacopée Européenne (2002) attribue en effet une monographie aussi bien au rhizome gris qu'au rhizome blanc de gingembre, sous forme entière ou sous forme coupée (Bruneton, 2012). Au niveau international, bien qu'entrant dans de nombreuses Pharmacopées, les recommandations relatives à l'utilisation du rhizome du gingembre sont variables selon les pays. Ainsi, depuis la fin des années 1990, les textes allemands reconnaissent plusieurs de ses propriétés, notamment son effet antiémétique et diverses actions digestives. A l'inverse, aux Etats-Unis, sa monographie ne le considère pas comme utilisable à des fins thérapeutiques, à cause d'une insuffisance d'études à son sujet (Bruneton, 2012). La réglementation française le place parmi les plantes entrant dans la composition de médicaments à base de plantes, et son effet dans le traitement du mal des transports est mentionné. La teinture mère de gingembre possède notamment une monographie de contrôle dans le cadre d'une utilisation comme préparation homéopathique. Elle est obtenue suite à l'extraction du rhizome séché de *Zingiber officinale* Roscoe par de l'éthanol anhydre, et a un titre alcoolique de 65% V/V. Elle est de couleur jaune, et présente une fluorescence verte claire sous lumière ultraviolette à la longueur d'onde de 365 nm (ANSM, 1989).

I.4 Utilisations

Les utilisations culinaire et thérapeutique du gingembre sont intimement liées : depuis toujours considéré comme une épice vertueuse, le gingembre entre dans la composition de nombreux plats typiques orientaux et fait partie intégrante des médecines traditionnelles

chinoise et indienne. De nos jours et dans les pays occidentaux, le gingembre est de plus en plus utilisé en cuisine, et au niveau médical, de nombreux compléments alimentaires en contiennent.

I.4.1 Utilisation culinaire

Depuis très longtemps, le gingembre est utilisé comme épice dans la cuisine asiatique, notamment japonaise et indienne ; et africaine. Dans la tradition japonaise, le gingembre mariné dans un mélange de vinaigre, de sucre et de sel, appelé gari, sert d'accompagnement aux sushis.



Figure 4 : Gingembre- gari (<http://www.cuisine-japon.fr/gari-gingembre-marine-qui-accompagne-les-sushi/>)

En cuisine chinoise, le goût fort des racines de gingembre est utilisé pour couvrir l'odeur de la viande de mouton ou des fruits de mer. En Inde, les épices sont indissociables de la cuisine quotidienne. Le gingembre réduit en poudre est notamment utilisé en association avec le curry pour relever de nombreux plats. En Afrique, le rhizome frais est généralement pressé pour en récolter le jus et le consommer comme boisson : appelé *GnamakouDjidans* plusieurs pays, cette eau pimentée est à la fois désaltérante et possède de nombreux bienfaits sur la santé (<http://www.recettesafricaine.com/jus-de-gingembre.html>).

L'attrait récent des pays occidentaux envers les traditions culinaires exotiques a permis de démocratiser l'utilisation du gingembre et de donner un nouveau souffle au commerce de cette épice. L'industrie agro-alimentaire l'utilise notamment dans la fabrication de diverses boissons, tels que des sodas, des eaux et thés aromatisés, ou encore des bières.

Il est de nos jours possible de trouver dans le commerce le gingembre sous de nombreuses formes, qui découlent soit de rhizomes frais, soit de rhizomes séchés :

- les rhizomes frais peuvent être vendus tels quels, en conserve, ou encore sous forme d'extraits liquides (décoctions, teintures...).
- les rhizomes séchés sont d'abord nettoyés avant d'être préparés de différentes façons épluchés (c'est à dire débarrassés de la couche de liège superficielle), fendus, moulus ou confits (trempés dans du sirop de sucre).



Figure 5 : Gingembre frais coupé, gingembre séché confit, et gingembre moulu (<http://www.gingembre.biologique.bio/category/histoire-origines/>)

I.4.2 Utilisations thérapeutiques ancestrales

Les propriétés thérapeutiques du gingembre sont connues et reconnues depuis très longtemps dans les médecines traditionnelles asiatiques, qui l'ont utilisé à des fins médicales avant de l'utiliser dans le domaine culinaire.

I.4.2.1 Utilisation en médecine traditionnelle chinoise

En chine le gingembre, plante à la saveur piquante et poivrée, est considéré comme un vecteur de *yang*, c'est à dire qu'il apporte de l'énergie, du tonus et de la chaleur (https://fr.wikipedia.org/wiki/Yin_et_yang). Ainsi, son rhizome séché (appelé « gan jiang ») est utilisé pour dissiper la fièvre en favorisant la transpiration, pour traiter une bronchite chronique, ou encore pour diminuer les coliques intestinales, les vomissements, les douleurs épigastriques, ou toutes les maladies de refroidissement. Le gingembre frais (appelé « sheng jiang ») est également employé pour ses vertus antitoxines, notamment vis à vis d'empoisonnements par des produits marins, ou par certaines plantes tel que l'aconit (Weici, 2011).

I.4.2.2 Utilisation en médecine ayurvédique

Selon l'Ayurveda, c'est à dire la médecine traditionnelle indienne (reconnue comme méthode de soin en 1982 par l'Organisation Mondiale de la Santé), il existe une force vitale appelée *Prana*, présente dans toute forme de vie (nature, plantes, animaux, humains). Cette force est divisée en trois humeurs qui constituent trois énergies conditionnant l'état de santé (<http://www.ayurveda-france.org/praticiens/Les-trois-principes-d-energie.html>). Le gingembre occupe une place importante dans la pharmacopée ayurvédique et permet de rééquilibrer les affections, c'est à dire les maladies liées à une congestion ou à un refroidissement (rhumes, toux...), mais aussi celles liées aux nausées, vomissements, problèmes de digestion. Il est également actif sur les déséquilibres, ballonnements, gaz,

douleurs abdominales, mais aussi douleurs articulaires. Enfin, ses propriétés vasodilatatrices et antitoxines permettent de maintenir un bon fonctionnement de l'organisme (<http://www.ayurveda-france.org/praticiens/Le-gingembre.html>).

I.4.3 Utilisations thérapeutiques actuelles

Aujourd'hui, le rhizome de *Zingiber officinale*, comme de nombreuses plantes et épices, n'est pas considéré comme un médicament. Il entre cependant dans la composition d'une multitude de compléments alimentaires, d'indications diverses.

D'après l'Anses (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), «On entend par compléments alimentaires les denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés...» (<https://www.anses.fr/fr/content/que-sont-les-compléments-alimentaires>). Bien qu'il ne s'agisse pas de médicaments et qu'ils ne nécessitent pas d'autorisation de mise sur le marché pour être commercialisés, les compléments alimentaires font l'objet de contrôles de qualité et de composition, et doivent obtenir un dossier d'enregistrement validé par la direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DCP en Algérie ou le ministère du commerce) afin d'être admis dans le système commercial (<https://www.anses.fr/fr/content/que-sont-les-compléments-alimentaires>).

Comme pour l'ensemble des compléments alimentaires, la commercialisation du gingembre peut se faire en dehors des pharmacies : on en trouve en effet en grandes surfaces, dans les parapharmacies, ou sur internet.

Reconnu comme agent préventif des nausées et vomissement dus à la grossesse par l'OMS depuis 1999, son indication principale est donc le traitement des nausées, quelle qu'en soit l'étiologie. Il est également indiqué comme carminatif, stimulant, tonique, ou encore booster de libido.

Les formes de gingembre disponibles sur le marché sont variées : dans la plupart des cas, le rhizome se trouve sous forme d'extrait sec (c'est à dire qu'il est séché puis pulvérisé) contenu dans des gélules ; il peut également se présenter sous forme liquide, en teinture ou en ampoules buvables par exemple.

Il peut constituer le seul composant actif de certains compléments, mais peut également être associé à d'autres plantes ayant des actions similaires.

Les produits ci-dessous regroupent quelques-unes de ces spécialités (figure 6).



Figure 6 : Compléments alimentaires de gingembre, posologies et indications

I.5 Phytochimie

La composition chimique du gingembre est complexe : outre l'amidon qui représente une grande partie du poids de la plante (environ 60%), on distingue la présence d'oléorésine, riche en composés piquants et en lipides ; et de 10 à 40 ml/kg d'huile essentielle, contenant de nombreuses molécules odorantes. Des protéines, des vitamines et des minéraux sont également présents (Bruneton, 2009).

I.5.1 Oléorésine

L'identification des composés de l'oléorésine se fait par chromatographie liquide haute performance (HPLC) : plus de 100 molécules ont ainsi pu être isolées.

Parmi elles, les 1-(3'-méthoxy-4'-hydroxy-phényl)-5-hydroxy-alcan-3-ones sont majoritaires : plus communément nommés gingérols, leur chaîne carbonée latérale est de longueur variable (entre 7 et 16 atomes de carbone). Ainsi, on distingue le (6)-gingérol, principal représentant, du (3)-gingérol, (5)-gingérol, (8)-gingérol ou encore (10)-gingérol (Bruneton, 2009) (figure 7).

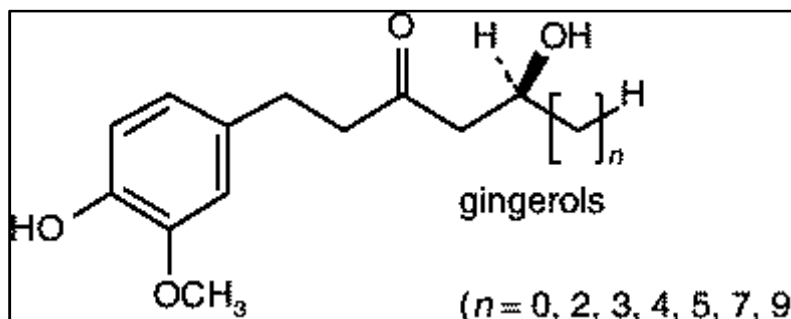


Figure 7 : Structure chimique des gingérols (<http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Js2200e/30.html>)

Ces composés phénoliques, responsables de la saveur piquante du gingembre, font l'objet de recherches approfondies concernant leurs propriétés chimiques et pharmacologiques.

Les rhizomes secs de gingembre contiennent des produits issus de la déshydratation des gingérols et présentant également des propriétés pharmacologiques intéressantes : les shogaols, ou 5-désoxy-4,5-déhydrogingérols (Bruneton, 2009).

Plus la dessiccation du rhizome est importante, plus la proportion de shogaols augmente, et à l'inverse, plus la proportion de gingérols diminue (figure 8).

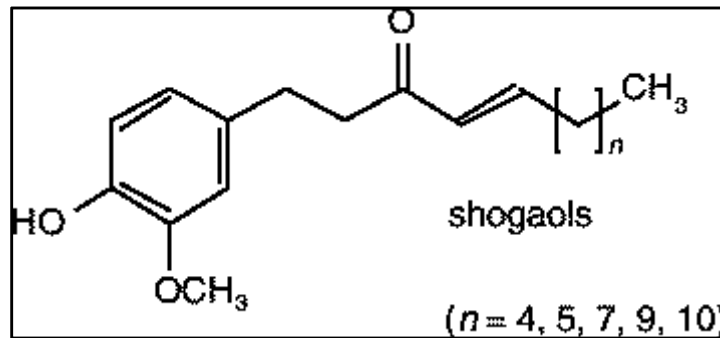


Figure 8: Formule chimique des shogaols (<http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Js2200e/30.html>)

L'oléorésine contient aussi des dérivés de type diarylheptanes : les gingerenones A, B, et C, et l'isogingerenone B sont des molécules fréquemment isolées des racines et rhizomes de plusieurs espèces de zingiberacées, dont le curcuma (Escop, 2009).

Enfin, des composés mineurs relatifs aux gingérols s'ajoutent à cette composition : des cétones telle que la zingérone, des gingerdiols (issus des rhizomes frais), des paradols (ou déoxygingérols) ainsi que des esters (Bruneton, 2009 ; Escop, 2009).

Des lipides entrent également dans la composition de l'oléorésine. La majorité (53%) des acides gras totaux sont des acides gras insaturés, l'acide oléique et l'acide linoléique étant leurs principaux représentants. Les acides gras saturés, et principalement l'acide palmitique, représentent environ 46% des acides gras totaux. On note également la présence de glycolipides, en faible quantité (Escop, 2009).

1.5.2 Huile essentielle

De couleur jaune à brune, l'huile essentielle de gingembre contient de nombreux composés volatiles odorants. Leur teneur varie beaucoup en fonction de l'origine géographique de la plante et des méthodes d'extraction. La teneur totale en huile essentielle reste faible : entre 0,25% et 5% (Escop, 2009). La chromatographie en phase gazeuse permet d'analyser plus d'une centaine de composants. La plupart des composants sont des hydrocarbures sesquiterpéniques :

- Zingibérène : constituant majeur
- Bêta-bisabolène

- Bêta-sesquiphellandrene
- Alpha-farnésène
- Curcumène...(http://www.doc-developpement-durable.org/file/huiles-essentielles/fiches_plantes&huiles/gingembre/huile%20essentielle%20de%20gingembre.pdf)
(<http://www.aprifel.com/fiche-nutri-produit-gingembre,51.html>).

I.5.3 Autres composés et analyse nutritionnelle

D'un point de vue nutritionnel, l'apport calorique du gingembre est estimé à 332 Kcal pour 100g de plante fraîche. Cet apport provient principalement des glucides, comme le montre le **tableau 1** ci-dessous :

Tableau 1 : Répartition des macronutriments du gingembre (<http://www.aprifel.com/fiche-nutri-produit-gingembre,51.html>) (Pinson, 2012)

Composants		Quantité pour 100g
Eau		10g
Glucides	Totaux	70g
	Amidon	55g
	Sucres	3,5g
	Fibres	De 12,5 à 14g
Protéines		9g
Lipides		De 4 à 6g

Les quantités précises varient selon les sources, c'est pourquoi des valeurs arrondies ont été utilisées ici, afin de donner un ordre de grandeur des quantités.

L'amidon représente plus de la moitié du poids d'un rhizome de gingembre : ce polysaccharide (constitué de plusieurs chaînes de D-glucose) issu des mécanismes de photosynthèse constitue une importante réserve glucidique nécessaire à la survie, à la croissance et la reproduction de la plante.

D'autres glucides tels que le fructose, le glucose et le saccharose sont également présents, mais en faible proportion (Pinson, 2012).

Bien que présents en faible quantité, des minéraux et des vitamines composent également les rhizomes frais de gingembre (<http://www.aprifel.com/fiche-nutri-produit-gingembre,51.html>).

II. Généralités sur le Curcuma (*Curcuma longa*)

II.1. Etymologie

Le terme de curcuma est d'origine irano-indienne. Il dérive du sanscrit *kartouma* qui a donné *kurkumen* persan ancien, *kourkoumen* arabe et curcuma en latin (Delaveau, 1987). C'est sous cette dernière forme qu'il est passé dans les langues européennes, le « c » se transformant parfois en « k » dans les langues germaniques, à l'exception de l'anglais qui le désigne sous le nom de *turmeric*. C'est d'ailleurs la langue anglaise qui a conservé l'origine de son appellation en latin médiéval, *terra merita* (terre mérite) par le mot "*turmeric*". Notons que sa couleur jaune intense le fait parfois nommer, bien à tort, *safran cooliet safrandes Indes* (Delaveau, 1987).

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 (<http://www.passeportsante.net>, consulté le 02.06.2020).

II.2. Historique

Le curcuma est une épice qui fait l'objet d'échanges commerciaux depuis tellement longtemps qu'on ne peut déterminer avec certitude son origine. On pense cependant qu'il vient du Sud ou du Sud-Est de l'Asie, peut-être plus spécifiquement de l'Inde, d'où il se serait répandu dans toute l'Asie, de même qu'au Proche et au Moyen-Orient, il y a des milliers d'années (Penso, 1986). Son emploi, en Asie, en Afrique et au Proche et Moyen-Orient, remonte à plus de 4000 ans (Perry, 2008). Dès cette époque, le curcuma est utilisé en tant qu'épice, mais aussi comme agent de coloration de plusieurs aliments, tels que le cari et la moutarde, de même que dans la production de cosmétiques, de teintures et de médicaments (Perry, 2008). Le curcuma serait connu en Chine depuis très longtemps puisque le plus vieux traité de médecine chinoise, le PEN-TSAO de Sheng Nung écrit vers 2600 av J.-C., le mentionne dans le traitement des douleurs rhumatoïdes (Penso, 1986).



Figure 9 : Rhizome et poudre de curcuma (Hombourger, 1984)

L'usage du curcuma en Inde serait apparu en tant que substitut du safran et autres poudres jaunes apportées par les anciens aryens lorsqu'ils envahirent cette partie du continent asiatique vers 2000 av J.-C (Dymock, 1890). Du monde asiatique, il passe par la voie commerciale en Grèce. Dioscorides, médecin hellène devenu militaire romain et praticien réputé à Rome, décrit la curieuse drogue comme *kupeirosex India: cyperus* (ou souchet) des Indes ; l'intense couleur jaune lui fait croire à tort à des propriétés identiques à celles du Safran. Une grande confusion de termes s'installera, au cours du Moyen Age, tandis que les marchands arabes introduisent largement ce curieux produit. Ainsi au XVIIIe siècle P. Pomet écrira : « La terra merita que quelques-uns appellent curcuma et d'autres Safran ou Souchet des Indes, ou de Malabar ou de Babylone, est une racine presque semblable au gingembre » (Delaveau, 1987).

II.3. Classification systématique

Le genre *Curcuma*, selon la classification APG III (Angiosperms Phylogeny Group) appartient à :

- la classe des monocotylédones
- l'ordre des scitaminales ou zingibérales
- la famille des *Zingiberaceae*

On dénombre près de 80 espèces dans ce genre (Guldner, 1986). Il regroupe de nombreuses espèces ornementales, tandis que d'autres se sont démarquées par l'utilisation de leur rhizome, aux propriétés culinaires et médicinales. Parmi ces espèces, *Curcuma longa* Linné est de loin le plus utilisé et par conséquent le plus étudié, mais on retrouve également *Curcuma xanthorrhiza* Roxburgh dit *temoelawaket* la zédoaire, décrite sous le nom de *Curcuma zedoaria* Roscoe ou *Curcuma zerumbet* Roxburgh (figure 10) (Delaveau, 1987).

