

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

FACULTE DE MEDECINE, DE PHARMACIE ET D'ODONTOLOGIE



**MASTER II D'ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES ET MANAGEMENT
QUALITE DES PRODUITS DE SANTE ET DES ALIMENTS**

**VALEUR NUTRITIVE ET THERAPEUTIQUE DES
PEPINS DE DEUX ESPECES DE CUCURBITACEES
CULTIVEES AU SENEGAL**

Mémoire Master II

Présentée et soutenue par Mme Awa Boubou SALL

Le 24 Juillet 2017

MEMBRES DU JURY

Président de Jury	M. Bara	Ndiaye	Professeur Titulaire
Examineur	M. Serigne Omar	Sarr	Professeur Titulaire
Encadreur	M. Amadou	Diop	Maitre de conférences Agrégé

ANNEE 2017

SOMMAIRE

SOMMAIRE	1
LISTE DES ABREVIATIONS	3
LISTE DES FIGURES.....	5
LISTE DES TABLEAUX	6
INTRODUCTION	7
PARTIEL.....	8
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	8
CHAPITRE I : LES ESPECES ETUDIEES.....	9
I-1 CLASSIFICATION	9
I-2ASPECTS BOTANIQUES	9
I-3VALEUR NUTRITIONNELLE	11
I-4-PROPRIETES MEDICINALES	12
I-5 UTILISATIONS TRADITIONNELLES.....	14
CHAPITRE II : ACTIVITE ANTIOXYDANTE.....	16
II-1 RADICAUX LIBRES	16
II-2 LES ANTIOXYDANTS	16
II-3 LE STRESS OXYDANT	23
II-4 EVALUATION DE L'ACTIVITE ANTIOXYDANTE	26
PARTIE II	28
ETUDE EXPERIMENTALE.....	28

<u>I OBJECTIFS</u>	<u>29</u>
<u>I-1 OBJECTIF GENERAL.....</u>	<u>29</u>
<u>I-2 OBJECTIFS SPECIFIQUES</u>	<u>29</u>
<u>II MATERIEL ET METHODES.....</u>	<u>29</u>
<u>II-1 MATERIEL ET REACTIFS</u>	<u>29</u>
<u>II-2 METHODES.....</u>	<u>31</u>
<u>III RESULTATS.....</u>	<u>40</u>
<u>III-1 COMPOSITION CHIMIQUE DES GRAINES</u>	<u>40</u>
<u>III-2 CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES ET COMPOSITION EN AG DES HUILES EXTRAITES.....</u>	<u>40</u>
<u>III-3 RENDEMENT D'EXTRACTION</u>	<u>44</u>
<u>III-4 COMPOSITION PHYTOCHIMIQUE DE L'EXTRAIT AQUEUX DES GRAINES</u>	<u>45</u>
<u>III-5 ACTIVITE ANTIOXYDANTE.....</u>	<u>46</u>
<u>IV DISCUSSION</u>	<u>50</u>
<u>CONCLUSION</u>	<u>54</u>
<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</u>	<u>55</u>
<u>ANNEXE I</u>	<u>62</u>
<u>ANNEXE II.....</u>	<u>67</u>
<u>ANNEXE III</u>	<u>71</u>
<u>ANNEXE IV.....</u>	<u>72</u>
<u>ANNEXE V</u>	<u>73</u>
<u>ANNEXE VI</u>	<u>78</u>

LISTE DES ABREVIATIONS

ADN	Acide désoxyribonucléique
AGPI-OO[•]	Acide gras polyinsaturé radicalaire
AGPI-OOH	Acide gras polyinsaturé
AG	Acide gras
AGI	Acide gras insaturé
AGPI	Acide gras polyinsaturé
AGS	Acide gras saturé
Asc	Acide ascorbique
Asc[•]	Forme radicalaire de l'acide ascorbique
ATP	Adénine triphosphate
Cit	Citrouille
DO	Densité Optique
DPPH	2,2-diphényl-1-picryl-hydrazyle
ERO	Espèces réactives de l'oxygène
FAE	Fraction acétate d'éthyle
FAR	Fraction aqueuse résiduelle
FDM	Fraction dichlorométhanique
FH	Fraction hexanique
GPx	Glutathion peroxydase
Gs[•]	Radical thyle
GSH	Glutathion réduit

GSSG	Glutathion oxydé
LDL	Lipoprotéines de faible densité
MG	Matière grasse
NADPH	Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate
Pa	Pastèque
PI	Pourcentage d'inhibition
RL	Radicaux libres
SOD	Superoxyde dismutase

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plante de <i>Citrullus lanatus</i> [7]	10
Figure 2 : Plante de <i>Cucurbita pepo</i> [8]	11
Figure 3 : Parties comestibles de citrouille [38]	15
Figure 4 : Déséquilibre de la balance entre antioxydants et pro-oxydants [54]	24
Figure 5 : Mécanisme de réduction DPPH [60].	27
Figure 6 : Graines de pastèque entières et décortiquées	29
Figure 7 : Graines de citrouille entières et décortiquées	30
Figure 8 : Extraction du broyat et fractionnement de l'extrait sec des pépins	33
Figure 9 : Couleur des huiles extraites	41
Figure 10 : Profil de la référence acide ascorbique	46
Figure 11 : Profil d'activité antioxydante des différentes fractions de pépins de pastèque	47
Figure 12 : Profil comparé des différentes fractions de pépins de citrouille	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Composition en protéines, lipides et taux de cendres des graines de <i>Citrullus lanatus</i> rapportée dans différents pays	11
Tableau II : Composition en acides gras (g /100 g) de l'huile de <i>Citrullus lanatus</i>	12
Tableau III : Composition minérale des graines de <i>Citrullus lanatus</i> [10]	12
Tableau IV : Méthodes d'analyses physico-chimiques.....	31
Tableau V : Méthodes utilisées pour la détermination des indices caractéristiques	32
Tableau VI : Teneurs en macronutriments et valeur énergétique des graines des deux espèces de Cucurbitacées	40
Tableau VII: Composition en éléments minéraux (mg/100 g) des graines	40
Tableau VIII : Indices caractéristiques des huiles	41
Tableau IX : Composition en acide gras (% , m/m) de l'huile extraite.	43
Tableau X : Pourcentage pondérale des AGS et AGI par rapport aux Acides Gras Totaux	44
Tableau XI : Rendement du fractionnement de l'extrait.....	45
Tableau XII : Composition phytochimique de l'extrait aqueux des graines	45
Tableau XIII : Pourcentages d'inhibition des différentes fractions de l'extrait éthanolique des pépins de pastèque	47
Tableau XIV : Pourcentage d'inhibition des différentes fractions testées de pépins de citrouille.....	48

INTRODUCTION

La pastèque (*Citrullus lanatus*) et la citrouille (*Cucurbita pepo*) sont des plantes dicotylédones de la famille des Cucurbitacées qui comprend environ 125 genres répartis en 825 espèces.[1]

Aujourd'hui, la culture de ces plantes s'est répandue dans plusieurs pays des régions tempérées et tropicales. Elles produisent des fruits qui entrent dans l'alimentation et surtout des graines dotées de principes actifs à caractère médicinal (activités, vermifuge, anti-inflammatoire, anti-cancéreuse, diurétique ; bienfaits sur la santé cardiovasculaire, ...) et de propriétés nutritionnelles reconnues.

Au Sénégal, la culture et la consommation des fruits de Cucurbitacées (pastèque, citrouille, potiron, melon, concombre...) occupent une place importante avec une production qui s'est accrue ces dernières années. Les principales régions productrices recensées sont celles de Saint-Louis, Matam, Kaolack, Ziguinchor [2].

Cependant, l'inconvénient majeur repose sur le fait que les graines de ces fruits sont le plus souvent banalisées si elles ne sont pas tout simplement jetées.

Ainsi l'objectif de notre étude est de démontrer l'intérêt nutritionnel et thérapeutique des graines de ces deux espèces de Cucurbitacées (*Citrullus lanatus* et *Cucurbita pepo*).

Ce mémoire comporte deux parties. Dans la première partie nous ferons une synthèse bibliographique avec deux chapitres dont l'un aborde les généralités sur les espèces étudiées et l'autre donne des éléments sur l'activité antioxydante. Dans la deuxième partie nous présenterons, le matériel, les méthodes et les résultats qui seront l'objet d'un chapitre discussion.

PARTIE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : LES ESPECES ETUDIEES

I-1 Classification

La classification des espèces étudiées est la suivante :

I-1-1 Pastèque

- Règne : Plantae
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Dicotyledoneae
- Ordre : Cucurbitales
- Famille : Cucurbitaceae
- Genre : Citrullus
- Espèce : *Citrullus lanatus* [3].

I-1-2 Citrouille

- Règne : Plantae
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Ordre : Cucurbitales
- Famille : Cucurbitaceae
- Genre : Cucurbita
- Espèce: *Citrullus pepo* [4].

I-2Aspects botaniques

Citrullus lanatus (pastèque ou melon d'eau) est une plante herbacée de la famille des Cucurbitacées, originaire d'Afrique, largement cultivée pour ses gros fruits lisses, à la pulpe rose, rouge, jaune, verte ou blanche et à graines noires ou rouges incorporées dans le moyen tiers de la chair. C'est une plante des pays chauds [5]. La pastèque est une plante annuelle à tiges rampantes pouvant atteindre 3 mètres de long. Les feuilles de forme générale triangulaire sont très découpées avec des lobes arrondis profondément incisés mais aux sinus également arrondis. Certaines sont transformées en vrilles permettant à la plante de s'accrocher et de grimper sur des supports variés (Figure1). Les fleurs à corolle jaune pâle sont comme la plupart des cucurbitacées soit mâles soit femelles mais toutes sont présentes sur le même pied (plante monoïque). Les fruits sont des baies particulières, des péponides, de forme sphérique plus ou moins oblongue de couleur vert foncé souvent marbré de blanc. Les graines sont ovoïdes à elliptiques, aplanies, lisses, jaunes brunes ou noires, rarement blanches [6].



Figure 1 : Plante de *Citrullus lanatus* [7]

Cucurbita pepo (citrouille) est une courge issue d'un vaste genre comprenant de nombreuses espèces et variétés aux multiples formes, couleurs et textures. La citrouille est de forme ronde et de couleur jaune orangée. Le pédoncule est dur et fibreux, à cinq côtes anguleuses et n'a pas de renflements à son point d'attache. Sa pulpe est dure. *Cucurbita pepo* se divise elle-même en six variétés [6]. La citrouille est une plante herbacée annuelle, grimpant par des vrilles latérales de 3 à 4 branches fortement ramifiées. Les tiges sont anguleuses et souvent cannelées. Les poils piquants s'enracinent souvent aux nœuds. Les feuilles sont alternes, simples, sans stipules avec un pétiole de 9 à 24 cm de long. Les fleurs sont solitaires, unisexuées, régulières, grandes, d'environ 10 cm de diamètre. Elles sont jaunes citron à jaunes doré à sépales libres, piquants à linéaires, de 1 à 3 cm de long. Le fruit est une grosse baie globuleuse à ovoïde, aplatie en coussin ou cylindrique (Figure 2). La pulpe est blanchâtre, jaune ou orange, contenant de nombreuses graines. Les graines sont obovoïdes, aplaties, de 1 à 1,5 cm × 0,5 à 1 cm, habituellement blanches. Elles se présentent en forme amincie en goulot oblique à l'une des extrémités, elles sont bordées d'un bourrelet arrondi [6].



Figure 2 : Plante de *Cucurbita pepo* [8]

I-3 Valeur nutritionnelle

Composé à 92 % d'eau, avec des propriétés hydratantes, la pastèque est pauvre en matière grasse et ne contient pas de cholestérol. Elle contient de nombreux éléments intéressants d'un point de vue nutritionnel comme les vitamines (C, B1, B6 et A)[9].

L'amende des graines de *Citrullus lanatus* est comestible et contient de nombreux éléments nutritifs tels que des matières azotées, grasses, minérales, cellulosiques, et autres constituants comme l'indiquent les tableaux I, II, et III.

Tableau I: Composition en protéines, lipides et taux de cendres des graines de *Citrullus lanatus* rapportée dans différents pays

Pays	Protéine (%)	Lipides (%)	Cendres (%)
Niger [10]	13,6	18,3	1,89
Congo [11]	26,7	37,7	3,8
Congo [12]	—	48,1	—
Nigeria [13]	—	46,5	—

Le tableau II donne la composition en acides gras (AG) de l'huile de *C. lanatus* rapportée dans différents pays.

Tableau II : Composition en acides gras (g /100 g) de l'huile de *Citrullus lanatus*

Pays	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	R2
Niger[10]	12,3	11,3	14,4	60,6	0,5	0,31
Congo[11]	10,3	9,3	10,7	66,0	-	0,26
Congo[12]	1,03	1,08	16,6	61,9	0,10	0,27
Nigeria[13]	11,0	6,6	24,8	57,6	-	0,21

R2 : rapport AG saturés /AG insaturés

Tableau III : Composition minérale des graines de *Citrullus lanatus* [10]

Eléments	P	Na	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
Quantité mg/100g	406,9	1,5	340,3	121,6	216,2	3,57	0,72	2,70	1,80

La graine de *C.lanatus* est une excellente source d'énergie (557 kcal) et ne contient aucun acide hydrocyanique, ce qui en fait un aliment approprié pour le bétail. L'huile de la graine contient des glucosides, des acides linoléique, oléique, palmitique et stéarique [14].

Les nutriments les plus importants notés dans la graine de *C.pepo* sont la vitamine A, le phosphore, le magnésium, le potassium, le fer, le zinc, le manganèse, le cuivre, la vitamine B2, l'acide pantothénique aussi appelé vitamine B5, la vitamine C, et la vitamine E.