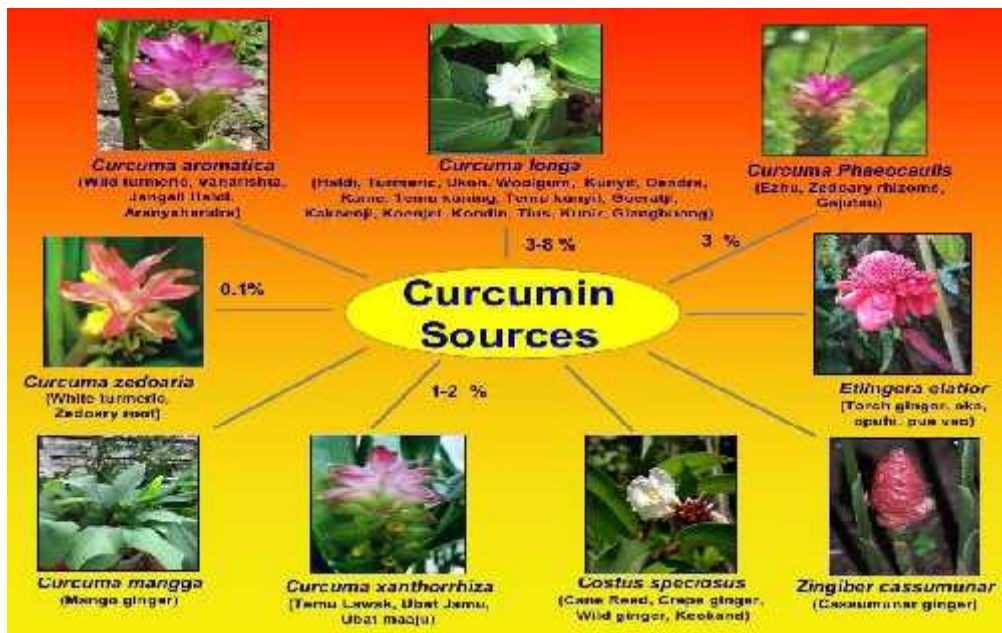


Figure 10 : Les sources de curcumine, d'après (Shishodia et al., 2005)

II.4. Description de la plante

*Curcuma longa*L. est une plante vivace atteignant un mètre, pérenne par son rhizome (figure 11).



Figure 11 : Dessin représentant la plante entière, d'après (http://www.plantcultures.org/plants/turmeric_landing.html , consulté le 02.06.2020)

Les rhizomes principaux de forme ovoïde fournissent le curcuma rond et les secondaires le curcuma longa. Epais, écailleux, se ridant par dessiccation, ces rhizomes sont d'une couleur jaune orangé en section, gris brunâtre en surface. Une odeur aromatique se dégage après section du rhizome (Delaveau, 1987).

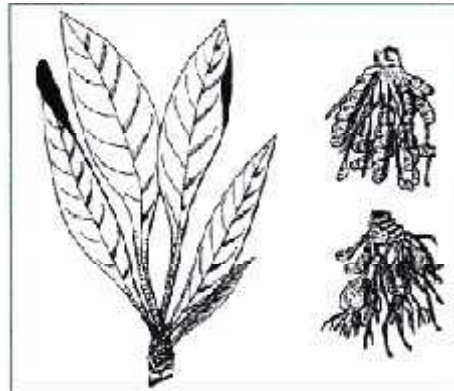


Figure 12: Port de *Curcuma longa*. Souche connue sous le nom de curcuma long (en haut) et de curcuma rond (en bas), d'après (Boullard, 2001)

Ses feuilles, très longues, oblongues à elliptiques, engainantes, possèdent une puissante nervure axiale et des nervures secondaires parallèles (Boullard, 2001). Les gaines des feuilles forment une pseudotige courte, les limbes sont vert foncé au-dessus, vert très clair en dessous, criblés de points translucides (figure 12). Au sein des feuilles s'élève l'inflorescence constituée d'un épi cylindrique atteignant 20 cm de long. Celui-ci est formé de bractées imbriquées vert foncé et stériles, à l'aisselle desquelles naissent les fleurs blanches ou jaunâtres, une pour chaque bractée [xvi]. Seules les bractées sommitales, roses, sont de plus bel effet (figure 13)(Boullard, 2001).



Figure 13 : Dessin d'un artiste Indien, représentant l'inflorescence, d'après (http://www.plantcultures.org/plants/turmeric_landing.html)

Les fleurs possèdent :

- un calice tubulaire, court, présentant 3 dents inégales
- une corolle tubulaire à sa base, puis divisée en 3 lobes jaunes inégaux
- des étamines dont une seule fertile, bifide, l'anthère présentant un large éperon courbé à la base
- un ovaire infère, triloculaire, surmonté d'un style terminé par un stigmate simple et en crochet

Le fruit, rarement produit, est une capsule à trois loges, contenant de nombreuses graines arillées (figure 14)(Jansen et al., 2005).



Figure 14: *Curcuma longa*, Linné (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Curcuma>)

II.5. Production et commerce international

Actuellement, le curcuma est largement cultivé partout sous les tropiques, mais sa production commerciale est limitée à l'Inde et à l'Asie du Sud-Est (Jansen et al., 2005).

L'Inde est le plus gros producteur, avec 400 000 tonnes sur 130 000 hectares et domine le commerce international qui est estimé à 20 000 tonnes par an. Le curcuma est présent sur le marché international sous la forme de rhizome long ou doigt et sous la forme de rhizome rond ou bulbe [xii]. On compte parmi les autres producteurs d'Asie, le Bangladesh, le Pakistan, le Sri Lanka, Taïwan, la Chine, le Myanmar et l'Indonésie. Il est aussi cultivé dans les Caraïbes, ainsi qu'en Amérique centrale et du Sud, la Jamaïque, Haïti et le Pérou étant les principaux pays producteurs (Jansen et al., 2005). Tous les producteurs asiatiques sont aussi de gros consommateurs et certains sont même des importateurs nets, alors que les pays non asiatiques exportent la plus grande partie de leur production. Le commerce du curcuma à partir des pays d'Asie transite essentiellement par Singapour (Jansen et al., 2005). Les plus grands importateurs sont l'Iran, le Sri Lanka, la plupart des pays du proche Orient et l'Afrique du Nord (http://www.plantcultures.org/plants/turmeric_landing.html; Jansen et al., 2005)]. Taïwan est le principal fournisseur du Japon, tandis que le curcuma jamaïcain approvisionne en grande partie le marché nord-américain (Jansen et al., 2005).

II.6. Composition chimique

Pour 100 g de partie comestible, la poudre de curcuma contient approximativement les métabolites primaires comme illustré par le tableau 2.

Tableau 2 : Composition chimique de la poudre de *Curcuma longa* (Jansen et al., 2005)

Eau 11,4 g	P 268 mg
Energie 1481 kJ (354 kcal)	Fe 41,4 mg
Protéines 7,8 g	Zn 4,4 mg
Lipides 9,9 g	Vitamine A traces
Glucides 64,9 g	Thiamine 0,15 mg
Dont Amidon : 45 à 55% de la composition totale	Riboflavine 0,23 mg
Fibres alimentaires 21,1 g	Niacine 5,14 mg
Ca 183 mg	Folate 39 µg
Mg 193 mg	Acide ascorbique 25,9 mg

Par distillation à la vapeur d'eau, les rhizomes produisent 2 à 7% d'huile essentielle, qui est rouge orangé et légèrement fluorescente. Ses constituants principaux sont un sesquiterpène, lezingibérène (25%) et ses dérivés cétoniques : la turmérone (35%) et l'ar-turmérone(déhydroturmérone) (12%).

L'extraction du rhizome à l'alcool éthylique, à l'acétone ou au chlorure de méthylène donne 6 à 10% d'oléorésine, qui contient 35 à 45% de curcumine et de ses dérivés, la déméthoxycurcumine et la bisdéméthoxycurcumine, connues sous le nom collectif de curcuminoïdes. Ces composés donnent au curcuma sa couleur jaune orangé si caractéristique, alors que l'huile essentielle lui confère son arôme et sa saveur typiques (Jansen et al., 2005). Le contenu des rhizomes est très variable et dépend de l'endroit où ils sont cultivés, du type de cultivar, du moment de la récolte, de la méthode de traitement et d'analyse (Jansen et al., 2005).

II.7 Description de la drogue

II.7.1 Caractères macroscopiques et organoleptiques

L'AFNOR décrit les rhizomes comme devant être « secs, bien développés, et avoir la forme et la couleur caractéristique de la variété » (Penso, 1986). A l'état frais, les rhizomes de *Curcuma longa* L. sont brunâtres et écailleux à l'extérieur, l'intérieur étant de couleur orangée (figure 15), (Purseglowe, 1981).



Figure 15 : Rhizome de *Curcuma longa*, d'après (http://www.cours cuisine.eu/photos/le_rhizome_de_curcuma.jpg)

Les rhizomes se présentent sous deux formes à la pharmacopée : le curcuma rond et le curcuma long, décrits précédemment. Ils possèdent une odeur très aromatique, rappelant celle de la muscade, et une saveur chaude et amère (Delaveau, 1987).

II.7.2 Caractères microscopiques

II.7.2.1 Le rhizome

La structure des rhizomes frais de *Curcuma longa* L. est caractéristique des monocotylédones (figure 16). Le tissu cortical est formé de plusieurs couches de cellules rectangulaires disposées en rangées radiales. Une portion importante du parenchyme est remplie d'amidon. On y trouve aussi des faisceaux cribro-vasculaires irréguliers et isolés (figure 17). L'endoderme, très net, constitué par une fine couche de cellules tangentiellement rectangulaires, sépare le cortex du cylindre central. La structure du cylindre central est similaire à celle du tissu cortical. Cependant, les faisceaux cribro-vasculaires y sont plus nombreux, notamment près de l'endoderme. Des cellules à amidon, des cellules à oléorésine contenant de l'huile essentielle, de la résine et des pigments, sont dispersées à travers tout le tissu parenchymateux. Les grains d'amidon, en forme de bouteille, à hile caractéristique, caractéristiques des *Zingiberaceae*, sont en partie gélifiés par l'eau bouillante (Paris et Moyse, 1965 ; Perrot, 1943).

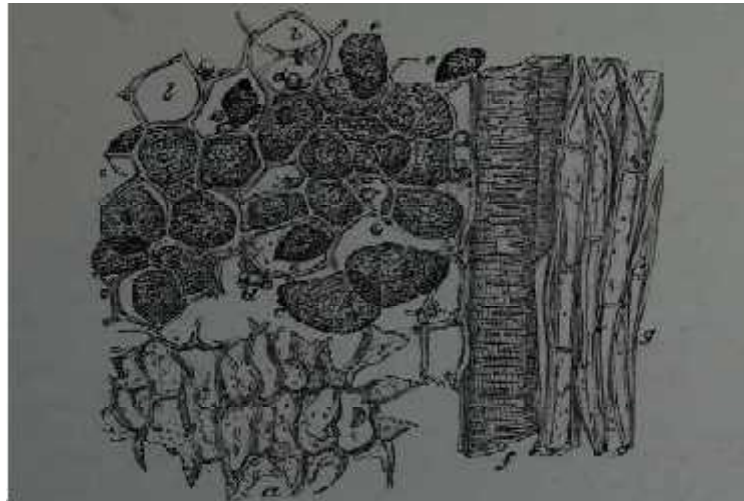


Figure 16: Coupe d'un rhizome de *Curcuma longa*, L., d'après (<http://www.archive.org/stream/compendiumoffood00clayrich#page/310/mode/2up>)

a: Epiderme ; *b* : Cellules transparentes ; *c* et *e* : Masses jaunes ; *d* : cellules à oléorésine ; *f* : vaisseau réticulé ; *g* : cellules allongées

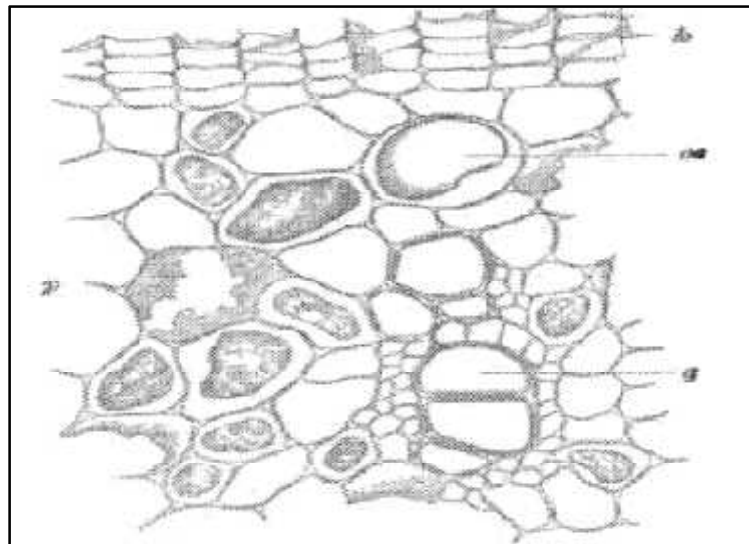


Figure 17: Coupe transversale du tissu cortical d'un rhizome de *Curcuma longa* L., d'après (http://books.google.fr/books?id=XIyc0SvKzVkC&pg=PA134&lpg=PA134&dq=fibro+vascular+bundle+turmeric&source=bl&ots=mbvCQD_3O&sig=XZpHqRhNz0IHvU9epkFaTMDcvBY&hl=fr&ei=jju7S6q8OsGTOPewyPkH&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=8&ved=0CCgQ6AEwBw#v=onepage&q=&f=false)

k: épiderme ; *p* : parenchyme rempli d'amidon ; *oe* : cellules à oléorésine ; *g* : portion de faisceau vasculaire

II.7.2.2 La poudre

Le rhizome moulu est constitué de grandes cellules parenchymateuses teintées en jaune, contenant des grains d'amidon et des masses granuleuses jaunes. La plupart de ces masses ont été libérées des cellules : on les reconnaît au microscope par leur taille et leur couleur jaunâtre. Lorsqu'elles sont écrasées, on peut voir qu'elles contiennent de nombreux grains d'amidon (figure 18) (<http://www.archive.org/stream/compendiumoffood00clayrich#page/310/mode/2up>, Guldner, 1986).

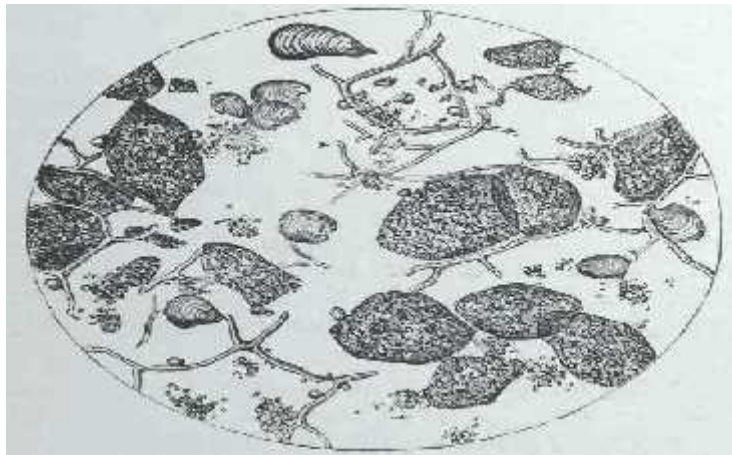


Figure 18 : Aspect microscopique de la poudre de *Curcuma longa*, L. montrant les grains d'amidon, le parenchyme et les grandes masses jaunes, d'après (<http://www.archive.org/stream/compendiumoffood00clayrich#page/310/mode/2up>)

III. Généralités sur l'amidon

L'amidon est après la cellulose, la substance de réserve la plus répandue chez les végétaux supérieurs, synthétisée à partir de l'énergie solaire. L'amidon est présent dans un grand nombre de matières premières agricoles comme les céréales (30 à 70%), les tubercules (60 à 90%), les légumineuses (25 à 50%) et dans certains fruits. L'amidon est un polysaccharide naturel semi cristallin qui suscite un intérêt croissant dans des applications alimentaires et non alimentaires (Bahrani, 2012).

L'amidon est le principal polysaccharide de réserve des végétaux supérieurs. L'amidon est biosynthétisé sous forme de grains dont la taille, la forme et la structure cristalline dépendent de son origine botanique (figure 19) (Buléon et al., 1998). Il représente une fraction pondérale importante dans un grand nombre de matières premières agricoles comme les céréales (30% à 70%), les tubercules (60% à 90%) et les légumineuses (25% à 50%). 50% de l'amidon produit industriellement sont destinés à l'alimentation humaine. C'est un nutriment abondant, renouvelable, peu coûteux, qui trouve dans les aliments de multiples fonctions comme épaississant, gélifiant, liant sous sa forme d'empois d'amidon granulaire. Sous forme hydrolysée, l'amidon est utilisé comme matière sucrante, liante ; il fait partie des additifs alimentaires (Singh, Kaur et McCarthy, 2007).