I-4-Propriétés médicinales

Plusieurs études prospectives et épidémiologiques ont démontré qu'une consommation élevée de fruits et de légumes diminuait le risque de maladies cardiovasculaires [15], de certains cancers [16] et d'autres maladies chroniques [15,16]. Quelques mécanismes d'action ont été proposés pour expliquer cet effet protecteur : la présence d'antioxydants dans les fruits et les légumes par exemple. En effet, les antioxydants sont des composés qui protègent les cellules du corps des dommages causés par les radicaux libres. Ces derniers sont des molécules très réactives qui seraient impliquées dans le développement des maladies cardiovasculaires, de certains cancers et d'autres maladies liées au vieillissement [17]. Les principaux composés antioxydants de la pastèque sont des caroténoïdes, le lycopène et dans une moindre mesure le bêta-carotène [19]. Le lycopène a entre autres un effet hypocholestérolémiant, prévient

l'inflammation et empêche la formation de certains types de cellules cancéreuses [18,19]. Des concentrations élevées de lycopène dans le sang ont également été associées à une plus faible incidence de maladies cardiovasculaires [22] et de cancer de la prostate [23]. La pastèque est l'un des aliments les plus riches en citrulline qui est convertie en arginine (un acide aminé essentiel), qui joue un rôle sur les systèmes cardiovasculaire et immunitaire et qui aurait des effets bénéfiques sur la santé des vaisseaux sanguins [24]. De façon générale, la consommation d'aliments riches en caroténoïdes conduit à un risque moindre de souffrir de certains cancers. Il est à noter que les caroténoïdes sont mieux absorbés dans l'organisme lorsqu'une petite quantité de lipides (gras) est consommée au même moment [25].

L'activité anti-inflammatoire de la pastèque a été décelée lors de certains travaux. Dans d'autres investigations il a été noté une diminution de l'hyperplasie bénigne de la prostate. Ailleurs, les graines de *C.lanatus* peuvent être recommandées comme la nouvelle source du traitement de giardases. Il a été noté un potentiel antioxydant et analgésique des graines qui peuvent être utilisés comme un futur médicament alimentaire. D'autres travaux ont montré une propriété antiulcéreuse et une activité hépato protectrice [14].

En outre, la citrouille est hypocalorique et idéale pour les diètes. Elle convient très bien aux estomacs les plus sensibles. C'est également un puissant antidouleur, car renfermant de la tyrosine. C'est aussi, une courge efficace contre les douleurs hémorroïdaires [8].

Le principal caroténoïde de la citrouille est le bêta-carotène [24,25]. En plus d'être une source de vitamine A pour l'organisme, le bêta-carotène aurait aussi un effet antioxydant. Il pourrait améliorer certaines fonctions du système immunitaire [26,27]. En outre, La citrouille contient une bonne quantité de lutéine et de zéaxanthine, deux autres composés antioxydants de la famille des caroténoïdes [24,25]. De plus, on commence à croire que ces composés pourraient contribuer à prévenir certains cancers, notamment le cancer du sein et le cancer du poulmon, et les maladies cardiovasculaires [30]. La citrouille contient aussi des quantités non négligeables de bêta-cryptoxanthine et de plus petites quantités d'alpha-carotène [24,25]. Tout comme les autres caroténoïdes, ces composés peuvent se transformer en vitamine A dans l'organisme [31]. Ils empêcheraient la prolifération de certaines cellules cancéreuses, ce qui fait du bêta-cryptoxanthine et de l'alpha-carotène des composés prometteurs dans la prévention du cancer [32].

Par ailleurs, les graines de citrouille contiennent une quantité élevée de phytostérols. Ces composés sont reconnus pour leurs bienfaits sur la santé cardiovasculaire [33] et leurs effets

potentiellement bénéfiques dans la prévention de certains cancers [32,33]. De plus, les acides gras des graines de citrouille sont, dans une grande proportion, monoinsaturés et polyinsaturés, des types de lipides ayant des effets bénéfiques contre les facteurs de risque de maladies cardiovasculaires [36].

Une étude a montré une activité antihelminthique et schistosomiale par l'effet du constituant le plus actif, la cucurbitine (3-amino-3-carboxypyrrolidine)[6].

I-5 Utilisations traditionnelles

Dans plusieurs pays, on sélectionne les melons d'eau pour qu'ils produisent un maximum de gros pépins. En Afrique, ceux-ci sont considérés comme un aliment en soi puisqu'ils sont riches en protéines, en glucides et en lipides. En Inde, on en fait une farine pour le pain. En Asie, on les consomme rôtis et salés.

Les graines sont utilisées principalement pour la consommation humaine mais, dans certaines régions, elles sont écrasées pour l'extraction d'huile. Le tourteau qui en résulte peut être valablement utilisé dans les aliments pour les ruminants.

L'huile extraite est utilisée dans les préparations à base d'huile, les fritures ou encore dans les produits cosmétiques à l'exemple de l'huile du Kalahari (désert de l'Afrique du Sud) qui possède des propriétés

- régénérante et restructurante (régule l'hydratation de la peau),
- protectrice et adoucissante (participe à l'intégrité des parois cellulaires et à la souplesse de la peau) [37].

Les fruits immatures, appelés courgettes, constituent le principal produit de *Cucurbita pepo*. Ils sont consommés comme légumes, soient cuits à l'eau soient frits ou farcis. Les fruits mûrs, qu'on appelle courges ou citrouilles, s'utilisent épluchés et cuits. En Afrique de l'Ouest, les fruits sont utilisés en soupes et avec du couscous. On utilise parfois les fleurs mâles de courgette pour faire des beignets. Les graines de *Cucurbita pepo* sont comestibles crues ou grillées. La poudre de graines de citrouille s'emploie en Chine et aux Etats-Unis comme ingrédient des sauces à salade, ainsi qu'en pâtisserie [8].

L'huile des graines s'utilise comme huile d'assaisonnement en Europe, et en Inde elle sert pour la cuisson. L'huile des graines est à mettre dans les salades et les soupes, sur les pommes de terre ou les légumes cuits, ou sur du poisson [8].



Figure 3 : Parties comestibles de citrouille [38]

CHAPITRE II : ACTIVITE ANTIOXYDANTE

II-1 RADICAUX LIBRES

Un radical libre est une espèce chimique (atome ou molécule) qui possède un électron célibataire ou non apparié. Cette caractéristique le rend instable et lui procure une grande réactivité vis-à-vis des molécules environnantes. Un radical libre se stabilise au détriment de la molécule voisine qui devient à son tour un radical libre et ainsi de suite. Le phénomène se propage par des réactions en chaîne. Mais ils peuvent aussi s'attaquer, lorsqu'ils sont en excès, à tous les constituants du vivant et favoriser les maladies chroniques comme la cataracte, le cancer, les maladies coronariennes, le diabète, l'insuffisance rénale, les maladies d'Alzheimer et de Parkinson...[39].

Parmi, ces radicaux libres on distingue les dérivés oxygénés radicalaires désignés sous le terme de « ERO » tels que :

- Anion superoxyde ($O_2^{\bullet-}$)
- Radical hydroxyle ($OH^{\bullet}$)
- Monoxyde d'azote ($NO^{\bullet}$)
- Radical peroxyde ($ROO^{\bullet}$)
- Radical alkoxyle ($RO^{\bullet}$)

En théorie, ces ERO sont neutralisées ou prises en charge par des substances protectrices de l'organisme, qu'on appelle antioxydants. Les antioxydants ont un rôle important : empêcher les ERO d'atteindre leurs cibles et de les endommager [39].