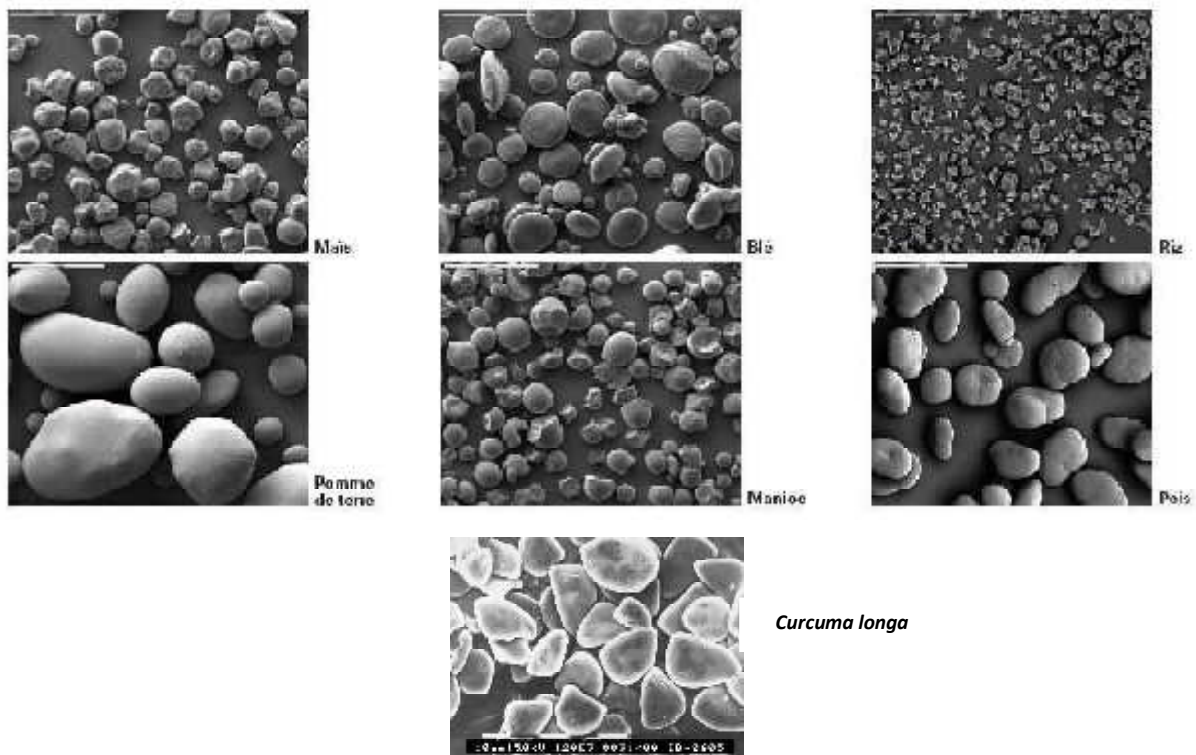


Figure 19: Formes et tailles des granules d'amidon de maïs, blé, riz, pomme de terre, manioc et de pois (MEB grossissement $\times 280$) (Atkin et al., 1999, Leonel et al., 2003)

Les amidons natifs correspondent au produit brut, extrait sans modification de structure moléculaire. Les principaux inconvénients des amidons natifs lors de leur utilisation en alimentation sont les suivants :

- formation d'un gel le plus souvent opaque ;
- mauvaise résistance aux traitements thermiques élevés, aux cisaillements (cutterage), au stockage prolongé à froid et surtout à la congélation ;
- mauvaise résistance à l'acidité, à un pH inférieur à 5 ;
- la température de gélatinisation diminue en même temps que la viscosité, entraînant une baisse du pouvoir liant et stabilisant ;
- ils nécessitent une cuisson (Breton-Dollet, 1996).

L'emploi des amidons natifs est réservé à des sauces soumises à des cuissons et à des traitements technologiques modérés et consommées rapidement après leur préparation. Les amidons natifs les plus utilisés sont la fécule de pomme de terre et l'amidon de maïs. La fécule de pomme de terre a une saveur plus marquée, de très bonnes qualités liantes, mais elle est fragile (Dupin et al., 1992).

III.1- Présentation physique de l'amidon

L'amidon, après extraction à partir des organes de réserve des végétaux supérieurs et purification se présente sous la forme d'une poudre blanche insoluble dans l'eau froide. Cette poudre est constituée d'entités microscopiques de 2 à 100µm de diamètre selon l'origine botanique, nommées grains d'amidon. Les grains d'amidon ont une structure sphéroïdique avec une orientation moyenne radiale de leurs deux constituants macromoléculaires majeurs : l'amylose et l'amylopectine. Cette structure des grains d'amidon est faite de couches concentriques alternativement claires et sombres entourant un centre plus foncé appelé « hile » qui est le centre initial de croissance du grain (figures 20 et 21). Ces stries correspondent à une succession de zones dites « amorphes », peu résistantes à l'hydrolyse, et de zones présentant une structure semi-cristalline comportant une alternance de lamelles cristallines. Ces lamelles cristallines sont composées des chaînes courtes (Short) S de Degré de Polymérisation (DP) d'environ 15, de l'amylopectine et de lamelles amorphes composées en majorité des points de jonction des molécules d'amylopectine et éventuellement d'amylose (Boursier, 2005). L'empilement des lamelles cristallines et amorphes forme des ensembles appelés *blocklets* d'une taille comprise entre 300 et 500nm qui s'assembleraient pour constituer les couches cristallines (figure 16) (Gallant et al., 1997).

La grosseur, la forme et la structure des graines varient selon la plante d'où provient l'amidon (Levèquet *et al.*, 2000).

En lumière polarisée, les granules d'amidon ont la forme d'une croix noire dite «croix de Malte». Ce phénomène de biréfringence positive vient confirmer l'organisation semicristalline de ces granules. Les zones amorphes pourraient contenir des ensembles cristallins composés d'amylopectine de structure identique mais de taille réduite, de 50 à 70nm (Buléon, 2001).

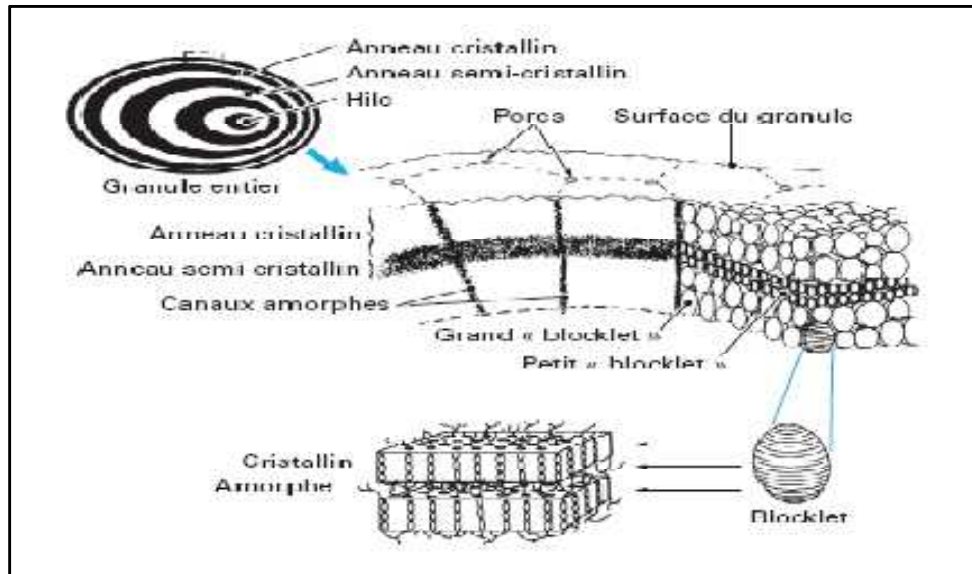
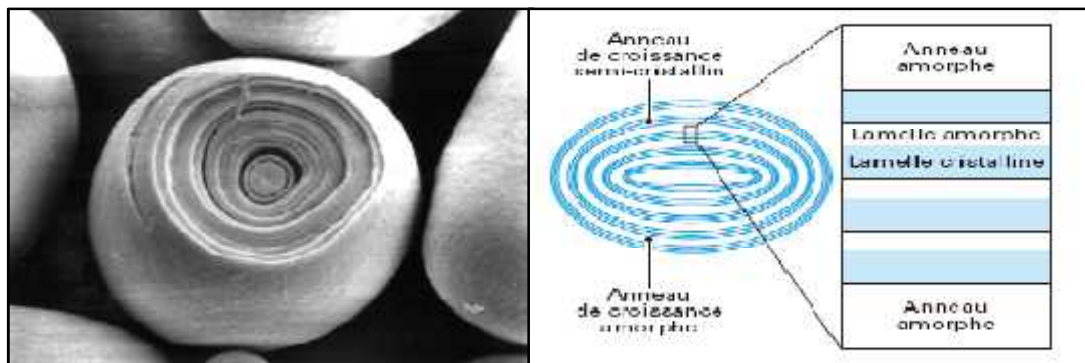


Figure 20: Structure et ultra structure d'un grain d'amidon classique d'après Levêque, Haye et Belarbi, 2000

Ces ensembles dispersés dans l'amylose constitueraient avec les complexes amyloselipides les parties dites « amorphes » du granule. Le développement limité des *blocklets* pourrait être lié à la présence de l'amylose (Gallant *et al.*, 1997). L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) montre que l'amidon est un polymère semi-cristallin (Waliszewski *et al.*, 2003).



Anneaux de croissance d'un grain d'amidon

Figure 21: Photographie et représentation schématique d'un grain d'amidon d'après Jenkins et Donald (1998)

III.2- Classification des amidons natifs

Les amidons natifs peuvent être classés en quatre groupes (A, B, C et V) selon leur diffractogramme (figure 22). Le type A est caractéristique des amidons de céréales (amidon de blé et de maïs cireux). Le type B se retrouve principalement dans des amidons de tubercules et de céréales riches en amylose. Enfin, le type C correspond aux amidons des légumineuses. Ils'agit d'un mélange des deux types cristallins A et B.

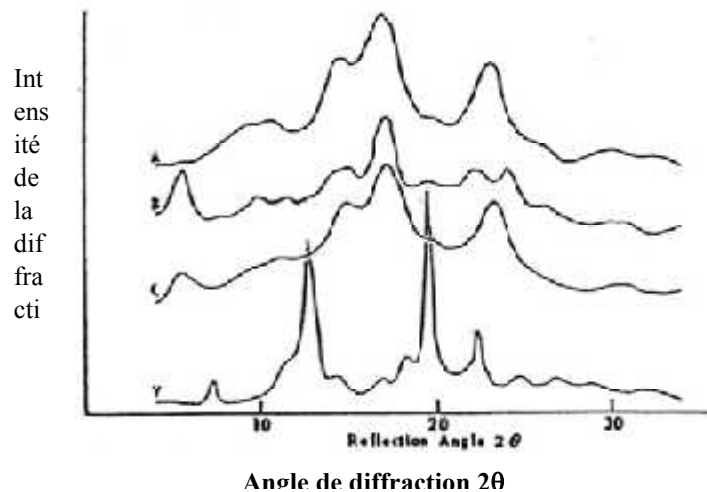


Figure 22: Diagrammes de diffraction des rayons X des types cristallins A, B, C et V d'après Zobel (1988)

Le type V, de l'allemand "Verkleiterung", est observé lors de la formation de complexes entre l'amylose et une molécule complexante (iode, alcools, cyclohexane, acides gras...) (Zobel, 1988). Les diffractogrammes des amidons du type A sont caractérisés par de grands pics aux tours de 15°, 17°, 18° et 23° tandis que ceux du type B ont de grands pics aux tours de 5° et 17° et de petits pics aux tours de 22° et 24° (Hizukuri, 1985; Zobel, 1988 ; Elsenhaber et Schulz, 1992; Cheetham et Tao, 1998). L'allure du spectre de diffraction des rayons X de l'amidon dépend de la teneur en eau des grains au cours de la mesure. Plus l'amidon est hydraté, plus les raies du spectre s'affinent jusqu'à une certaine limite. L'eau fait donc partie intégrante de l'organisation cristalline de l'amidon.

III.3- Structure chimique de l'amidon

L'amidon est à 98-99% essentiellement un homopolymère de D-glucose dans sa conformation chaise la plus stable (4C1), les groupements hydroxyles C2, C3, C4 et C6 étant en position équatoriale (figure 23a). Les unités monomériques de D-glucose sont liées majoritairement par des liaisons de types α : (1→4) (95-96%) et dans une moindre mesure par des liaisons de types α : (1→6) (4-5%). Chaque molécule possède en son extrémité C1 une fonction pseudo aldéhydique réductrice. La fraction glucidique est un mélange de

deux polymères aux structures primaires très différentes : l'amylose, molécule essentiellement linéaire (figure 23b) et l'amylopectine, molécule ramifiée (figure 23c). La teneur en amylose des amidons de diverses origines botaniques est généralement comprise entre 17 et 35%, bien que de grandes variations au sein d'une même variété soient possibles. L'amylose granulaire purifiée contient également un certain nombre de constituants mineurs (protéines, lipides, minéraux) dont les teneurs sont fonction de l'origine botanique et de l'histoire technologique (séparation, séchage) de l'amylose. Ces constituants, bien que présents en faibles quantités (<1% MS), sont susceptibles de modifier le comportement général de l'amylose sans toutefois en changer les bases physico-chimiques. Deux types d'amylose sont alors identifiés. Les amidons dits "cireux" (*waxy*), sont principalement constitués d'amylopectine et de seulement 0% à 8% d'amylose. Les amidons "standards" en contiennent environ 75% (Duprat, Gallant, Guilbot, Mercier et Robin, 1980).

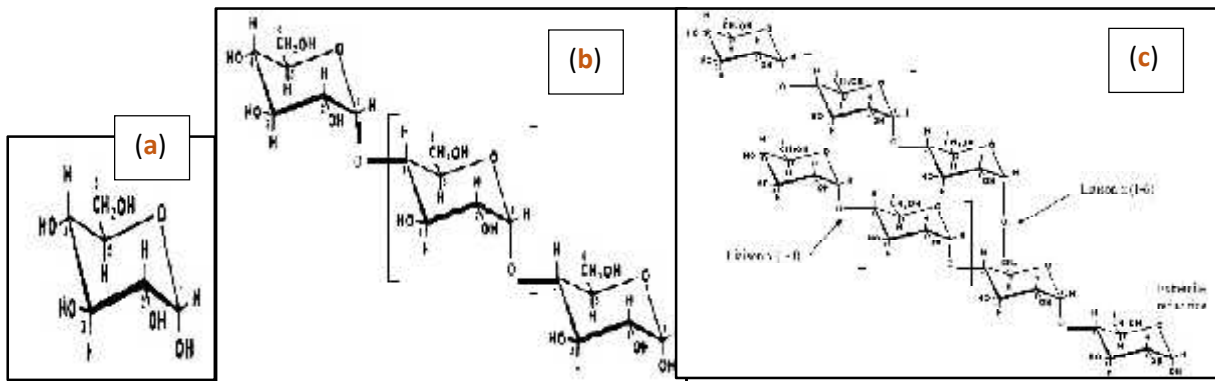


Figure 23 : Structure chimique du D-glucopyranose (a) de l'amylose (b) et de l'amylopectine (c) (Buléon, 2001).

L'amylose peut également contenir un matériel intermédiaire qui est un ensemble de chaînes de structure intermédiaire entre l'amylose et l'amylopectine de degré de polymérisation 15 et 45. Le tableau 3 donne les teneurs en amylose et en amylopectine de quelques amidons naturels.

III.4- Amylose

L'amylose est un polymère essentiellement constitué d'unités de D-glucose liées par des liaisons de types α : (1 \rightarrow 4). Les variations dans la morphologie des cristaux de l'amylose dépendent non seulement de l'origine botanique mais aussi des conditions d'extraction. L'amylose natif contient en moyenne 500 à 6000 unités glucosyl en plusieurs chaînes (1 à 20) et d'un degré de polymérisation (DP) moyen de 500 (Banks et Greenwood, 1975 ; Colonna et Mercier, 1984). Son poids moléculaire varie entre 200 000 et 800 000 Da.

Il est responsable de plusieurs propriétés de l'amidon, notamment la synérèse et la rétrogradation.

Du fait de son caractère essentiellement linéaire, l'amylose est susceptible de complexer les molécules hydrophobes (iode, acides gras, chaînes hydrocarbonées). Cette complexation est fondée sur une conformation hélicoïdale (6 glucoses/tour) dans laquelle tous les groupements hydrophiles (OH) de la chaîne sont tournés vers l'extérieur et les groupements hydrophobes (H, CH₂OH) vers l'intérieur. Il en résulte une cavité hydrophobe ($\varnothing \approx 4,5\text{\AA}$) pouvant être occupée par de nombreux composés tels que l'iode moléculaire, certains alcools, les lipides et les agents tensioactifs. La complexation de l'amylose avec l'iode est à la base de sa caractérisation analytique (John et al., 1983). L'amylose est caractérisé par une capacité de fixation à l'iode de l'ordre de 20mg pour 100mg d'amylose et d'un maximum d'absorption comprise entre 620 et 640nm (Buléon, 2001).

Tableau 3 : Teneurs (% MS) en amylose et en amylopectine d'amidons naturels (Cheftel et Cheftel, 1976)

	Amylose	Amylomaïs
Pomme de terre	23	77
Manioc	20	80
Blé	15 à 35	80
Riz	25	65 à 85
Sorgho	0	75
Maïs	77	75
Maïs cireux*	17	100
Amylomaïs*		23
Banane		83

*obtenus par modifications génétiques

III.5- Amylopectine

L'amylopectine est le principal constituant glucidique de l'amidon (70-80%). Il s'agit d'une molécule ramifiée où les unités de D- glucose sont principalement liées par des liaisons de types α : (1→4) et quelques liaisons de types α : (1→6) (figure 5c). L'amylopectine est caractérisé par des masses moléculaires très élevées (107 à 108 Daltons) qui dépendent de l'origine botanique, du cultivar et des conditions physiologiques lors de la synthèse (Banks et Greenwood, 1975). Une distribution trimodale, au minimum, des chaînes constitutives d'amylopectine a été mise en évidence avec : des chaînes courtes (S, *short*) de DP moyen 15-20 ; des chaînes longues (L, *long*) de DP moyen 40-45 ; des chaînes de DP moyens supérieurs à 60 (Atkinet al., 1999).

Les différences structurales dues à l'origine botanique portent essentiellement sur le rapport chaînes L / chaînes S qui est de l'ordre de 5, pour les amylopectines des tubercules, et de 8 à 10 pour les amylopectines des céréales (Thurn et Burchard, 1985).

III.6- Traitement thermique de l'amidon

Le comportement des granules d'amidon varie en fonction de la température. Aux températures inférieures à celle de la gélatinisation seul le phénomène de gonflement est observé tandis qu'aux températures plus élevées (température de gélatinisation) l'amidon passe successivement par trois états : gonflé, gélatinisé et solubilisé (ou empois). Au cours du refroidissement l'amidon va donner un gel.