II-2 LES ANTIOXYDANTS

Les antioxydants sont des molécules capables d'interagir sans danger avec les radicaux libres et de mettre fin à la réaction en chaîne avant que les molécules vitales ne soient endommagées. Chaque molécule antioxydante ne peut réagir qu'avec un seul radical libre, et par conséquent, il faut constamment refaire le plein de ressources antioxydantes [40].

Pour se protéger des effets délétères des ERO, l'organisme dispose d'un ensemble complexe de défenses antioxydantes. On distingue deux sources d'antioxydants l'une est constituée par l'alimentation sous forme de fruits et légumes riches en vitamines C, E, caroténoïdes, ubiquinone, flavonoïdes, acide lipoïque; l'autre est endogène et se compose

d'enzymes (superoxyde dismutase, glutathion peroxydase, catalase), de protéines (ferritine, transferrine, céruléoplasmine, albumine) et de systèmes de réparation des dommages oxydatifs comme les endonucléases. A cela s'ajoutent quelques oligoéléments comme le sélénium, le cuivre et le zinc qui sont des cofacteurs d'enzymes antioxydantes [41].

II-2-1 Antioxydants endogènes

II-2-1-1 Antioxydants enzymatiques

- **Les superoxydes dismutases (SOD)**

Ces métalloprotéines, qui représentent une des premières lignes de défense contre le stress oxydant, assurent l'élimination de l'anion superoxyde $O_2^{\bullet-}$ par une réaction de dismutation, en le transformant en peroxyde d'hydrogène et en oxygène [42].

- **La catalase**

La catalase est une enzyme catalysant la dismutation du peroxyde d'hydrogène [42].

- **La glutathion peroxydase (GPx)**

La glutathion peroxydase est une enzyme formée de 4 sous-unités contenant chacune un atome de sélénium incorporé dans une molécule de sélénocystéine. Son rôle principal consiste en l'élimination des peroxydes lipidiques résultant de l'action du stress oxydant sur les acides gras polyinsaturés [41]. La GPx assure la transformation des hydroperoxydes organiques, lipidiques notamment, de type ROOH en ROH. Cette enzyme lutte contre les radicaux libres qui, s'ils sont en trop grand nombre, vont attaquer et détruire l'ADN [43].

- **L'hème oxygénase**

L'hème oxygénase dégrade l'hème (pro-oxydant) en bilirubine qui est un antioxydant capable de prévenir l'oxydation des lipoprotéines de faible densité (LDL)[43].

II-2-1-2 Les antioxydants non enzymatiques

Ces systèmes antioxydants agissent en complexant les métaux de transition comme le fer et le cuivre qui jouent un rôle important dans la peroxydation ou bien se comportent en piègeurs de radicaux libres.

- **La transferrine ou sidérophiline et la lactoferrine**

Elles exercent leurs effets protecteurs en complexant le fer, l'empêchant ainsi de catalyser la formation du radical hydroxyle ($\text{OH}^\bullet$) [44].

- **La céruloplasmine**

Elle agit en transportant le cuivre et en neutralisant l'anion superoxyde ($\text{O}_2^\bullet$). Elle catalyse également l'oxydation du fer ferreux en fer ferrique sans libération de radicaux libres oxygénés intermédiaires [45].

- **L'haptoglobine et l'hémopexine**

Elles auraient des propriétés antioxydantes par fixation de l'hémoglobine et de l'hème qui sont porteuses de fer qu'elles peuvent libérer et donc initier des réactions telles que la lipoperoxydation [46].

- **La bilirubine**

La bilirubine est un produit terminal de la dégradation de l'hème et résulte essentiellement du catabolisme de l'hémoglobine par les cellules réticuloendothéliales. Composé non hydrosoluble, elle se lie à l'albumine dans un rapport stœchiométrique 1/1, ce qui empêche sa pénétration dans des tissus riches en lipides tels que le cerveau. La bilirubine est capable de piéger les radicaux peroxy ($\text{ROO}^\bullet$) et l'oxygène singulet. Ainsi, elle protège l'albumine et les acides gras liés à l'albumine des attaques radicalaires [41].

- **L'acide urique**

Produit terminal majeur du métabolisme des purines chez l'homme, il est à pH physiologique majoritairement ionisé sous forme d'urate, un piègeur puissant de radicaux ($\text{OH}^\bullet$, $\text{ROO}^\bullet$, $\text{NO}^\bullet$...) [41]. Il inhibe la lipoperoxydation en fixant le fer et le cuivre. C'est également un piègeur du radical peroxy ($\text{ROO}^\bullet$) et de l'acide hypochloreux (HClO) [47].

- **Le coenzyme Q10**

Le coenzyme Q10, appelé ubiquinone en raison de son ubiquité dans les cellules, est un dérivé benzoquinolique avec une longue chaîne latérale isoprénique. Cette chaîne latérale

confère à la molécule un caractère lipophile qui lui permet de s'insérer dans les membranes et les lipoprotéines. Il joue un rôle essentiel dans la chaîne mitochondriale de transport d'électrons et est un puissant inhibiteur de peroxydation lipidique, en synergie avec la vitamine E. Il est à noter que la synthèse de cet antioxydant est, en tout point, parallèle à celle du cholestérol. La formation de ces deux molécules dépend en effet, de l'acide mévalonique formé à partir de la transformation de la (3-hydroxy-3- méthylglutaryl-CoA) par la HMG-CoA réductase [41].

- **Le système thiorédoxine**

Le milieu intracellulaire est plutôt réducteur, les protéines contiennent des groupements thiols libres et les ponts disulfures sont rares. L'antioxydant majeur responsable du maintien des protéines à l'état réduit est la thiorédoxine qui sera régénérée par le NADPH sous l'action de la thiorédoxine réductase qui possède un groupement sélénocystéine dans son site actif. Elle intervient dans la dégradation des peroxydes lipidiques et du peroxyde d'hydrogène ainsi que dans la régénération du radical ascorbyl en acide ascorbique [41].

- **Les hormones**

Les hormones sexuelles femelles, par la présence d'un d'hydroxyle phénolique au niveau de leur structure chimique, inhibent la peroxydation lipidique des LDL *in vitro* à des concentrations micromolaires [48].

- **Le glutathion et les protéines-thiols**

Le glutathion est un tripeptide (acide glutamique-cystéine-glycine). Il est le thiol (-SH) majoritaire au niveau intracellulaire (l'albumine étant son équivalent plasmatique) où il est présent sous forme essentiellement réduite (GSH). Dans des conditions physiologiques, sa forme oxydée (GSSG) est en concentration très faible. Le rapport GSH/GSSG est considéré comme un excellent marqueur de la peroxydation lipidique et permet d'objectiver l'importance du stress. Au cours du vieillissement et lors d'un exercice intense, ce rapport tend à diminuer. Les autres propriétés antioxydantes du GSH sont nombreuses : cofacteur de la GPx, chélateur des métaux de transition, régénérateur final des vitamines E et C à partir de leur forme radicalaire. La plupart des protéines dont l'albumine contiennent des groupements « thiols » qui possèdent des propriétés réductrices et piègent facilement les ERO [41].

- **L'albumine**

Elle se combine au cuivre et empêche la formation du radical hydroxyle ($\text{OH}^\bullet$). C'est également un piègeur de l'acide hypochloreux (HClO), un oxydant produit par la myéloperoxydase au cours de la phagocytose [45].