III.6.1- Comportement des granules d'amidon hydratés aux faibles températures

Le comportement de l'amidon en milieu hydraté dépend surtout de sa teneur en eau initiale. Les amidons sont traditionnellement commercialisés avec des teneurs en eau de 12 à 13% pour ceux des céréales, du manioc ou du pois, et 18 à 19% pour celui de la pomme de terre. L'amidon contient une quantité d'eau variable en équilibre avec l'humidité relative du milieu (Colonna, 1998). Les quantités d'eau absorbées sont de l'ordre de 40 à 54%. Cette absorption s'accompagne d'un gonflement radial des granules. Pour l'amidon de maïs cireux, l'accroissement du diamètre des granules est de 80% et le volume est multiplié par 6. L'eau serait essentiellement absorbée par les parties dites «amorphes» du granule et le gonflement de ces zones provoquerait l'expansion radiale des granules.

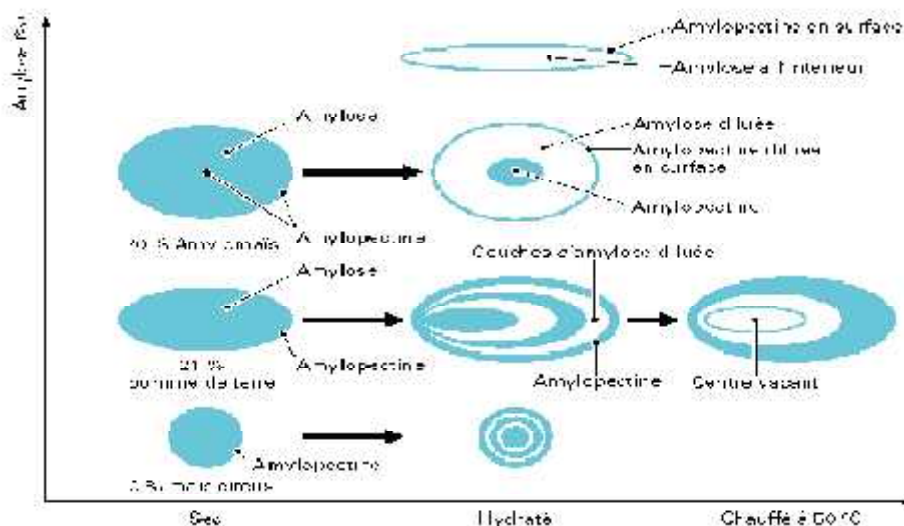


Figure 24: Comportement des granules d'amidons à teneurs croissantes en amylose sous différents traitements (Atkinet *al.*,1999)

L'étude de la localisation de l'amylose dans le granule a amené *Atkinet al, (1999)* à proposer le modèle présenté sur la **figure 24** où le gonflement de la fraction amorphe est simulé pour des amidons à teneur croissante en amylose, soit 0% pour l'amidon du maïs cireux, 21% pour l'amidon de pomme de terre et 70% pour l'amidon de l'amylomaïs. De la **figure 24** il ressort que le gonflement du granule est d'autant plus élevé qu'il contient plus d'amylose, du fait que l'eau est absorbée par la partie amorphe du granule dont la taille est étroitement liée à la teneur en amylose (*Al-Muhtaseb et al., 2004*). L'amidon cru employé dans les préparations en poudre sera susceptible, par sa capacité à absorber ou à donner de l'eau, d'améliorer la stabilité ou les caractéristiques d'écoulement de ces préparations.

III.6.2- Transformations hydrothermiques de l'amidon

A température ambiante, les grains d'amidon sont insolubles dans l'eau (dans la gamme de pH compris entre 3 et 10) et ne présentent par leurs propriétés qu'un faible intérêt technologique (gants chirurgicaux, coffrage en confiserie...). Cependant, en présence d'un excès d'eau, à une température supérieure à 60°C, le grain d'amidon passe successivement par trois états : gonflé, gélatinisé et solubilisé (ou empois). Au cours du refroidissement l'amidon va donner un gel (**figure 25**) (*Buléon et al., 1990*).

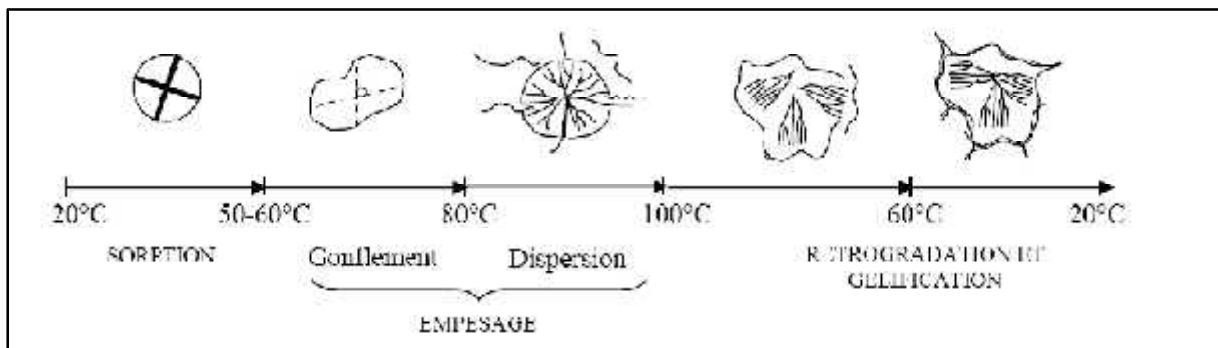


Figure 25: Différents états du grain d'amidon placé en présence d'un excès d'eau et soumis au chauffage-refroidissement (*Angellier, 2005*)

III.6.2.1- Gélatinisation

La gélatinisation ou encore empesage est l'une des premières étapes communes à de nombreuses applications industrielles de l'amidon. Elle correspond au phénomène de gonflement irréversible et solubilisation observés lorsque les grains d'amidon sont en présence d'un excès d'eau et à des températures supérieures à 60°C. Elle est également définie comme la perte de la structure semi-cristalline de la granule d'amidon à la suite d'un traitement hydrothermique. La gélatinisation s'accompagne d'un gonflement de la

granulé d'amidon ainsi que de l'augmentation de la viscosité de la suspension d'amidon (Adrian et al., 1995).

III.6.2.2- Mécanismes de gélatinisation de l'amidon

Lors du chauffage, les grains absorbent de l'eau dans les zones amorphes du grain provoquant leur gonflement irréversible. Ce gonflement conduit à la rupture des liaisons hydrogènes dans les zones cristallines du grain et donc à la déstructuration du grain. Au fur et à mesure de la rupture des liaisons hydrogènes, les constituants de faible masse moléculaire (amylose, matériel intermédiaire) diffusent hors du grain. Après ce traitement thermique, l'empois d'amidon est constitué de fantômes de grains et des macromolécules solubilisées. Pendant la gélatinisation, il n'y a quasiment pas de dégradation ou de dépolymérisation des chaînes polymères du fait de la faible agitation. La température de gélatinisation dépend de l'origine botanique de l'amidon et de la teneur en eau. La gélatinisation aurait lieu à la frontière des zones amorphes riches en eau et en cristallites, par "arrachage" des chaînes de surface des cristallites suite à la rupture des liaisons hydrogènes les plus proches (Donovan, 1979). Si la teneur en eau est suffisante, alors toutes les chaînes constituant les cristallites sont ainsi "tirées". Si la teneur globale en eau est limitée, alors la répartition de l'eau au sein du grain est inégale. Les cristallites situés près des zones amorphes riches en eau gélatiniseraient tandis que les autres fondraient à des plus hautes températures, jusqu'à n'observer qu'une fusion du grain pour de faibles teneurs en eau (Jenkins et Donald, 1998).

III.7 L'amidon de gingembre

les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles ont été menées par Amani et al., 2004 sur l'amidon extrait des rhizomes de gingembre. Ses teneurs en amylose, cendre, lipide et protéine sont respectivement de 28,3%; 0,14%; 0,12% et 0,18%. La taille des grains d'amidon est comprise entre 6,43 et 38,56 μm . L'amidon natif de gingembre a montré une très faible sensibilité au suc digestif de l'escargot par contre l'amidon gélatinisé en est très sensible. L'hydrolyse acide a donné deux phases : une phase rapide pendant les 15 premiers jours et une phase lente au-delà. L'étude de la solubilité et du gonflement a révélé un faible pouvoir de gonflement et une faible solubilité dans l'eau. Le thermogramme a indiqué une température de gélatinisation élevée de l'ordre de 83,2 °C et une enthalpie de gélatinisation de 14,65 J/g. L'étude de la rétrogradation révèle que cet amidon rétrograde au bout de 2 jours et qu'à J0, la synérèse est de 44% et la clarté de 11,5%.

Selon ces mêmes auteurs (Amani et al., 2004) de l'étude des propriétés physico-chimiques de l'amidon de gingembre, il ressort qu'il a une composition chimique non glucidique proche de celle d'igname, les grains d'amidon sont de petite taille et la température de gélatinisation élevée, il rétrograde vite et a une faible clarté. L'amidon natif de gingembre est très peu sensible à l'action du suc digestif de l'escargot, par contre l'amidon gélatinisé y est sensible. La forte résistance à l'attaque enzymatique et la température de gélatinisation très élevée, sont deux facteurs qui montrent que l'amidon de gingembre possède certainement une structure cohésive très forte capable de résister à des traitements thermiques.

Selon Reyes et al., 1982 L'amidon a été isolé de la racine de gingembre avec un rendement de 12,3%. L'amidon qui contenait 22,2% d'amylose avait une densité de 1,517 g/cm³ et un diagramme de diffraction des rayons X de type A. Des études de solubilité ont révélé un faible pouvoir de gonflement et une faible solubilité dans l'eau, ainsi qu'une solubilité réduite dans le diméthylsulfoxyde et dans l'hydroxyde de potassium, suggérant des forces de liaison homogènes et fortes maintenant la matrice granulaire. Les informations de l'amylogramme Brabender indiquent une température de collage initiale relativement élevée (80°C) et une résistance au cisaillement mécanique lors de la gélatinisation, ressemblant à ces amidons modifiés par réticulation (Xiao, 2012). Étant donné que ces amidons modifiés ont été utilisés dans l'industrie alimentaire (Singh et al., 2010), l'amidon de racine de gingembre peut également trouver des utilisations alimentaires similaires.

Selon Praveen et al., 2019 ; Sudha et Abbaraju, 2018 le gingembre (*Zingiber officinale*) contient des constituants tels que l'amidon, la graisse, le gingérol et de l'huile volatile. La racine de gingembre écrasée et l'amidon extraits utilisant 1% p/v de solution de métabisulfite de sodium ont permis à Praveen et al., 2019 l'obtention d'un amidon cristallisé non hygroscopique avec un pouvoir gonflant de 1,3, une capacité de solubilité 37% et une température de gélatinisation à 80°C.

Il a été rapporté par Ibezim et al., en 2008 que les rhizomes du gingembre, *Zingiber officinale* (Roscoe; Zingiberaceae) contiennent jusqu'à 56,0% d'amidon. L'amidon a été extrait des rhizomes frais, évalué pour ses propriétés pertinentes et utilisé comme liant pour les comprimés d'acétaminophène à des concentrations de 2,0 à 8,0% p/p. Les comprimés ont été évalués pour la dureté, la friabilité, l'uniformité du poids, les profils de désintégration et de dissolution. Des comprimés d'acétaminophène contenant de la gélatine comme liant standard ont été produits et évalués de manière comparative. Les résultats obtenus indiquent que

l'amidon de gingembre est aussi efficace que la gélatine comme liant pour les comprimés d'acétaminophène.

Aussi [Ordu et Onyemelukwe, 2018](#) ont rapporté des informations profuses dans une étude comparative concernant les racines de gingembre et de manioc. Ils ont rapporté que le pourcentage de rendement en amidon de gingembre était de 6,9% p/v et celui de manioc de 45,5% p/v. Ce faible pourcentage de rendement en amidon provenant du rhizome de gingembre pourrait être dû au type d'espèce, à l'environnement de transformation, à la méthode d'extraction, à la saison de collecte et aux conditions de stockage. L'élimination de l'humidité par perte de poids lors de la méthode de séchage est pertinente et importante car la présence d'humidité pourrait entraîner une activation enzymatique et une prolifération de micro-organismes sur l'amidon stocké extrait et cela pourrait éventuellement conduire à une détérioration du produit. D'après l'analyse phytochimique de l'amidon extrait, la poudre de gingembre contenait de l'amidon et des glucides mais pas de sucre réducteur. Ce résultat était également applicable à la poudre de manioc. La présence d'amidon indique donc des propriétés de liaison tandis que l'hydrate de carbone dépeint la pertinence des amidons comme désintégrants possibles, s'ils sont appliqués dans une formulation posologique solide telle que des comprimés ou des capsules comme déjà évoqué par [Joseph et James en 2008](#). Ce résultat pourrait également suggérer que la poudre de gingembre extraite séchée et celle de poudre de manioc peuvent être associées à des propriétés de liaison et de désintégration comparables à celles de l'agar, de la cellulose microcristalline et de l'amidon de maïs comme suggéré par [Abu Hasanat et al., 2011](#). Le pH de l'amidon de gingembre et de manioc était respectivement de 7,26 et 7,42, ce qui indique qu'ils sont associés à des propriétés neutres ou légèrement basiques et pourraient donc être compatibles avec un ingrédient pharmaceutique actif (API) légèrement acide ou basique tel que l'ibuprofène. Les caractérisations physico-chimiques de l'amidon de gingembre et de manioc impliquant une désintégration ont été étudiées. Une théorie de la désintégration décrit certaines caractéristiques communes telles que l'absorption ou la pénétration et la rétention d'eau ou d'autres liquides qui doivent se produire avant la désintégration des comprimés. Ces propriétés ont été évaluées par la détermination de l'indice de gonflement et de la capacité d'hydratation. D'après le résultat, l'indice de gonflement de l'amidon de gingembre et de l'amidon de manioc sont respectivement de $15,42 \pm 0,00$ et $10,06 \pm 0,02$, la capacité d'hydratation de l'amidon de gingembre est de $1,25 \pm 0,03$ et celle de l'amidon de manioc de $1,03 \pm 0,08$. Ce résultat implique que les deux amidons pourraient avoir de précieuses propriétés de désintégration et pourraient adopter le mécanisme de

désintégration de la mèche et du gonflement comme indiqué par [Bakare et Kolawole en 2009](#) mais d'après le résultat et les valeurs obtenues, l'amidon de gingembre montre la capacité d'être un meilleur désintégrant bien que les deux amidons extraits de (gingembre et manioc) possèdent la capacité d'absorber et de retenir une quantité d'eau importante par rapport à leur poids. Les résultats suggèrent aussi que l'amidon de gingembre et de manioc avaient de bonnes propriétés d'écoulement. L'angle de repos décrit l'écoulement de la poudre par rapport aux frottements entre les particules. L'indice de compressibilité et le quotient de Hausner sont une méthode simple, rapide et fiable pour prédire les propriétés d'écoulement de la poudre et la capacité de granules pour former un état compact par rapport à la diminution de volume sous pression produisant ainsi un comprimé solide comme rapporté par [Olabunmi et al., 2013](#). L'amidon de gingembre produit un indice de compressibilité de 12,46% indiquant une bonne propriété d'écoulement tandis que le manioc avait un indice de 16,87% indiquant un flux normal. Pour le quotient de Hausner, la poudre d'amidon de gingembre avait une valeur de 1,14 impliquant un bon écoulement tandis que le manioc avait une valeur de 1,21 signifiant un écoulement normal. Compte tenu des propriétés physico-techniques, la densité obtenue décrit la densité de la poudre et la façon dont la poudre se compactera pour former un comprimé ([Musa et al., 2011](#)). L'amidon de gingembre avait une densité capturée de 0,498 g / ml par rapport à l'amidon de manioc avec une valeur de 0,784 g / ml. La masse volumique apparente d'une poudre est le rapport de la masse de la poudre non exploitée par rapport au volume de poudre, y compris la contribution des espaces vides inter particulaires, et est indépendante du traitement de pénétration et du stockage de la poudre. L'amidon de gingembre avait une densité apparente de 0,435 g / ml tandis que celui de l'amidon de manioc était de 0,652 g / ml, la poudre d'amidon de gingembre pourrait donc être plus compacte et moins pelucheuse que l'amidon de manioc et pourrait donc retenir l'humidité, ce qui pourrait l'aider à améliorer la propriété de liaison meilleure que celle de l'amidon de manioc.

III.8 L'amidon de Curcuma

Selon les travaux de [Hornung, 2018](#) Il existe un besoin croissant de développer des matériaux d'emballage, tels que des films et des revêtements, à partir de matrices renouvelables ou de déchets industriels ([Maniglia et al., 2014](#) ; [Gutierrez et Alvarez, 2017](#)). Cela est dû à la poussée des processus économiques productifs et à la nécessité de préserver l'environnement et de consommer moins d'aliments transformés. Les emballages d'amidon biodégradable, qui peuvent également agir comme antioxydants et antimicrobiens, servent ces intérêts en abaissant les niveaux d'additifs incorporés dans les aliments pour les conserver

(Talon et al., 2017 ;Salgado et al., 2015). L'amidon est une matière première renouvelable bien connue qui présente des caractéristiques technologiques importantes, notamment la gélification, le blanchiment, l'épaississement et l'émulsification. Ces propriétés en font l'un des matériaux de base les plus utilisés et les plus étudiés en termes de développement de films biodégradables (Gutierrez et Alvarez, 2017 ; Hornung et al., 2017 ; Shah et al., 2016). Avec des applications établies dans divers domaines industriels (alimentaire, pharmaceutique, textile, papier et produits chimiques), l'amidon est principalement composé de deux polymères de glucose, dont l'un est linéaire (amylose) et l'autre est ramifié (amylopectine), qui sont liés par des connexions α -1,4 et α -1,6 aux points de branchement. C'est la molécule d'amylose qui est responsable de la formation de films vigoureux et flexibles(Mali et al., 2002 ; Jiménez et al., 2012). L'amylose a un poids moléculaire de% 105–106 et compose la conformation amorphe et la conformation hélicoïdale unique des granules d'amidon (Li et al.,2015). Cependant, l'amylopectine a un poids moléculaire de% 107–109 et ses branches forment des amas de doubles hélices qui s'agrègent en cristallites dans des granules d'amidon (Li et al.,2015). En raison de facteurs tels que leur source botanique, les conditions de croissance, la taille et la forme des granules et le rapport d'amylose et d'amylopectine, les amidons natifs ont des propriétés différentes. Par conséquent, il est essentiel d'étudier les sources d'amidon non conventionnelles (Hornung et al., 2017 ; Jiménez et al., 2012). *Curcuma longa* L. appartient au genre de la famille des Zingiberaceae et il a été largement étudié en tant que source médicinale et pigmentaire. Communément appelé curcuma, ce rhizome est originaire d'Asie du Sud et compte plus de 100 espèces répertoriées (Van Hung et Vo, 2017). Le rhizome de *Curcuma* est largement cultivé et facile à obtenir : l'Inde est le principal producteur et consommateur (

Anubala et al., 2014). Le Brésil possède une impressionnante culture de curcuma dans le centre-ouest qui correspond à 26% de la production de l'État de Goia, ce qui démontre le potentiel de répondre aux exigences du marché intérieur (Berni et al., 2014). De plus, sa culture stimule la croissance économique des familles rurales dans la région nord-est du Brésil (Berni et al., 2014). L'utilisation principale du rhizome en poudre de *Curcuma* est d'extraire l'oléorésine pour des pigments appelés curcuminoïdes (curcumine;desméthoxycurcumine et bisdéméthoxycurcumine) (Maniglia et al., 2014 ;Berni et al., 2014 ;Musso et al., 2016). L'Inde détient 78% du marché mondial du curcuma et les applications pharmaceutiques représentent plus de 52%. La recherche de colorants naturels dans les aliments et les boissons a accru la demande de *Curcuma longa* L. [15]. Selon Van Hung et Vo, 2017, le pigment ne représente

que 2 à 8% du rhizome en poudre : sa teneur en amidon est un résidu qui représente 78 à 85% de la matière initiale et il n'a aucune valeur commerciale (Nguyen et al., 2014). L'amidon de rhizome de *C. longa* représente un matériau de base renouvelable à faible coût attrayant pour les bioplastiques (Nguyen et al., 2014). Outre ses importants composés phénoliques, qui confèrent des propriétés antioxydantes, antibactériennes et anticancéreuses, un autre avantage de l'amidon à rhizome de *C. longa* par rapport au développement de films d'amidon est sa teneur apparente en amylose de 48% (Van Hung et Vo, 2017 ; Anubala et al., 2014).

IV. Matériel et méthodes

IV.1 Echantillonnage

L'échantillonnage des épices étudiées se fait auprès des commerçants qui les exposent dans des bacs ou des contenants cylindriques sous forme de poudres. Chaque épice en poudre est prélevée trois fois dans des points différents du même contenant et chez trois commerçants différents. Nous nous sommes assurés de la provenance étrangère identique de ces épices en l'occurrence le Curcuma (*Curcuma longa*) et le Gingembre (*Zingiber officinale*). Des quantités équivalentes à 100 g ont été prélevées pour chaque échantillon. Ces échantillons sont mis dans des récipients appropriés et entourés de papier aluminium pour les préserver de la lumière. Ce type d'échantillonnage est spécifique à ces épices que nous n'avons pas nous même transformées en poudre selon l'arrêté du 24 Moharram 1439 correspondant au 15 octobre 2017 du JORADP N° 03 du 24.01.2018 rendant obligatoire la méthode de préparation d'un échantillon d'épice moulu en vue de l'analyse au laboratoire.

IV.2 Extraction de l'amidon

Les poudres de gingembre et de curcuma sont séparément délayées dans l'eau. Les laits obtenus sont tamisés et les liquides obtenus sont laissés décanter. Les culottes sont séparées, essorées et lavées plusieurs fois. Les dépôts obtenus sont essorés puis étalés sur du papier aluminium et mis à sécher à 45 °C pendant 48 h dans une étuve. Les produits obtenus sont broyés pour avoir de la poudre d'amidon (Amani, 1993).

IV.3 Prise d'essai pour analyse

Chaque échantillon est analysé isolément pour répondre aux protocoles de détermination de l'amidon, de l'amylose et l'amylopectine.

IV.4 Dosage spectrophotométrique de l'amidon total, l'amylose et l'amylopectine

IV.4.1 Principe

L'amidon (polysaccharides de réserve chez les végétaux) est une macromolécule constituée de deux polymères de D-glucose : Amylose et amylopectine. L'amylose est constituée essentiellement d'unités de D-glucoses unies entre elles par des liaisons de type $\alpha(1-4)$. L'amylopectine consiste essentiellement en unités $\alpha(1-4)$ -D-glucosidiques linéaires mais branchée, par des liaisons de type $\alpha(1-6)$ -D-glucosidiques à tous les 24-30 unités de glucose. L'amylopectine contient plus de 106 résidus de D-glucose, la rendant ainsi la macromolécule biologique la plus volumineuse qui existe. La structure primaire de l'amylopectine est semblable à celle du glycogène (polysaccharide de réserve chez les animaux) mais le nombre

de résidus de D-glucose dans les ramifications est de l'ordre de 8 à 12 dans le glycogène. En d'autres termes le glycogène est plus ramifié que l'amylopectine.

L'iode (I_2) interagit avec l'amylose et l'amylopectine pour donner une coloration respectivement bleue et brune. Les spectres des complexes I_2 -amylose et I_2 -amylopectine sont différents.

De ce fait ces complexes ont des longueurs d'ondes maximales pour l'amylose ($\lambda_{max} = 630 \text{ nm}$) et l'amylopectine ($\lambda_{max} = 548 \text{ nm}$) qui sont différentes. En plus l'amylose absorbe dans le proche visible tandis que l'amylopectine n'y absorbe pas (figure 26).

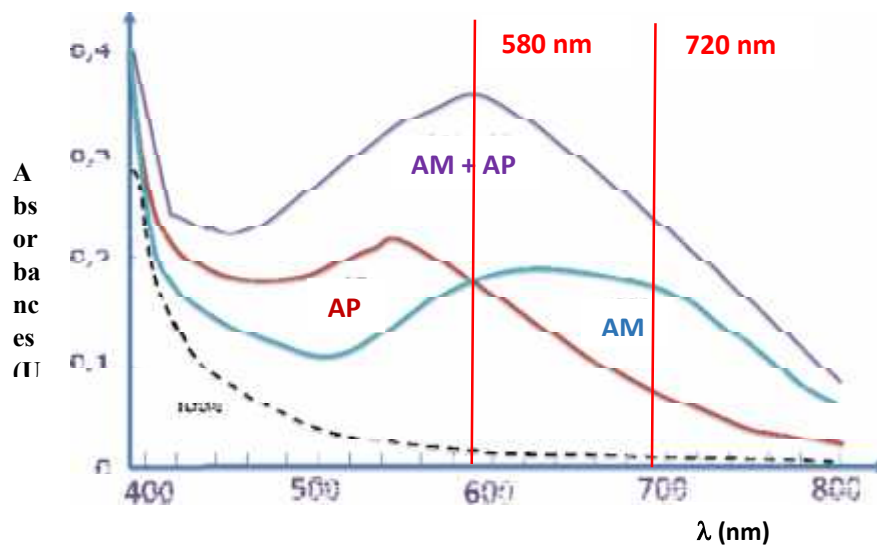


Figure 26 : Absorbances de l'amidon, de l'amylose et de l'amylopectine (Jarvis et Walker, 1993)

On peut donc utiliser cette différence spectrale pour doser simultanément l'amidon total, l'amylose et l'amylopectine dans un matériel biologique. Dans cette manipulation on considérera que l'absorbance à 580 nm est liée à la fois à l'amylose et à l'amylopectine, par contre l'absorbance à 720 nm est liée essentiellement à l'amylose.

IV.4.2 Matériels et réactifs

- Bain -marie
- Spectrophotomètre UV-visible
- Tubes à essais
- Centrifugeuse
- Plaques chauffantes
- Réactif de l'iode : 0.2 g de I_2 dissous dans 100 ml de KI à 2 % (w/v) dans 0.1 N

HCl.

- Amidon de pomme de terre

- 1 N KOH

- 1 N HCl

IV.4.3 Mode opératoire

IV.4.3.1 Courbe d'étalonnage de l'amidon standard

Disperser 0.5 g d'amidon dans 20 ml d'eau distillée. Y ajouter 80 ml d'eau distillée bouillante. Agiter légèrement le mélange et continuer l'ébullition pendant 5 min sur une plaque chauffante pour obtenir une solution d'amidon limpide. Refroidir le mélange et le compléter à un volume de 100 ml avec l'eau distillée. Ceci constitue une solution stock d'amidon à 5 mg/ml. La courbe d'étalonnage est établie selon le **tableau 4** ci-dessous :

Tableau 4 : Etablissement de la courbe d'étalonnage (mesures réalisées en triplet)

N° Tube	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Solution mère d'amidon 5 mg/ml (ml)	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
H ₂ O (ml)	4,90	4,89	4,88	4,87	4,86	4,85	4,84	4,83	4,82	4,81	4,80
Réactif I ₂ /KI(ml)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Calculer la concentration d'amidon en mg/ml											
Durée d'incubation	Incubation pendant 10 minutes										
DO ₁ à 580 nm (3 mesures)											
DO ₂ à 720 nm (3 mesures)											
Moyenne DO ₁											
Moyenne DO ₂											

Les courbes suivantes seront représentées :

DO₁ = f [amidon] à 580 nm

DO₂ = f [amidon] à 720 nm

IV.4.3.2 Préparation de l'échantillon à analyser

Prendre 0.1 g de farine de matériel biologique bien broyé ($\Phi = 0.5$ mm) et y ajouter 5 ml de 1 N KOH. Bien homogénéiser la solution à la température ambiante et la neutraliser ensuite avec 5 ml de 1 N HCl. Bien s'assurer que la solution est neutre à l'aide d'un papier pH. Mettre ensuite le mélange en ébullition au bain-marie pendant 15 min.

Réajuster le volume du mélange à 10 ml. Centrifuger le mélange et prendre le surnageant.

Filtrer au besoin le surnageant et l'utiliser pour le dosage de l'amidon.

IV.4.3.3 Dosage de l'amidon dans le matériel biologique.

Les mesures sont faites en Triplet selon le tableau 5 suivant :

Tableau 5 : Modalités de dosage de l'amidon dans les échantillons (mesures réalisées en triplet)

Réactif/Echantillon	Blanc	Echantillons Cur (1 à n)	Echantillons Gin (1 à n)
Echantillon	0	0,05 ml	0,05 ml
H ₂ O	4,90 ml	4,85 ml	4,85 ml
Réactif I ₂ /KI	0,1 ml	0,1 ml	0,1 ml
Durée d'incubation	10 min avant les lectures des DOs		
Moyennes DO (580 nm)			
Moyennes DO (720 nm)			

Les absorbances permettront de déterminer les quantités d'amylose (à 720 nm) et amylose et amylopectine (à 580 nm) dans les échantillons de gingembre et curcuma.

IV.5 Propriétés physicochimiques de l'amidon des deux épices

IV.5.1. Pouvoir de gonflement

La méthode décrite par [Afolayan et al \(2012\)](#) a été utilisée pour déterminer l'indice de solubilité. L'échantillon d'amidon (0,1 g) a été pesé dans un tube à essai et 10 ml d'eau distillée ont été ajoutés. Le mélange a été chauffé dans un bain-marie à une température de 50°C pendant 30 min sous agitation continue. Au final, le tube à essai a été centrifugé à 1500 tr/min pendant 20 min afin de faciliter l'élimination du surnageant qui a été soigneusement décanté et le poids de la pâte d'amidon prélevé. Le pouvoir de gonflement a été calculé comme suit :

$$\text{Pouvoir de gonflement} = \frac{\text{Poids de la pâte d'amidon}}{\text{Poids de l'échantillon d'amidon sec}}$$

Ceci a été réalisé sur une plage de température de 50°C à 100

IV.5.2. Indice de solubilité

La méthode décrite par [Afolayan et al \(2012\)](#) a également été utilisée pour déterminer l'indice de solubilité. Un échantillon d'amidon (0,5 g) a été ajouté à 10 ml d'eau distillée dans un tube à essai. Celui-ci a été soumis à un chauffage dans un bain-marie avec une température de départ de 50 ° C pendant 30 min. Il a ensuite été centrifugé à 1500 tr/min pendant 30 min. 5 ml du surnageant ont été décantés et séchés à poids constant. La solubilité a été exprimée en

pourcentage (%) en poids d'amidon dissous à partir d'une solution chauffée. Cela a été réalisé sur une plage de température de 50 à 100 .

IV.5.3. pH

Une dispersion à 20% p/v de l'échantillon a été agitée dans l'eau pendant 5 minutes et le pH a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre.

IV.5.4. Température de gélatinisation

Elle a été évaluée en utilisant la méthode d'Attama et al (2003). L'échantillon d'amidon (1 g) a été placé dans un bécher de 20 ml et 10 ml d'eau distillée ont été ajoutés. La dispersion a été chauffée sur une plaque chauffante. La température de gélatinisation a ensuite été lue avec un thermomètre suspendu dans la suspension d'amidon.

IV.6 Statistiques

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes de trois déterminations suivies des écarts types. La comparaison de ces moyennes utilise le programme StatView 5 et la probabilité de 0,05 ($p < 0.05$) est retenue comme seuil de significativité.

V. Résultats et discussion

V.1 Dosage de l'amidon de Gingembre et de Curcuma

Les densités optiques obtenues pour le dosage de l'amidon à 720 nm nous ont permis d'établir la droite d'étalonnage comme indiqué sur le [tableau 6](#).

Tableau 6 : Différentes concentrations en amidon standard

N° Tube	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Solution mère d'amidon 5 mg/ml (ml)	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
H ₂ O (ml)	4,90	4,89	4,88	4,87	4,86	4,85	4,84	4,83	4,82	4,81	4,80
Réactif I ₂ /KI(ml)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Calculer la concentration d'amidon en mg/ml	0	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Durée d'incubation	Incubation pendant 10 minutes										
DO ₁ à 580 nm (3 mesures)	Ces absorbances correspondent à l'ensemble amylose et amylopectine										
Moyenne DO ₂ à 720 nm (3 mesures)	Ces absorbances correspondent à l'amylopectine seulement										

L'amylose contient quelques certaines d'unités glucose par molécule (masse molaire, 450 à 600 kDa). Il présente une structure différente de celle de la cellulose, bien que ces polymères soient tous deux non ramifiés.

Contrastant avec l'amylose, l'amylopectine est une chaîne ramifiée qui présente toutes les vingt à vingt-cinq unités glucose un branchement au départ du C-6. Sa masse molaire est de l'ordre de quelques millions. Les composants de l'amidon montrent des comportements différents envers l'iode, amylose étant responsable de la coloration caractéristique bleue et l'amylopectine donnant une couleur rouge. L'amylose adsorbe l'iode rapidement à une valeur limite élevée, tandis que pour l'amylopectine il y a une petite mais progressive augmentation de l'adsorption avec l'augmentation de la concentration libre en iode ([Aspinall, 1970](#)).

V.1.1 Etalonnage pour dosage à 580 nm

Dans notre expérimentation on considère que l'absorbance (DO₁) à 580 nm est liée à la fois à l'amylose et à l'amylopectine, par contre l'absorbance (DO₂) à 720 nm est liée essentiellement à l'amylose.

À l'aide de cette méthode spectrophotométrique, on mesure la quantité d'amidon par iodométrie, parce que l'amidon forme un complexe coloré en présence d'iode. On peut

mesurer quantitativement la quantité d'amidon présent dans une solution en mesurant l'absorbance de UV-Visible de cette solution, dans les conditions qui respectent la loi de Beer-Lambert. La [figure 27](#) représente la droite d'étalonnage de l'amidon standard de pomme de terre (Sigma Aldrich) utilisée pour la détermination de l'amidon de gingembre et de curcuma selon les protocoles d'extraction indiqués. Cette droite présente comme indiqué par [Jarvis et Walker, 1993](#) un maximum d'absorption avec une DO de 0,351 unités à une longueur d'onde de 580 nm correspondant à l'ensemble amylose et amylopectine. Les quantités d'amidon des deux épices étudiées en l'occurrence le *Zingiberofficinalis* et le *Curcuma longasont* rapportées dans le [tableau 7](#).

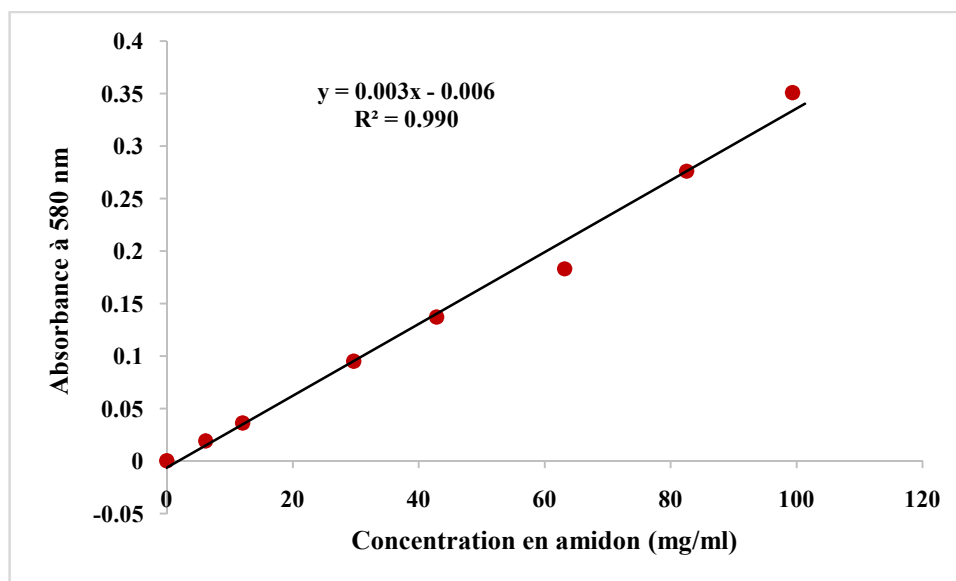


Figure 27 : Droite d'étalonnage de l'amidon standard (580 nm)

Selon [Morrison et Karkalas, 1990](#) la distinction entre amylose et amylopectine s'effectue par l'analyse de l'absorbance des complexes polysaccharide-iodure entre 620 et 650 nm en parallèle avec un dosage de glucanes totaux sur les fractions d'élution. Cependant, l'existence de matériel intermédiaire rend préférable l'analyse du spectre-iodure sur la région comprise entre 530 et 680 nm.