II-2-2 Antioxydants exogènes

Ces antioxydants sont constitués par toutes les substances d'origine alimentaire ou médicamenteuse capables d'inhiber l'action des radicaux libres.

II-2-2-1 Les vitamines

- **La vitamine E**

Ce terme désigne un ensemble d'isomères, les tocophérols (constitués d'un noyau chromanol et d'une chaîne latérale saturée à 16 atomes de carbone) et les tocotriénols (qui diffèrent des tocophérols par la présence de 3 doubles liaisons sur cette chaîne latérale). D'un point de vue biologique, deux isomères sont particulièrement intéressants, l' α et le γ -tocophérol. Leur caractère hydrophobe leur permet de s'insérer au sein des membranes riches en acides gras polyinsaturés, où ils jouent un rôle protecteur en réagissant avec les radicaux peroxydes ($\text{ROO}^\bullet$) pour former un radical tocophéryle, empêchant ainsi la propagation de la peroxydation lipidique. Si l' α -tocophérol est le plus abondant, il semble que le γ -tocophérol soit le plus efficace à ce niveau. Les apports journaliers d' α -tocophérol sont de l'ordre de 10 mg : il se retrouve en quantité variable dans les huiles (soja, maïs, olive) et dans les noix et noisettes. Le γ -tocophérol est présent essentiellement dans l'huile de sésame [41].

- **La vitamine C (ou acide ascorbique)**

La vitamine C est un nutriment essentiel, ce qui signifie que les êtres humains sont incapables de la synthétiser, et qu'elle doit donc être obtenue à partir de l'alimentation. La vitamine C est, avant tout, un excellent piègeur des ERO ($\text{OH}^\bullet$ ou $\text{O}_2^\bullet$). Elle inhibe également la peroxydation lipidique en régénérant la vitamine E à partir de la forme radicalaire issue de sa réaction avec des radicaux lipidiques. Ses fonctions sont nombreuses : contribution au bon fonctionnement du système immunitaire, implication dans la synthèse du collagène et des globules rouges ainsi que dans les mécanismes de métabolisation du fer [41].

La vitamine C agit principalement en piégeant directement les ERO (majoritairement $O_2^{\cdot-}$ et $NO^{\cdot}$).

Elle est aussi capable de recycler (comme cité plus haut) l' α -tocophérol de façon à agir en synergie avec ce dernier dans la prévention de la peroxydation lipidique [49].

II-2-2-2 Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments jaunes ou rouges, très répandus chez les végétaux. Plus de 600 caroténoïdes différents ont été isolés à partir de sources naturelles, mais seul un petit nombre d'entre eux se retrouvent dans le sang et les tissus animaux [41]. L'un des caroténoïdes, le β carotène, est un précurseur de la vitamine A, ayant un effet antioxydant. Les caroténoïdes sont liposolubles et donc s'accumulent dans les tissus. Le β carotène, le lycopène et la lutéine sont les caroténoïdes les plus recherchés, et la preuve est faite qu'ils peuvent avoir des effets bénéfiques sur la santé [40]. Les caroténoïdes réagissent avec l'oxygène singulet, les radicaux peroxydes et alkyles en capturant les radicaux libres [50].

II-2-2-3 Les polyphénols

Ils constituent une famille importante d'antioxydants présents dans les végétaux. Ils sont présents sous forme d'anthocyanine dans les fruits rouges, sous forme de flavonoïdes dans les agrumes et l'huile de lin et sous forme de catéchine dans le thé, le chocolat, les pommes, les oignons et les algues brunes. Globalement, ce sont d'excellents piègeurs des ERO et de très bons chélateurs des métaux de transition comme le fer et le cuivre. Parmi eux nous pouvons citer :

- **Les flavonoïdes**

Les flavonoïdes sont des métabolites végétaux avec des propriétés antioxydantes efficaces. Il a été suggéré que les flavonoïdes puissent avoir un rôle protecteur contre les dommages causés par le cholestérol dans les vaisseaux sanguins, mais des recherches supplémentaires sont encore nécessaires. Les colorants des baies fortement colorées sont des flavonoïdes appelés anthocyanes. Ils peuvent jouer un rôle dans la prévention des cardiopathies [40]. Les flavonoïdes agissent par deux mécanismes d'action : soit par chélation des métaux (quercétine, catéchine) soit par capture des radicaux hydroxydes, superoxydes, alkyles et peroxydes [51].

- **Les acides phénoliques**

Les composés qui possèdent une activité antioxydante sont l'acide caféique, l'acide gallique et l'acide chlorogénique [52].

- **Les tanins**

Les tanins inhibent la peroxydation lipidique des mitochondries du foie et des microsomes mais aussi l'oxydation de l'acide ascorbique et du linoléate. Lors de la peroxydation, les tanins se lient aux ERO qui deviennent des radicaux tanniques stables. Ainsi, la réaction en chaîne de l'auto-oxydation lipidique est stoppée [53].

II-2-2-4 Les phytoestrogènes

On trouve les phytoestrogènes dans le soja, le blé complet, les baies et les graines de lin. Ces estrogènes végétaux ont une similarité de structure avec les estrogènes des mammifères, et on s'intéresse beaucoup à l'éventualité que ces composés puissent réprimer la croissance des tumeurs hormono-dépendantes du sein et des organes reproductifs. Un type de phytoestrogène, appelé isoflavone, principalement présent dans le soja et les produits à base de soja, pourrait également jouer un rôle dans la prévention de l'ostéoporose chez les femmes après la ménopause [40].

II-2-2-5 Les oligoéléments

- **Le sélénium**

Le sélénium n'est pas un antioxydant en tant que tel, car il ne peut piéger les radicaux libres, mais il joue un rôle primordial comme cofacteur de la glutathion peroxydase (GPx). Dans l'alimentation, on retrouvera essentiellement du sélénium organique, lié à un acide aminé, la cystéine. Le sélénium organique est mieux absorbé, il subit une métabolisation hépatique qui conduit à des intermédiaires nécessaires à la synthèse de dérivés physiologiquement actifs comme la GPx [41].

- **Le cuivre**

Le cuivre est un oligo-élément qui participe au maintien des systèmes de défense antioxydants dans l'organisme [40]. A concentration physiologique, le cuivre est le cofacteur d'enzymes comme la SOD, le cytochrome C oxydase, la dopamine β -hydroxylase. Cependant, en tant que métal de transition, il joue un rôle important dans le déclenchement de réactions de production d'ERO et peut lorsque sa concentration est élevée devenir pro-oxydant [41].

- **Le zinc**

Le zinc est un oligo-élément important pour les mécanismes de défense de l'organisme contre les maladies inflammatoires. Le zinc joue un rôle de cofacteur pour de nombreux enzymes et intervient ainsi dans de nombreuses fonctions comme le métabolisme des nucléotides, la synthèse des prostaglandines, le fonctionnement de l'anhydride carbonique. Comme le cuivre, le zinc est un des cofacteurs essentiels de la SOD. Il protège également les groupements thiols des protéines et il peut inhiber les réactions de formation d'ERO induites par des métaux de transition comme le fer ou le cuivre. Le rapport Cu / Zn, (normalement inférieur à 1,5) sera un excellent indicateur de l'état de stress oxydant d'un individu [41].