Les polysaccharides dont le degré de polymérisation (DP) est supérieur à 12 résidus de glucose forment un complexe avec l'iodure qui absorbe dans le visible ([Thorn et Mohazzeb, 1990](#)). La longueur d'onde λ . max de cette interaction est caractéristique du polysaccharide étudié. Le polysaccharide est solubilisé dans le DMSO 10%, ou par ébullition pendant 1 min en présence d'HCl 0,1N. Le spectre d'absorption est réalisé entre 400 et 700 nm sur 100 μ l de polysaccharide à 0,01% dissous, additionné à 400 μ l de solution iodo-iodurée. Cette dernière solution est à 0,2% en KI et à 0,02% en I₂. Dans notre cas

V.1.2 Etalonnage pour dosage à 720 nm

La [figure 28](#) représente la droite d'étalonnage de l'amidon mesurée à 720 nm. On remarque que l'absorbance est cette fois-ci maximale à 0,183 Unités de densité optique. Cela correspond à la zone d'absorption seulement de l'amylose.

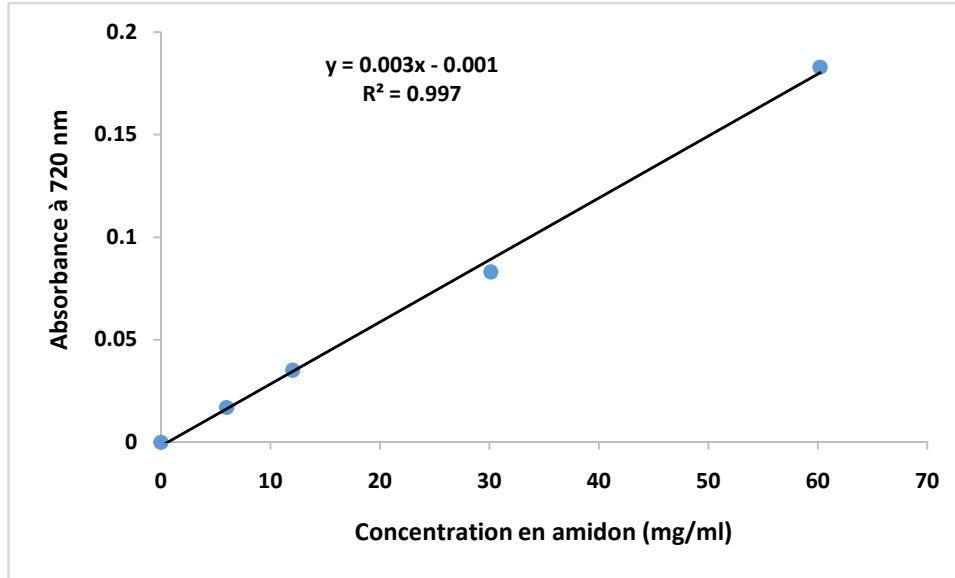


Figure 28 : Droite d'étalonnage de l'amidon standard (720 nm)

Les quantités d'amylose et d'amylopectine de l'amidon des racines de gingembre et curcuma sont déterminées en utilisant les droites d'étalonnage des [figures 19 et 20](#) et les valeurs sont rapportées dans le [tableau 4](#).

Tableau 7 : Composition en amylose et amylopectine de l'amidon de racine de gingembre et curcuma (% de la matière sèche)

Constituants de l'amidon	Amylose (%)	Amylopectine (%)	Amidon (%)
Echantillons			
<i>Zingiberofficinale</i>	27,35±1	72,65±1,34	56,25±0,67
<i>Curcuma longa</i>	32±1,93	68±0,87	50,22±0,93

La teneur en amidon du gingembre est de 56,25%, valeur comparable à celles rapportées par [Dei-Tutu et Rish, 1976](#) et [Natarajan et al, 1972](#) avec une teneur comprise entre 40,4 et 59%.

Pour le Curcuma en poudre la quantité d'amidon obtenue est de 50,22%. Ce résultat est supérieur à celui de [Braga et al., 2006](#) qui rapporte une valeur de 40%.

La quantité d'amidon du gingembre est supérieure à celle du Curcuma ($P=0,082$; $P<0,05$). [Braga et al., 2006](#) ont étudié la composition chimique des amidons isolés de gingembre et de curcuma. Les données montrent une similitude entre le contenu de l'amidon

avant et après le processus supercritique, indiquant que l'amidon n'a pas été solubilisé par le solvant (CO₂- Cosolvant (éthanol+alcoolisopropylique)). Les amidons de curcuma et de gingembre isolés avaient une pureté d'environ 77 et 85%, respectivement. Le Curcuma a montré une couleur jaune intense, après des lavages exhaustifs et une centrifugation pendant le processus d'isolement de l'amidon, ce qui indique la présence de curcuminoïdes. Selon Hoover et Vasanthan, 1994 cette présence peut s'expliquer par la complexation lipide – amylopectine, qui rend difficile la clarification de l'amidon par lavage. Selon Braga et al., 2006 le pourcentage de composés non identifiés était d'environ 8 à 10% pour le curcuma et d'environ 5% pour le gingembre. Malgré le niveau de pureté relativement faible (environ 76 et 85% pour le curcuma et le gingembre, respectivement), ces amidons peuvent trouver une utilisation comme amidons spéciaux dans l'industrie en raison de leur odeur douce, de leur saveur et de leur couleur (curcuma). Ces amidons spéciaux peuvent être utilisés dans la préparation de soupes, les pâtes, les gelées et même sur les biofilms aux caractéristiques antioxydantes, en raison de la présence de curcuminoïdes (Calvo et Salvador, 2000).

L'amylose et l'amylopectine sont les composantes, de l'amidon qui lui confèrent en fonction de la prépondérance de l'une ou l'autre, des propriétés physicochimiques particulières.

Dans notre cas les quantités d'amylose du Gingembre et du Curcuma respectivement de $27,35 \pm 1$ et $32 \pm 1,93$ sont nettement inférieures à celles de l'amylopectine qui sont respectivement de $72,65 \pm 1,34$ et $68 \pm 0,87$. Ces résultats sont en concordance avec ceux de nombreux travaux comme ceux de Braga et al., 2006 et Amani et al., 2004, Leonel et al., 2003

V.2 Pouvoir de gonflement

Le gonflement est estimé par la quantité d'eau retenue par l'échantillon en faisant la matière sèche sur le culot (2 h à 130 °C). La solubilité est déterminée par le dosage de la quantité de sucre solubilisé dans le surnageant. Les résultats de l'étude du gonflement sont représentés sur la figure 29 (A) et (B).

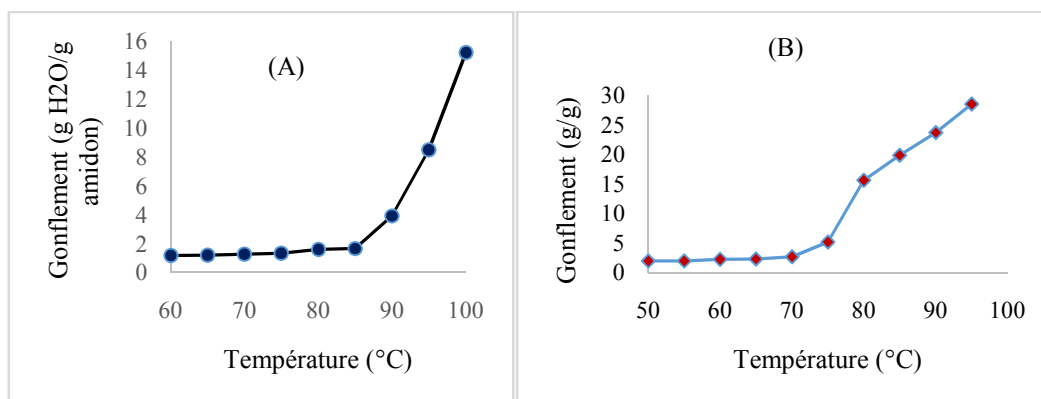


Figure 29 : Gonflement de l'amidon natif de gingembre (A) et de curcuma (B) en fonction de la température (°C).

L'amidon est constitué majoritairement d'une fraction glucidique (98 à 99%) et d'une fraction non glucidique mineure (1 à 2%). Cette dernière, malgré sa présence en faible quantité, ne doit pas être négligée, car elle modifie les propriétés fonctionnelles, en particulier la présence des lipides (Eliasson, 1983; Melvin, 1979). Nos résultats ont montré que lorsque la température augmente, le gonflement augmente. Cependant on constate que l'amidon de gingembre présente un très faible taux de gonflement (g d'eau/g d'amidon) de 60 à 85 °C. Mais au-delà de 85 °C, le gonflement des grains d'amidon de gingembre est plus important.

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par de nombreux chercheurs (Reyes et al., 1982 ; Hur et Sung-Kon, 1984)

Le faible pouvoir de gonflement de l'amidon de gingembre de 60 à 85 °C et une augmentation à partir de 85 °C suggèrent la présence d'une force homogène et forte qui maintient la matrice du grain d'amidon et elle est dénaturée à une température supérieure à 85°C (Reyes et al., 1982). (Figure 29 (A))

Le pouvoir de gonflement de l'amidon de *Curcuma longa* a été étudié de 50 à 100 °C à des intervalles de 5 °C (figure 29 (b)). Avant la gélatinisation, le pouvoir de gonflement de l'amidon de curcuma dans l'eau augmente légèrement avec l'augmentation de la température. Après gélatinisation, il augmente rapidement. Une forte augmentation du pouvoir gonflant dans l'eau est observée à partir de 80°C. Le pouvoir gonflant de ce type d'amidon a augmenté rapidement à une température plus élevée. Le pouvoir gonflant dans l'eau fournit des mesures de l'ampleur de l'interaction entre les chaînes d'amidon dans les domaines cristallins amorphe et cristallin. L'ampleur de cette interaction est influencée par le rapport amylose/amylopectine, les caractéristiques de l'amylose et de l'amylopectine en termes de poids moléculaire / distribution, de degré de ramification et de longueur de chaîne ramifiée de l'amylopectine, la taille des granules, la structure cristalline et la teneur en protéines et lipides (Kaur et al., 2007). Le pouvoir de gonflement est positivement corrélé à l'amylopectine à courte chaîne ramifiée et négativement à l'amylopectine à longue chaîne ramifiée (Salman et al., 2009). L'amylose retient le gonflement et maintient l'intégrité des granules gonflés. Les chaînes d'amylose complexées aux lipides limitent à la fois le gonflement granulaire et la lixiviation de l'amylose (Tester et Morrison, 1992). Selon Huang et al., 2015 le pouvoir de gonflement dans l'eau pendant le chauffage pourraient résulter de la structure moléculaire, de la taille des granules et de la source botanique de la plante.

A température ambiante, l'eau pénètre plus facilement dans les régions amorphes des grains et interagit avec les molécules d'amidon par l'intermédiaire de liaisons hydrogène, ce qui conduit à un léger gonflement des granules, qui est toutefois réversible (Nayouf, 2003). A des températures supérieures à 60 °C et en présence d'un excès d'eau (> 60%), les grains d'amidon subissent un processus complexe en l'occurrence un gonflement irréversible du grain dû à la rupture des liaisons hydrogène (Zobel et al., 1988a; Donovan, 1979), la solubilisation du contenu granulaire et la perte de la structure semi-cristalline du grain d'amidon.

V.3 Solubilité de l'amidon

La solubilité de l'amidon de gingembre et celui de curcuma sont représentées sur les figures 30 (A) et (B).

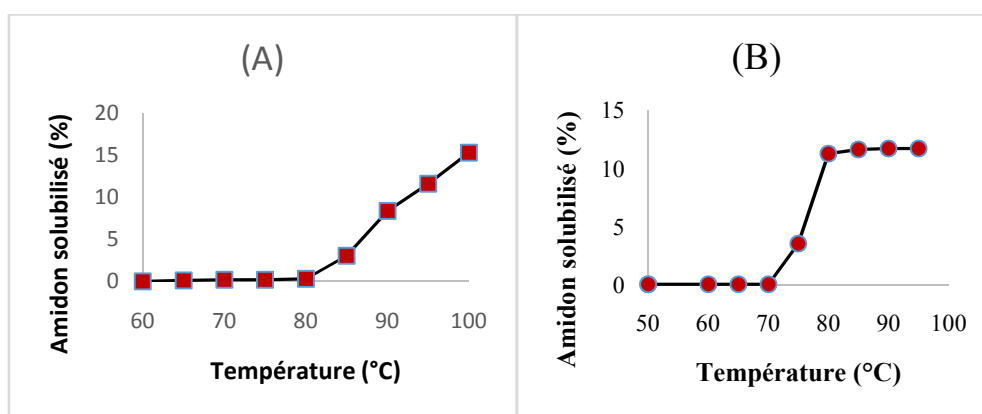


Figure 30 : Solubilité dans l'eau de l'amidon de gingembre (A) et de curcuma (B) en fonction de la température.

Plusieurs études ont montré que la présence de lipides dans l'amidon tend à réduire la solubilité et le gonflement du fait qu'ils établissent des liaisons avec l'amylose (Bjorck et al., 1990 ; Boni et al., 1990 ; Hoover et Hadziyev, 1981). Ceci entraîne une augmentation de la masse moléculaire de l'amylose et le blocage de la fixation des molécules d'eau empêchant ainsi le gonflement du grain et la diffusion de l'amylose hors de celui-ci. L'étude de l'évolution de la solubilité en fonction du gonflement montre d'une façon générale l'existence d'une relation linéaire entre les deux phénomènes. Ainsi, une augmentation du gonflement s'accompagne d'une forte solubilisation (Delpeuch et Favier, 1980).

La solubilité dans l'eau des amidons a été étudiée de 50 à 95 °C à des intervalles de 5°C (Figure 30). Avant la gélatinisation, la solubilité dans l'eau augmente légèrement avec l'augmentation de la température. Après gélatinisation, elle augmente rapidement suivant la même cinétique que le gonflement. Une forte augmentation de la solubilité dans l'eau est aussi observée à partir de 70 °C pour l'amidon de *Curcuma longa* et de 80°C pour

Zingiberofficinalis. Ce résultat concordait avec celui rapporté par Huang et al., 2015 qui ont montré que l'amidon de *C. longa* a une solubilité faible à une température de moins à 70°C.

Selon Bertolini,2000 le grain d'amidon est hydrophile et, à la différence des polymères thermoplastiques, ses transitions ne peuvent s'envisager sans la présence d'eau. Les comportements thermiques ou les transitions de phase d'un polymère caractérisent le changement des états physiques et structuraux. Dans un premier temps, l'eau est absorbée dans le grain d'amidon. En excès d'eau et jusqu'à 50-60°C, l'amidon absorbe l'eau de façon réversible. Lorsque la température augmente, les différentes transitions définies dans le cadre des polymères semi-cristallins vont être observés. A des températures supérieures à 60°C, la structure physique de l'amidon est modifiée par un gonflement irréversible. La transformation complète conduit à la solubilisation de l'amidon. Lors d'un traitement thermique, la déstructuration de l'amidon se traduit par une perte des organisations granulaires et cristallines.

V.4 Détermination des pH

Le pH du gingembre (*zingiber officinale*) obtenu après dispersion de l'amidon à 20% p/v et agitation dans l'eau pendant 5 minutes, est 06,52. Ce pH très proche de celui obtenu par Michael et al., 2014. Ce pH est différent de celui de l'amidon de maïs qui est de 05,92 (Omojola et al., 2010). Cela pourrait être dû à la nature du matériau dont est issu l'amidon. Il est comparable aux valeurs de pH rapportées pour les amidons de tubercules (Coursey et Rasper 1967) et dans la plage de pH de 3 à 9 obtenue pour la plupart des amidons utilisés dans les industries pharmaceutique, cosmétique et alimentaire.

Le pH de l'amidon de *Curcuma longa* obtenu selon les protocoles préconisés est pratiquement neutre avec une valeur de 07,04. Selon Leonel et al., 2003 qui a procédé à l'extraction en milieu aqueux de l'amidon en lavant préalablement les rhizomes ensuite en utilisant après tamisage une décantation et un séchage pour obtenir le substrat amidonné à analyser, le pH est de 07.08 et est comparable à notre résultat.

En plus du pH et d'autres propriétés physicochimiques l'amidon de *Curcuma longa* présente des propriétés épaississantes et gélifiantes intéressantes pour une utilisation en agroalimentaire (Leonel et al., 2003).

V.5 Gélatinisation de l'amidon

Les résultats de la détermination du temps de gélatinisation sont illustrés par les observations microscopiques à grossissement x400 qui a permis de suivre le phénomène (figure 31). La gélatinisation de l'amidon de curcuma est atteinte à une température de 70°C

tandis que celle du gingembre à 80°C. Selon [Osman, 1982](#) ; [Reyes et al., 1982](#) la température de gélatinisation de l'amidon de gingembre varie de 76 °C à 85 °C, ce qui est supérieur aux valeurs rapportées pour d'autres amidons racinaires. [Afolayan, 2014](#) rapporte une température de gélatinisation du gingembre de 70 °C tandis que pour [Amani et al., 2004](#) elle est de 83,2 °C.

Selon [Jyothietal., 2003](#) la cinétique de gélatinisation de *Curcuma zedoaria*, une autre variété de curcuma présente un début de gélatinisation à 79.7°C pour passer par un pic à 82.7°C et finir par totalement se gélatiniser à 97.1°C. Les travaux de [Hung et Duyen, 2016](#) ont montré que *Curcuma longa* présente un début de gélatinisation à 74,12°C, un pic à 79,07°C et une totale gélatinisation à 84.57 °C. Pour les deux épices étudiées nos résultats concernant la gélatinisation de l'amidon sont pratiquement dans les plages de températures similaires.