Cependant, il arrive que les systèmes de protection antioxydants soient débordés. C'est ce qu'on appelle le stress oxydant.

II-3 LE STRESS OXYDANT

Le stress oxydant est tout simplement le déséquilibre entre la production d'ERO, et la capacité à neutraliser ces composés toxiques avant qu'ils n'occasionnent des dégâts. La figure 4 illustre ce phénomène.

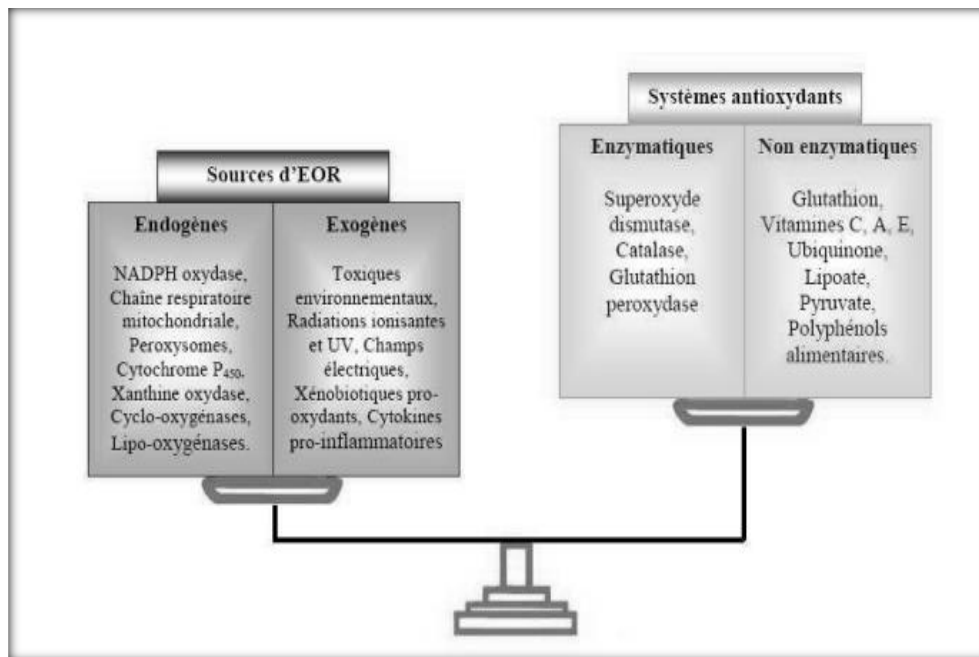


Figure 4 : Déséquilibre de la balance entre antioxydants et pro-oxydants [54]

II-3-1 Mécanisme

Les radicaux libres ont une action nocive sur de nombreuses molécules de l'organisme, ils s'attaquent directement aux phospholipides membranaires [55]. Les premiers exposés à cette agression sont les parties extérieures de notre corps : la peau et, à partir d'un certain âge, les yeux. Le modèle ci-dessous représente l'action des radicaux libres sur la membrane plasmique d'une cellule :

- Le radical libre entre en contact avec les phospholipides membranaires
- La membrane se fragilise et se désintègre
- Le contenu de la cellule est libéré dans le milieu intercellulaire
- La cellule perd sa forme et sa fonction initiale
- La cellule meurt ce qui fragilise le tissu tout entier. Lorsque la cellule ne meurt pas, les dommages créés dans la membrane plasmique favorisent l'entrée de substances toxiques qui entraîneront son dysfonctionnement [56].

II-3-1 Conséquences

Les ERO réagissent avec toute une série de substrats biologiques.

II-3-1-1 Action sur les protéines

Les acides aminés possèdent des susceptibilités différentes vis-à-vis des ERO. Les plus réactifs sont l'histidine, la proline, le tryptophane, la cystéine et la tyrosine. Toute attaque radicalaire d'un acide aminé provoquera l'oxydation de certains résidus avec pour conséquences, l'apparition de groupements carbonylés, des clivages de chaînes peptidiques et des ponts bi-tyrosine intra- et inter-chaînes. La plupart des dommages sont irréparables et peuvent entraîner des modifications fonctionnelles importantes (non-reconnaissance d'un récepteur par un ligand, perte d'activité enzymatique). Certaines protéines oxydées sont peu dégradées et forment des agrégats qui s'accumulent dans les cellules et dans le compartiment extracellulaire [41].

II-3-1-2 Action sur les lipoprotéines

L'attaque radicalaire des lipoprotéines circulantes aboutit à la formation de LDL oxydées, qui seront captées par des récepteurs spécifiques des macrophages. L'activité de ces récepteurs n'étant pas régulée par la concentration intracellulaire en cholestérol, les macrophages se transforment petit à petit en cellules spumeuses (rôle important dans les premières étapes de l'athérosclérose) [51]. En outre, ces LDL oxydées sont immunogènes et les immuns complexes formés peuvent activer la voie classique du complément et générer la sécrétion de cytokines pro inflammatoires par les macrophages [52].

II-3-1-3 Action sur les lipides

Les lipides constituent la matière grasse des êtres vivants. Ce sont des molécules hydrophobes principalement constituées de carbone, d'hydrogène et d'oxygène.

Le radical hydroxyle est capable d'arracher un hydrogène sur les carbones situés entre deux doubles liaisons des acides gras polyinsaturé (AGPI) : c'est la phase d'initiation. Le radical lipidique réagit avec une molécule d'oxygène pour former un radical peroxy ($\text{ROO}^\bullet$), suffisamment réactif pour arracher un H^+ à un AGPI voisin, propageant ainsi la réaction [57]. Il en résulte une altération de la fluidité membranaire qui conduit inévitablement à la mort cellulaire. Les peroxydes générés seront neutralisés par la glutathion peroxydase ou continueront à s'oxyder et à se fragmenter en aldéhydes (malondialdéhyde, 4-hydroxynonénal) dont les activités pro-athérogènes sont bien connues [41].

II-3-1-4 Action sur les acides nucléiques

L'acide désoxyribonucléique (ADN) est une cible privilégiée pour les ERO. La guanine, par exemple, peut réagir avec $\text{OH}^\bullet$ pour former la 8-hydroxy-2'-déoxyguanosine (8-OH-dG) qui, au lieu de s'apparier avec la cytosine, s'associera avec l'adénine, entraînant des mutations au sein de l'ADN et conduisant à des altérations du message génétique impliquées dans le déclenchement du cancer et le vieillissement [41]

II-3-1-5 Action sur les glucides

Si la chimie de l'attaque radicalaire des polysaccharides a été beaucoup moins étudiée que celle des autres macromolécules, il n'en demeure pas moins que les espèces, réactives de l'oxygène attaquent les mucopolysaccharides, et notamment les protéoglycanes du cartilage. Par ailleurs, le glucose peut s'oxyder dans des conditions physiologiques, en présence de traces métalliques, en libérant des acétaldéhydes, du peroxyde d'hydrogène et des radicaux hydroxyles, qui entraîneront la coupure des protéines. Ce phénomène de glyco-oxydation est très important chez les diabétiques et contribue à la fragilité de leurs parois vasculaires et de leur rétine [58].

II-4 EVALUATION DE L'ACTIVITE ANTIOXYDANTE

De nombreuses méthodes sont utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques purs ou des extraits. La plupart de ces méthodes sont basées sur la coloration ou décoloration d'un réactif dans le milieu réactionnel. Dans notre étude nous avons utilisé l'effet ("scavenger" ou piègeur) sur le radical 2,2-diphényl-1-picryl-hydrazyle (DPPH). Les antioxydants peuvent réduire les radicaux par deux mécanismes : par transfert d'électron ou par transfert d'atome d'hydrogène.

La méthode DPPH joue sur le transfert d'un atome d'hydrogène. La méthode est basée sur la dégradation du radical DPPH. Un antioxydant aura la capacité de donner un électron singulet au radical synthétique DPPH de coloration violette pour le stabiliser en DPPH de coloration jaune-verte.

Le radical 2,2-diphényl-1-picryl-hydrazyle (DPPH) fut l'un des premiers radicaux utilisés pour étudier la relation structure/activité antioxydante des composés phénoliques [59].

La stabilité du radical DPPH résulte de la délocalisation importante de l'électron célibataire sur la totalité de la molécule empêchant ainsi la dimérisation comme c'est souvent le cas pour les autres radicaux. Cette délocalisation est à l'origine de la coloration violette en solution éthanolique ou méthanolique caractérisée par un pic d'absorption dans le visible à 517 nm. L'addition du radical DPPH à une solution éthanolique (ou méthanolique) contenant un composé potentiellement antioxydant et pouvant céder un atome d'hydrogène, entraîne une diminution ou une disparition de la coloration violette caractéristique de l'apparition de la forme réduite du DPPH. Cette décoloration peut être suivie par spectrophotométrie en mesurant la diminution de l'absorbance à 517 nm [42].

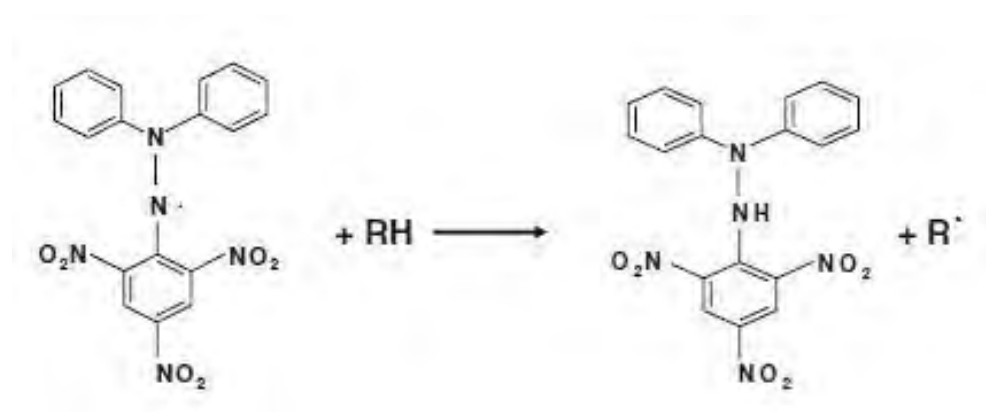


Figure 5 : Mécanisme de réduction DPPH [60].

PARTIE II

ETUDE EXPERIMENTALE

I OBJECTIFS

I-1 Objectif Général

L'objectif de notre étude est de démontrer l'intérêt nutritionnel et thérapeutique des graines de deux espèces de cucurbitacées cultivées au Sénégal.

I-2 Objectifs spécifiques

De manière plus spécifique, il s'agissait de :

- déterminer la composition chimique des graines,
- procéder à la caractérisation physico-chimique des huiles extraites,
- d'étudier les propriétés antioxydantes des graines de cucurbitacées.

II MATERIEL ET METHODES

II-1 Matériel et réactifs

II-1-1 Matériel végétal

Notre étude a porté sur deux espèces de la famille des cucurbitacées à savoir *C.lanatus* et *C.pepo*.

Les fruits de *C.lanatus* ont été achetés sur le marché local puis, les graines ont été extraites de la pulpe, séchées et ensuite décortiquées manuellement (Figure 6).



Figure 6 : Graines de pastèque entières et décortiquées

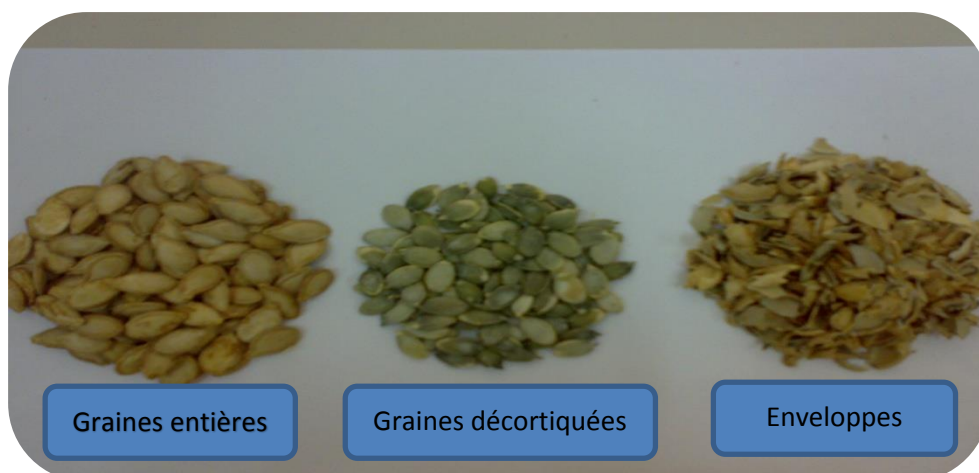


Figure 7:Graines de citrouille entières et décortiquées

Les graines de *C. pepo* déjà séchées ont été achetées à des producteurs revendeurs du marché Castors et décortiquées manuellement (Figure 7). Les graines ont ensuite été broyées à l'aide d'un mortier et d'un pilon pour les besoins de l'analyse. Les huiles ont été obtenues par extraction au soxhlet.

II-1-2 Matériel de laboratoire

Le matériel utilisé pour cette étude est composé de :

- Matériel courant de laboratoire (tubes à essai, pipettes, béchers, fioles, erlenmeyers...) ;
- Balance analytique Sartorius (Max 210g /10⁻⁴) ;
- Bloc Digest J. P. Selecta, (Barcelona) España ;
- Distillateur Khjeldahl, Fischer bioblock Scientific ;
- Etuve Memmert, Humeau France ;
- Dessiccateur Vakuumfest Duran ;
- Four à moufle hybride, Vulcan, Ceramco USA ;
- Spectrophotomètre d'Absorption Atomique, Perkin Elmer Analyse 700 ;
- Extracteur ASE 350, Dionex ;
- Thermo Scientific Focus GC ;
- Evaporateur rotatif de marque « Buchi 461 » ;
- Spectrophotomètre UV-visble, type hélios delta.

II-1-3 Réactifs

Les solvants et les réactifs utilisés sont de qualité analytique.

II-2 METHODES

II-2-1 Détermination de la composition chimique

Les méthodes d'analyses physico-chimiques mises en œuvre pour la détermination de la composition chimique des graines de cucurbitacées sont présentées dans le tableau IV.