Les propriétés physiques de l'amidon sont influencées par le rapport amylose/amylopectine. Pendant la gélatinisation, les granules d'amidon gonflent et forment des particules de gel. En général, les granules gonflés sont enrichis en amylopectine, tandis que l'amylose linéaire diffuse hors des granules gonflés et constitue la phase continue à l'extérieur des granules ([Hermansson et Svegmark, 1996](#)).

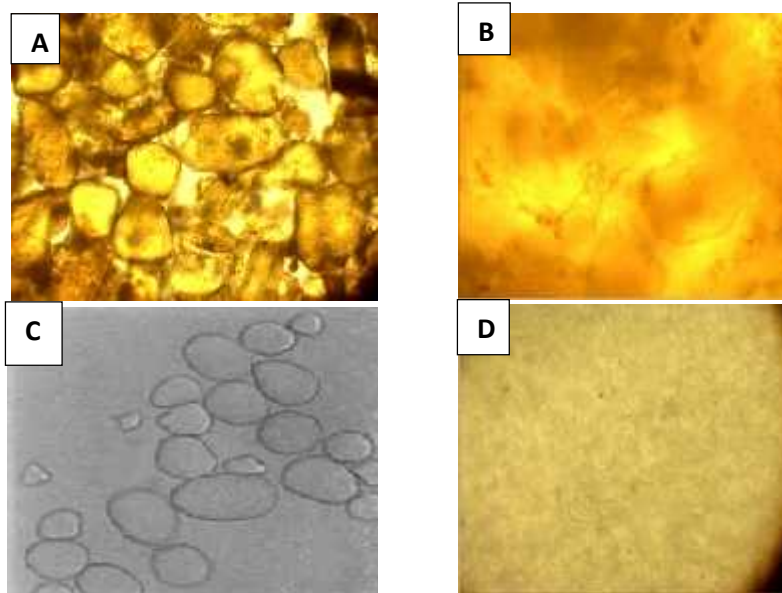


Figure 31 : Observations en microscopie optique (x400) de poudre d'amidon de *Curcuma longa* avant chauffage (A) et après chauffage (B) et de *Zingiberofficinale* avant (C) et après chauffage (D)

Les amidons cireux gonflent généralement dans une plus grande mesure que leurs homologues normaux en amylose ([Tester et Morrison, 1990a](#)), et l'amylose est proposé pour agir comme un frein au gonflement ([Hermansson et Svegmark, 1996](#)). Il a été démontré que

les lipides internes dans les amidons de céréales indigènes ont des effets sur les propriétés de gonflement et de gélatinisation des granules ([Morrison, 1995](#)).

Conclusion générale

Le gingembre ou rhizome de *Zingiber officinale* est l'une des épices les plus prisées mondialement du fait de son caractère aromatique et de son âcreté. Il pousse dans les régions tropicales, en particulier dans le sud et l'est de l'Asie. Cette épice est surtout commercialisée sous sa forme séchée. Des études ont été effectuées sur les qualités aromatiques de la poudre de gingembre, sur les méthodes de transformation du gingembre et ses applications dans les boissons naturelles non sucrées, sur les valeurs nutritionnelles du gingembre.

Le curcuma commun (*Curcuma longa*) est utilisé comme condiment depuis des milliers d'années. Son amidon n'a pas été largement utilisé par l'industrie, son extraction étant encore considérée comme secondaire.

L'amidon est l'un des produits chimiques organiques les plus abondants sur terre et se trouve dans les feuilles des plantes vertes, les tiges où il est synthétisé à partir des racines des graines et des tubercules de la plupart des plantes car il sert de forme de stockage d'énergie. L'amidon est un ingrédient important qui pourrait servir d'agent épaississant et liant et il est de la plus haute importance en tant que biomatériau utile dans les industries alimentaire, textile, cosmétique, plastique, adhésive, papier et pharmaceutique. L'utilisation industrielle de l'amidon dépend de sa grande disponibilité, de son faible coût, de son pouvoir calorique élevé, de ses excellentes propriétés physico-chimiques inhérentes et de la facilité de sa modification à d'autres dérivés. L'amidon est un bio polymère biodégradable naturel qui a une large application industrielle. Il est seulement un polysaccharide digestible d'importance quantitative et a été considéré comme supérieur sur le plan nutritionnel aux glucides ou au sucre de bas poids moléculaire. L'amidon peut provenir du maïs, de la pomme de terre, du manioc et actuellement du gingembre et du curcuma. Ces deux dernières plantes n'étant pas cultivées dans notre pays peuvent le devenir. Leurs amidons peuvent être utilisés à des fins de préparations pharmaceutiques ou divers autres domaines. Nous nous sommes donc intéressés à ces deux épices en déterminant quelques propriétés physicochimiques en l'occurrence la composition en amylose et amylopectine, la détermination du pouvoir de gonflement, la solubilité, le pH et la cinétique de gélatinisation.

Les résultats obtenus mettent en évidence la forte quantité d'amidon à la fois dans le gingembre et le curcuma respectivement de 56,25% et 50,22%. La composition en amylose et amylopectine montre aussi une prédominance de l'amylopectine, composé formé de chaînes ramifiées de glucoses. L'amylopectine est présente à des quantités de 72,65% et 68% respectivement pour le gingembre et le curcuma. Pour l'amylose qui dicte la cinétique de

gélatinisation les quantités sont respectivement de 27,35% et 32%. Les amidons sont composés de deux polymères de glucose : l'amylose et l'amylopectine. Un amidon riche en amylose (blé, maïs) donne des gels fermes, opaques et de texture courte. Un amidon riche en amylopectine (pomme de terre) donnera un gel plus long, de texture moyenne ou longue et translucide. Chaque source d'amidon, par sa composition, sa taille, son goût,... a donc des propriétés différentes. Les deux amidons présentent des pouvoirs de gonflement qui pour le gingembre commence à 85°C et pour le curcuma à 75°C. Avant ces températures les pouvoirs de gonflement sont faibles. L'étude de l'évolution de la solubilité en fonction du gonflement montre d'une façon générale l'existence d'une relation linéaire entre les deux phénomènes. Ainsi, une augmentation du gonflement s'accompagne d'une forte solubilisation. La détermination du pH aidera à vérifier l'adéquation et la stabilité des amidons lorsqu'ils sont utilisés comme excipients dans la formulation de médicaments par exemple ou comme gélifiants et épaississants en agroalimentaire.

Au cours de la gélatinisation des deux poudres d'épices en présence d'eau et à des températures qui commencent à 50°C et allant jusqu'à ébullition, on assiste en réalité avant d'atteindre la température de 70°C pour le curcuma et 85°C pour le gingembre une absence de gonflement et donc de solubilité. Il se produit ensuite trois principaux processus qui concernent le grain d'amidon. Il y a un gonflement des granules d'amidon, une cristallisation ou double fusion hélicoïdale et une lixiviation de l'amylose.

En définitive, les propriétés physico-chimiques que nous avons eu la possibilité de déterminer dans les conditions de notre laboratoire nous permettent de se prononcer sur la possible utilisation de ces amidons dans les industries alimentaire, textile, cosmétique, plastique, adhésive, papier et pharmaceutique.

Perspectives

L'amidon extrait de ces plantes présente une composition plus complexe qui mérite d'être étudiée. En effet la présence des lipides des protéines des arabino-galactanes (ukonanes) et d'autres éléments pouvant influencer les propriétés physicochimiques de l'amidon et conditionner son utilisation doivent être identifiés et caractérisés.

Références bibliographiques

Abdollah Akbariana, Abolghasem Goliana, Ardashir Sheikh Ahmadi and Hossein Moravejc Effects of ginger root (*Zingiber officinale*) on egg yolk cholesterol, antioxidant status and performance of laying hens. *Journal of Applied Animal Research*, Vol. 39, No. 1, March 2011, 19_21

Abu Hasanat Md. Z, Km Munirul I, Rubaya I, Kazi RA, MdSelim R. Formulation development using maize starch and avicel PH 101 as disintegrating agents and their effect on physical characteristics and in vitro profile. *Int. journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2011; 2(8): 2136-41.

Adrian J., Potus J. & Frangne R. (1995). *La Science Alimentaire de A à Z*. 2^e édition. *Lavoisier, Technique et Documentation*. Paris France. 477p.

Afolayan M.O., Kenneth K. Adam, Anthony Oberafo, Moses Omojola, Sunday Thomas, Isolation and Characterization Studies of Ginger (*Zingiber officinale*) Root Starch as a Potential Industrial Biomaterial, *American Journal of Materials Science*, Vol. 4 No. 2, 2014, pp. 97-102. doi: 10.5923/j.materials.20140402.06.

Al-Muhtaseb A.H., McMinn W.A.M., Magee T.R.A. (2004). Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. *Journal of Food Engineering* 61: 297–307.

Amani N.G., Aboua F., Gnakri D. & Kamenan A., 1993, Etude des propriétés physico-chimiques de l'amidon de taro (*Xanthosoma sagittifolium*). *IAA*, 3, 136-143.

Amani N'GG, Tetchi FA, Aissatou Coulibaly Propriétés physico-chimiques de l'amidon de gingembre (*Zingiber officinale roscoe*) de Côte d'Ivoire *Tropicicultura*, 2004, 22, 2, 77-83

American Herbal Products Association. *Zingiber officinale* (rhizome). (En ligne) disponible sur : [http://www.botanicalauthentication.org/index.php/Zingiber_officinale_\(rhizome\)](http://www.botanicalauthentication.org/index.php/Zingiber_officinale_(rhizome)) (page consultée le 29/05/2020)

Angellier H. (2005). Nanocristaux d'amidon de maïs cireux pour applications composites. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier – Grenoble 1 (France). 298p.

ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail). Définition des compléments alimentaires. (En ligne) disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/content/que-sont-les-compléments-alimentaires> (page consultée le 29/05/2020)

ANSM (Agence Nationale de la Sécurité du Médicament). Pharmacopée française 1989 de *Zingiber officinale*.

Anubala S, Sekar R, Nagaiah K (2014) Development and validation of an analytical method for the separation and determination of major bioactive curcuminoids in *Curcuma longa* rhizomes and herbal products using non-aqueous capillary electrophoresis. *Talanta* 123:10–17

Aprifel (Agence pour la recherche est l'information en fruits et légumes). Fiche nutritionnelle gingembre (En ligne) disponible sur : <http://www.aprifel.com/fiche-nutri-produit-gingembre,51.html> (page consultée le 30/05/2020)

Aroma Zone. Huile essentielle de gingembre. (En ligne) disponible sur : http://www.doc-developpement-durable.org/file/Huiles-essentielles/FICHES_PLANTES&HUILES/Gingembre/Huile%20essentielle%20de%20Gingembre.pdf (page consultée le 29/05/2020)

Aspinall Gerald O., Polysaccharides pergamon press, pp 55, (1970).

Atkin N.J., Cheng S.L., Abeyssekera R.M., Robards A.W., (1999). Localization of amylose and amylopectin in starch granules using enzyme-gold labelling. *Starch/Stärke*, 51: 163-172.

Ayurveda en France. Principes de l'Ayurveda. (En ligne) disponible sur : <http://www.ayurveda-france.org/praticiens/Les-trois-principes-d-energie.html> (page consultée le 30/05/2020)

Ayurveda en France. Utilisation du gingembre en Ayurveda. (En ligne) disponible sur : <http://www.ayurveda-france.org/praticiens/Le-gingembre.html> (page consultée le 29/05/2020)

Azam R, Jabeen A, Alam T, Mushtaq S, Mohmad SH. 2014. Zanjabil (*Zingiberofficinalis*): A Review. *J. Pharm. Sci.Innov.*, 3(4): 278-282.

Bakare LG and Kolawole TJ. Studies on the physicochemical properties of *Abelmoschus esculentus* L (Okra pods) A potential tablet excipient. *International journal BWL. Chem. Sci*, 2009; 3(3): 448-456.

Banks W., Greenwood C.T. (1975). Starch and its components. Ed. W. Banks et C.T. Greenwood, *Edinburgh University Press*.

Berni RF, Chaves FCM, Pinheiro JB, Vaz APA (2014) Produção de açafrão em função de acessos e do peso de rizomas-semente. *Rev Bras Plantas Med* 16:765–770

Berni RF, Chaves FCM, Pinheiro JB, Vaz APA (2014) Produção de açafrão em função de acessos e do peso de rizomas-semente. *Rev Bras Plantas Med* 16:765–770

Bertolini A.C., 2000. Bases moléculaires et thermomécaniques de la propriété d'expansion. Thèse de doctorat en chimie biologique, sciences agroalimentaires. Université de Nantes, France, 179 p

Bjorck J., Eliasson A.C. & Drews A., 1990, Some nutritional properties of starch and dietary fiber in barley genotypes containing different levels of amylose. *Cereal chem.*, 67, 4, 327-333.

Boni P.L., Srivastava H.C. & Gharia M.M., 1990, Physico-chemical properties of *Canna edulis* starch – comparison with maize starch. *Starch/Stärke*, 42, 12, 460-464.

Botineau M. Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. Lavoisier Ed. 2010. 1403 p.

Boullard B. Dictionnaire des plantes médicinales du monde. Paris : Estem, 2001, p.174.

- Boursier B. (2005). Amidons natifs et amidons modifiés alimentaires. *Technique de l'ingénieur* Dossier F4690, 22P.
- Breton-Dollet V., (1996). Influence du couple température/cisaillement sur les propriétés rhéologiques de préparations à base d'amidon. Thèse Génie des procédés industriels, université de technologie de Compiègne.
- Bruneton J. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 4ème édition. Lavoisier Ed. 2009. p 350.
- Bruneton J. Phytothérapie : les données de l'évaluation. Lavoisier Ed. 2012. p 200.
- Buleon A., (2001). *Caractéristiques structurales des amidons*. Formation Adria des 21 et 22 mars 2001 à Nantes (France).
- Buleon A., Colonna P., Leloup V., (1990). Les amidons et leurs dérivés dans les industries des céréales. *Actualités des industries alimentaires et agro-industrielles*; Institut National de la Recherche Agronomique, Nante - France, 6 : 515-532.
- Buléon A., Colonna P., Planchot V., Ball S. (1998) Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules* 23: 85–112.
- Butin A., 2017, Le gingembre : de son utilisation ancestrale à un avenir prometteur. Thèse de doctorat en pharmacie. Université de Lorraine, Nancy 1 France, 134 p.
- Cheetham N. W. H., & Tao L. P. (1998). Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. *Carbohydrate Polymers*, 36 : 277–284.
- Cheftel J-C., Cheftel H. (1976). Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments Volume 1. *Tech & Doc Lavoisier*, Paris - France. 381p.
- Colleen NAS, Bailey-Shaw YA, Hibbert SL, Green C, Smith AM, Williams LAD. 2012. Characterization of cultivars of Jamaican ginger *Zingiber officinale* Roscoe) by HPTLC and HPLC. *Food Chem.*, 131(4): 1517-1522.
- Colonna P. & Mercier C., (1984). Macromolecular structure of wrinkled –and smooth-pea starch components. *Carbohydrate Res.*, 126: 233-247.
- Colonna P., (1998). Propriétés fonctionnelles des amidons. *Formation Adriades* 3 et 4 juin 1998 à Paris (France).
- Confucius. Les entretiens de Confucius. FV Ed. 2016. 140p.
- Coursey D. G. And Rasper V. (1967): Properties of starches of some west African yams; *J. Sci. Food Agric.*, 18: 240 – 248.
- Cuisine africaine. Jus de gingembre et ses bienfaits. (En ligne) disponible sur : <http://www.recettesafricaine.com/jus-de-gingembre.html> (page consultée le 29/05/2020)

Cuisine-Japon. Gari Shoga, gingembre mariné du Japon. (En ligne) disponible sur : <http://www.cuisine-japon.fr/gari-gingembre-marine-qui-accompagne-les-sushi/> (page consultée le 29/05/2020)

Dei-Tutu J. & Rish E., 1976, Studies on the composition of some Ghanaian ginger samples. *Ghana Journ. agric. Sci.* 9, 225-229.

Delaveau P. Les épices. Histoire, description et usage des différents épices, aromates et condiments. Paris : Albin Michel, 1987, p.130-136.

Delpuech F. ; Favier J.C., 1980, Caractéristiques des amidons de plantes alimentaires tropicales : action de l'alpha amylase, gonflement et solubilité. *Ann. Technol. Agric.* 29, 1, 53-67.

Donovan J.W. (1979) Phase transitions of the starch-water system. *Biopolymers*, 18 (2), 263-275.

Dupin H., CUP J.-L. & Malewiak M.-I. , (1992). Amidon. Alimentation et nutrition humaine. Paris-France : *ESF éditeur*, Pp.127-135.

Dymock W. Pharmacographia indica, a history of the principal drugs of vegetable origin. Vol.1. Londres : Kegan Paul, Trench, Trüber & Co, 1890.-624 p.

Eliasson, A. C. & Larsson, K. **1993** Cereals in Breadmaking: A molecular Colloïd Approach. *Marcel Dekker*: New York.

Elsenhaver F., & Schulz W. (1992). Monte Carlo simulation of the hydration shell of double-helical amylose: a left-handed antiparallel double helix fits best into liquid water structure. *Biopolymers*, 32 : 1643–1664.

Escop. The Scientific Foundation for Herbal Medicinal Products. 2ème Edition. Thieme Ed. 2009. 306 p.

Faivre Cl., Lejeune R., Staub H., Goetz P. *Zingiber officinale* Roscoe. Phytothérapie – Monographie médicalisée, 2006, volume 4. pp 99-102.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), AGST, « Turmeric: Post-harvest Operations », *FAO - INPhO*, 22 avril 2004

Fredriksson H., Silverio J., Andersson R., Eliasson A.-C. and P. Aman. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches, *Carbohydrate Polymers* 35 (1998) 119- 134

Gallant D.J., Bouchet B. & Baldwin P.M., (1997). Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. *Carbohydrate Polymers*. 32 : 177-191

Garance Leureux, Curcuma en cuisine (ISBN 978-2-84221-223-0) Editions La Plage 2010

Gingembre-biologique. Différentes formes de gingembre. (En ligne) disponible sur : <http://www.gingembre.biologique.bio/category/histoire-origines/> (page consultée le 29/05/2020)

Guide Phytosanté. Description du gingembre. (En ligne) disponible sur : <http://www.guide-phytosante.org/aphrodisiaques/gingembre/gingembre-description.html> (page consultée le 29/05/2020)

Guldner S. Les Zingiberacées, une famille à épices.-116f. Th : Pharm : Nancy I : 1986 ; 86/102.

Guldner S. Les Zingiberacées, unefamille à épices.-116f. Th : Pharm : Nancy I : 1986 ; 86/102.

Gutierrez TJ, Alvarez VA (2017) Cellulosic materials as natural fillers in starch-containing matrix based films: a review. *Polym Bull* 74:2401–2430

Gutierrez TJ, Alvarez VA (2017) Cellulosic materials as natural fillers in starch-containing matrixbased films: a review. *Polym Bull* 74:2401–2430

Hermansson A.-M., Svegmarm K. (1996) Developments in the understanding of starch functionality *Trends Food Sci. Technol.*, 7, 345- 353.

Hizukuri S., (1985). Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules. *Carbohydrate Polymers*, 141: 295–306.

Hombourger C. 2010, Le curcuma, de l'épice au médicament. Thèse de doctorat en pharmacie de l'université Henri Poincaré Nancy, France, 206 p.

Hoover K.; Hadziyev M., 1981, Characterization of potato starch and its mono-glyceride complexes. *Stärke*, 33, 9, 290-300.

Hornung P.S., Masisi K., Malunga L.N., Beta T, Ribani R.H. (2018). Natural bioactive starch film from Amazon turmeric (*Curcuma longa* L.). *Polym. Bull.*, 1-18

Hornung PS, A ´vila S, Lazzarotto M et al (2017) Enhancement of the functional properties of Dioscoreaceas native starches: mixture as a green modification process. *ThermochimActa* 649:31–40

Hornung PS, A ´vila S, Lazzarotto M et al (2017) Enhancement of the functional properties of Dioscoreaceas native starches: mixture as a green modification process. *Thermochim Acta* 649:31–40

[http:// www. rtflash. Fr/](http://www.rtflash.fr/) Le potentiel anticancéreux du curcuma confirmé par la science

http://books.google.fr/books?id=XIyc0SvKzVvC&pg=PA134&lpg=PA134&dq=fibro+vascular+bundle+turmeric&source=bl&ots=mbvCQD_3O&sig=XZpHqRhNz0IHvU9epkFaTMDvBY&hl=fr&ei=jju7S6q8OsGTOPewyPkH&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=8&ved=0CCgQ6AEwBw#v=onepage&q=&f=false , consulté le 12.06.2020

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Curcuma>, consulté le 06.06.2020

<http://www.archive.org/stream/compendiumoffood00clayrich#page/310/mode/2up>, consulté le 12.06.2020

http://www.courscuisine.eu/photos/le_rhizome_de_curcuma.jpg, consulté le 08.06.2020

http://www.plantcultures.org/plants/turmeric_landing.html, consulté le 03.06.2020

Hur J.; Sung-Kon K., 1984, Comparison of some physico-chemical properties of ginger root and cross-linked corn starches. *Korean J. Food sci.technol.* 16, 2, 201-205.

Ibezim EC, Ofoefule SI, Omeje EO, and Udoh UE. Performance of starch obtained from *Dioscorea adumetorum* as disintegrant in sodium salicylate tablets. *African journal of pharmacy and pharmacology*, 2008; 2(1): 052-058.

Ibezim, E. C., Ofoefule, S. I., Omeje, E. O., Onyishi V. I., Odoh, U. E. The role of ginger starch as a binder in acetaminophen tablets *Scientific Research and Essay* Vol. 3 (2), pp. 046-050, February, 2008

Jansen P.C.M., Grubben G.J.H., Cardon D. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 3. Colorants et tanins. Wageningen, Pays-Bas : PROTA, 2005.-238p.

Jarvis, C. E. and Walker, J. R. L. (1993) Simultaneous, rapid, spectrometric determination of total starch, amylose and amylopectin. *Journal of the science of food and agricultural biology*, 63, 53-57.

Jatoi SA, Kikuchi A, Mimura M, Yi SS, Watanabe N. 2008. Relationship of *Zingiber* species and genetic variability assessment in ginger (*Z. officinale*) accessions from ex-situ genebank, onfarm and rural markets. *Breed. Sci.*, **58**: 261-270.

Jenkins P.J. & Donald A.M., (1998) Gelation of starch: a combined SAXS/WAXS/DSC and SANS study. *Carbohydrate Research*, 308: 133-147.

Jiménez A, Fabra MJ, Talens P, Chiralt A (2012) Edible and biodegradable starch films: a review. *Food Bioprocess Technol* 5:2058–2076

Jimenez A, Fabra MJ, Talens P, Chiralt A (2012) Edible and biodegradable starch films: a review. *Food Bioprocess Technol* 5:2058–2076

John M., Schmidt J., Kneifel H., (1983). Iodine maltosaccharine complexes: relation between chain length and colour. *Carbohydrate Research*, 119: 254-257.

Joseph BS and James AZ. The binding and disintegrant properties of corn starch fractions: Amylose and Amylopectin. *Drug development and Industrial Pharmacy*, 2008; 4(5): 463-483.

Jyothi N., S. N. Moorthy SN, Vimala B. (2003): Physicochemical and Functional Properties of Starch from Two Species of Curcuma, *International Journal of Food Properties*, 6:1, 135-145

Kaur L., J. Singh, O.J. McCarthy, H. Singh, J. Food Eng. 82 (2007) 383–394

Kress WJ, Prince LM, Williams KJ. 2002. The phylogeny and a new classification of the gingers (*Zingiberaceae*): evidence from molecular data. *Americ. J. Bot.*, **89**: 1682-1696.

Levacher de la Feutrie. L'école de Salerne, ou L'art de conserver la santé. Segaud. 1779. 408p.

- Li M, Xie F, Hasjim J et al (2015) Establishing whether the structural feature controlling the mechanical properties of starch films is molecular or crystalline. *CarbohydrPolym* 117:262–270
- Mali S, Grossmann MVE, Garcia MA et al (2002) Microstructural characterization of yam starch films. *CarbohydrPolym* 50:379–386
- Mali S, Grossmann MVE, Garcia MA et al (2002) Microstructural characterization of yam starch films. *CarbohydrPolym* 50:379–386
- Maniglia BC, Domingos JR, de Paula RL, Tapia-Bla'cido DR (2014) Development of bioactive edible film from turmeric dye solvent extraction residue. *LWT Food SciTechnol* 56:269–277
- Maniglia BC, Domingos JR, de Paula RL, Tapia-Bla'cido DR (2014) Development of bioactive edible film from turmeric dye solvent extraction residue. *LWT Food SciTechnol* 56:269–277
- Melvin, A. **1979** The effect of extractable lipids on the viscosity characteristics of corn and wheat starches. *Journal of Science Food Agric.* 30, 731–738.
- Morrison W.R. (1995) Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality *Cereal Foods World*, 40, 437-446.
- Morrison W.R. and Karkarlas J. 1990. Starch. *Methods in plant biochemistry*, 2, 323-352. P.M. Dey (ed.). Academic Press, San Diego.
- Musa KH, Abdullah A, Jusoh K, and Subramanian V. Anti-oxidant activity of prime fresh guava (*Psidiumguajava*L). Effects of extraction techniques and solvents. *Food Anal. Methods*, 2011; 4(1): 100-107.
- Musso YS, Salgado PR, Mauri AN (2016) Smart edible films based on gelatin and curcumin. *Food Hydrocoll* 66:8–15
- Musso YS, Salgado PR, Mauri AN (2016) Smart edible films based on gelatin and curcumin. *Food Hydrocoll* 66:8–15
- Natarajan C.P., PadmanBai R., Krishnamurthy M.N., Raghavan B., Shankaracharya N.B., Kuppaswamy S., Govindarajan V.S. & Lewis Y.S., 1972, Chemical composition of ginger varieties and dehydration studies on ginger. *Journal of food science and technology*, 9, 120-124.
- Nayak S, Naik PK, Qcharya L, Mukherjee AK, Panda PC, Das P. 2005. Assessment of genetic diversity among 16 promising cultivars of ginger using cytological and molecular markers. *Z. Naturforsch*, **60c**: 485-492
- Nayak S, Naik PK, Qcharya L, Mukherjee AK, Panda PC, Das P. 2005. Assessment of genetic diversity among 16 promising cultivars of ginger using cytological and molecular markers. *Z. Naturforsch*, 60c: 485-492.
- Nguyen CM, Nguyen TN, Choi GJ et al (2014) Acid hydrolysis of *Curcuma longa* residue for ethanol and lactic acid fermentation. *BioresourTechnol* 151:227–235

- Nguyen CM, Nguyen TN, Choi GJ et al (2014) Acid hydrolysis of Curcuma longa residue for ethanol and lactic acid fermentation. *BioresourTechnol* 151:227–235
- Olabunmi O, Bashiru S, and Susan A. Evaluation of the binding properties of Spondiapurpurea tablet formulation. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical sciences*, 2013; 5: 584-589.
- Omojola M. O., Akinkunmi Y. O., Olufunsho K. O., Egharevba H. O. And Martins E. O. (2010): Isolation and physico-chemical characterization of cola starch; *African Journal of food, agriculture, nutrition and development*. 10(7):2884 – 2900.
- Ordu JI, Onyemelukwe JI. Evaluation of Starch from Ginger and Cassava as Pharmaceutical Tablet Excipient. *Int. J. Life. Sci. Scienti. Res.*,2018, 1-6.
- Oreka jardinage. Gingembre : savoir planter, tailler, entretenir. (En ligne) disponible sur : <https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/134/gingembre> (page consultée le 29/05/2020)
- Osman E. E.:In: “Starch, Chemistry and Technology”, ed. By R. L. Whistler and E. F. Paschall; Vol. 2, Academic Press, New York 1962, p. 163
- Paris R. R. et Moysse H. Précis de matière médicale. Tome 1. Paris : Masson, 1965
- Parthasarathy VA, Srinivasan V, Nair RR, John ZT, Kumar A, Prasath D. 2012. *Ginger: Botany and Horticulture*. Indian Institute of Spices Research Indian Council of Agricultural Research: Kerala, India.
- Pauli RB, Quast LB, Demiate IM, Sakanaka LS (2011) Production and characterization of oxidized cassava starch (*Manihotesculenta*Crantz) biodegradable films. *Starch/Staerke* 63:595–603
- Penso G. Les plantes médicinales dans l’art et l’histoire. Paris : Roger Da Costa ed., 1986.
- Perrot E. Matières premières usuelles du règne végétal : Thérapeutique, hygiène, industrie. Paris : Masson, 1943, I.-p658-666.
- Perry M.-C. Evaluation de la curcumine comme agent anti-cancéreux dans le traitement des tumeurs cérébrales. Mémoire : Chimie : Montréal : 2008.
- Pinson C. Curcuma et gingembre – un concentré de bienfaits pour votre santé et votre beauté. Eyrolles Ed. 2012. 169p.
- Pline l’Ancien, histoire naturelle, livre douze. Remacle. (En ligne) disponible sur : <http://remacle.org/bloodwolf/erudits/plineancien/livre12.htm> (page consultée le 29/05/2020)
- Praveen N M, Manasa S, Kiran B Muchadi, Sathish Kumar B Y. Physicochemical characterization of starch from Ginger (*ZingiberOfficinale*). *J Pharm Adv Res*, 2019; 2(2): 475-478.
- Preeti C, Dnyaneshwar W, Kalpana J, Bhushan P. 2008. Development of SCAR (sequence-characterized amplified region) markers as a complementary tool for identification of ginger (*Zingiberofficinale*Roscoe) from crude drugs and multi component formulations. *Biotech. Appl. Biochem.*,50: 61-69.

- Preeti C, Dnyaneshwar W, Kalpana J, Bhushan P. 2008. Development of SCAR (sequence-characterized amplified region) markers as a complementary tool for identification of ginger (*Zingiberofficinale*Roscoe) from crude drugs and multi component formulations. *Biotech. Appl. Biochem.*,**50**: 61-69.
- Purseglowe J.W., Brown E.G., Green C.L. Spices. Londres : Longman, 1981.
- Qiu Y, Liu Q, Beta T (2010) Antioxidant properties of commercial wild rice and analysis of soluble and insoluble phenolic acids. *Food Chem* 121:140–147
- Reyes F.G.R., D'Appolonia B.L., Ciarco Montgomery M.W., 1982, Characterization of starch from ginger root (*Zingiberofficinale*). *Starch*, 34, 2, 40-44.
- Salgado PR, Ortiz CM, Musso YS et al (2015) Edible films and coatings containing bioactives. *CurrOpin Food Sci* 5:86–92
- Salgado PR, Ortiz CM, Musso YS et al (2015) Edible films and coatings containing bioactives. *CurrOpin Food Sci* 5:86–92
- Salman H., J. Blazek, A. Lopez-Rubio, E.P. Gilbert, T. Hanley, L. Copeland, Carbo-hydr. *Polym.* 75 (2009) 420–427
- Shah U, Naqash F, Gani A, Masoodi FA (2016) Art and science behind modified starch edible films and coatings: a review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 15:568–580
- Shah U, Naqash F, Gani A, Masoodi FA (2016) Art and science behind modified starch edible films and coatings: a review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 15:568–580
- ShariqShamsi, Tajuddin, S.H. Afaq. Spice and medicine: zingiberofficinale. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*. Volume: I: Issue-3: Nov-Dec - 2010
- Shishodia S, Sethi G, Aggarwal BB. Curcumin: getting back to the roots. *Ann N Y Acad Sci.*2005 Nov;1056:206-17.
- Singh A.V., Nath L.K., Singh A. pharmaceutical, food and non-food applications of modified starches: a critical review.*EJEAFChe*, 9 (7), 2010. [1214-1221]
- Singh G, Kapoor IPS, Singh P, Heluani CS, Lampasona MP, Catalan CAN. 2008. Chemistry, antioxidant and antimicrobial investigations on essential oil and oleoresins of *Zingiberofficinale*. *FoodChem. Toxicol.*, **46**: 3295–3302.
- Singh J., Kaur L. & McCarthy O.J. (2007). Factors influencing the physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food application-A review. *Food Hydrocolloids*. 21: 1-22.
- Société française d'ethnopharmacologie. *Zingiber officinale* Roscoe. (En ligne) disponible sur : http://www.ethnopharmacologia.org/recherche-dans-prelude/?plant_id=13270 (page consultée le 29/05/2020)
- Soong Y, Rong JL, Yu TY, Jun YL, Chung YC. 2011. A new phenylalkanoid from the rhizomes of *Zingiberofficinale*. *Nat.Prod. Res.*, **26**: 1318-1322.

Sudha M, Abbaraju K S. Extraction of Starch from Ginger Rhizome (*ZingiberOfficinale*). Op Acc J Bio Eng& Bio Sci 2(4)- 2018. OAJBEB. MS.ID.000143.

Talo'n E, Trifkovic KT, Nedovic VA et al (2017) Antioxidant edible films based on chitosan and starch containing polyphenols from thyme extracts. *CarbohydrPolym* 157:1153–1161

Tester R.F., Morrison W.R. (1990a) Swelling and gelatinization of cereal starches. 1. Effects of amylopectin, amylose and lipids *Cereal Chem.*, 67, 551-557.

Tester RF, W.R. Morrison, *Cereal Chem.* 69 (1992) 654–658.

Thorn W. and Mohazzeb S. 1990. α -D-polyglucan-iodine complexes. *Starck/ Staerke* 42, 455-459.

Thorn, W. and Mohazzeb, S. 1990. Molecular weights, lengths, and distribution of side-chain in α -D-polyglucanes. *Starck/ Staerke* 42, 373-376.

Thurn A., Burchard W. (1985). Heterogeneity in branching of amylopectine, *Carbohydrate Polymer*. 5: 441-460.

Toil'd'épices. Histoire du gingembre. (En ligne) disponible sur : http://www.toildepices.com/wiki/index.php?title=Histoire_du_gingembre (page consultée le 29/05/2020)

Ulcère gastroduodéal. L'assurance maladie (En ligne) disponible sur : <http://www.ameli-sante.fr/ulcere-gastroduodenal/lulcere-gastroduodenal-definition-et-causes.html> (page consultée le 29/05/2020)

Van Hung P, Vo TND (2017) Structure, physicochemical characteristics, and functional properties of starches isolated from yellow (*Curcuma longa*) and black (*Curcuma caesia*) turmeric rhizomes. *Starch Starke* 69:1600285

Van Hung P, Vo TND (2017) Structure, physicochemical characteristics, and functional properties of starches isolated from yellow (*Curcuma longa*) and black (*Curcuma caesia*) turmeric rhizomes. *Starch Starke* 69:1600285

Waliszewski K. N., Aparicio M. A., Bello L. A. & Monroy J. A., (2003). Changes of banana starch by chemical and physical modification. *CarbohydratePolymers* 52: 237–242.

Weici T. Handbook of chinese medicinal plants. Volume 2. Wiley-VCH Ed. Weinheim. 2011. 1282 p.

WHO (World Health Organization). RhizomaZingiberis. (En ligne) disponible sur : <http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Js2200e/30.html> (pages consultées le 29/05/2020)

Xiao, H.; Lin, Q.; Liu, G.Q. Effect of cross-linking and enzymatic hydrolysis composite modification on the properties of Rice Starches. *Molecules* 2012, 17, 8136–8146.

Yin et Yang. Wikipédia (En ligne) disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Yin_et_yang (page consultée le 30/05/2020)

Yingqibao, 2002 Evaluation de la rétention et de la perte d'amidons modifiés. Mémoire de maîtrise en science des pâtes et papiers. Université du Québec à Trois-Rivières, Canada. 92 p.

Zobel H.F. (1988) Starch crystal transformations and their industrial importance. *Starch/Stärke*, 40(1), 1-7.