Tableau IV : Méthodes d'analyses physico-chimiques

Paramètres	Méthode
Protéines	Kjeldahl (annexe II)
Matière grasse	Extraction au soxhlet (annexe III)
Teneur en eau	Peser une prise d'essai comprise entre 3 et 5g dans un creuset et placer dans une étuve réglée à $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 120mn Les résultats de l'humidité sont exprimés selon la formule suivante : $H = \frac{M_1 - M_2}{M_0} \times 100$ H : Teneur en eau (humidité) exprimé en %. Mo : Masse de la prise d'essai en g. M₁ : Masse du creuset et de la prise d'essai en g. M₂ : Masse après étuvage en g.
Teneur en cendres	Incinérer 1g de produit dans un four à moufle réglé à 550°C pendant 2 heures et effectuer la pesée. Le taux de cendres est calculé selon la formule suivante: $Tc = \frac{M_2 - M_1}{M_0} \times 100$ Tc : Taux de cendres en % Mo : Masse de la prise d'essai en (g). M₁ : Masse du creuset vide en (g). M₂ : Masse résidu après incinération.
Glucides	Calcul (annexe I)
Valeur énergétique	annexe I
Eléments minéraux	Reprise des cendres avec de l'acide chlorhydrique [61,62]

II-2-2 Détermination des indices caractéristiques des huiles

Les indices caractéristiques des huiles ont été déterminés en utilisant les méthodes normalisées répertoriées dans le tableau V.

Tableau V : Méthodes utilisées pour la détermination des indices caractéristiques

Méthode	Norme
Indice de réfraction	NF T 60-212
Indice d'iode	NF T 60-203
Indice de saponification	NF T 60-206
Indice d'acide	NF T 60-204

II-2-3 Profil en acides gras des huiles extraites des graines

Les huiles ont été extraites d'une quantité de graines nécessaire pour les besoins de l'analyse par de l'éther de pétrole au moyen d'un extracteur ASE avec les conditions suivantes : 3 cycles de 7 min à 60°C, flux 100 %, purge 90 s. Les huiles ainsi obtenues ont été analysées par CPG après méthylation. Les conditions chromatographiques étaient les suivantes :

- colonne capillaire CP SIL 88 (Chrompack-Varian, 50mx 0,25 mm, 0,2 µm) ;
- injection split 1/50 250°C (1 µL) ;
- gaz vecteur He 1 mL/min ;
- détecteur FID 270°C ;
- programmation de température 80°C/ 2min puis 5°C/min jusqu'à 225°C puis 225°C/ 2min.

II-2-4 Etude phytochimique

II-2-4-1 Préparation et fractionnement de l'extrait éthanolique

Les pépins des deux espèces choisies ont été séchés à 50°C pendant une nuit puis les graines ont été broyées à l'aide d'un mortier et d'un pilon. Environ 50g de graines triturées sont extraits par chauffage à reflux pendant 1h avec un (1) litre d'éthanol. Après filtration, l'extrait éthanolique ainsi obtenu est concentré à l'aide d'un évaporateur rotatif.

Le fractionnement de l'extrait a été réalisé suivant le schéma décrit sur la figure 8 :

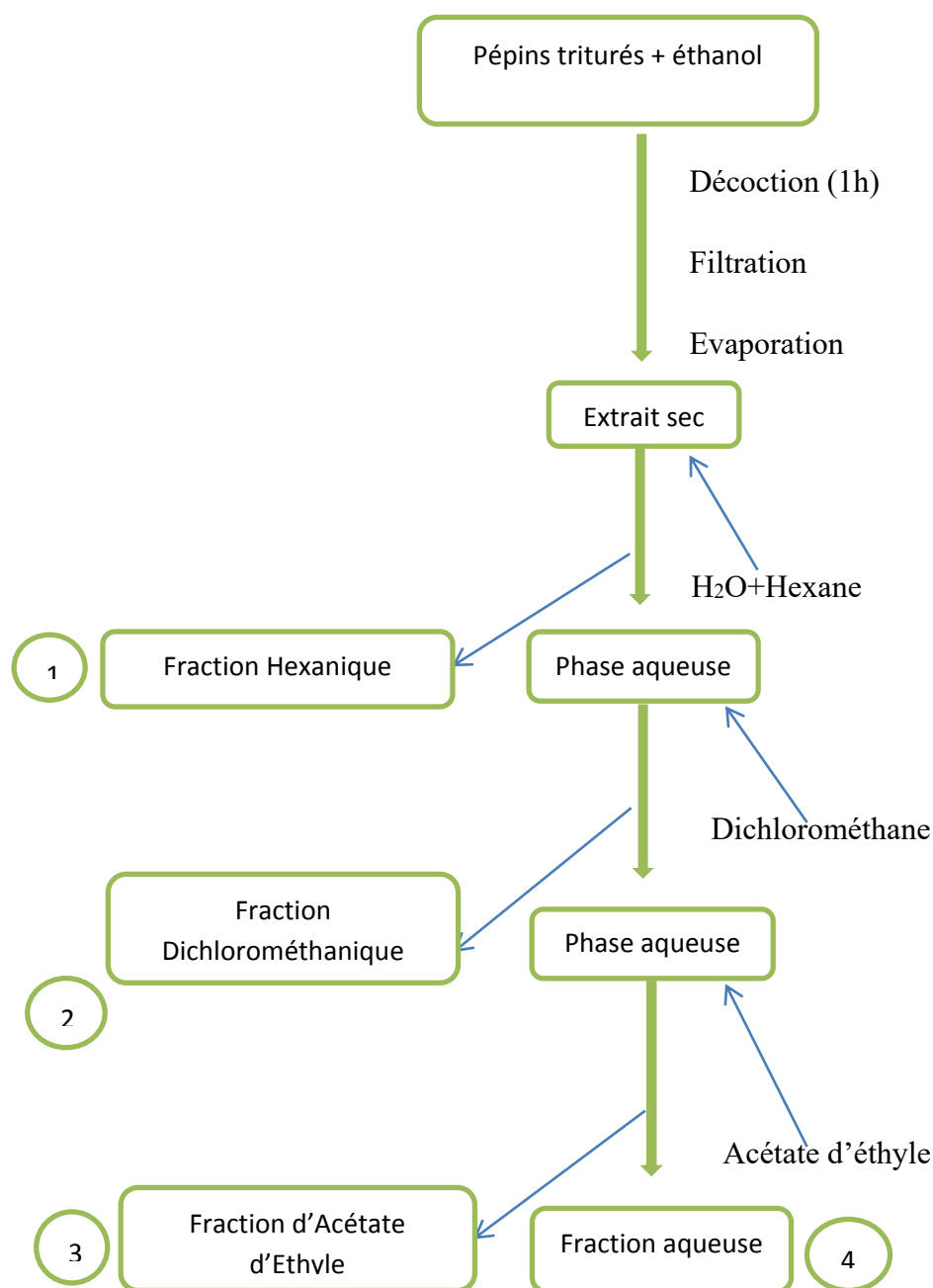


Figure 8 : Extraction du broyat et fractionnement de l'extrait sec des pépins

L'extrait sec ainsi obtenu est dissout dans de l'eau chaude et transvasé dans une ampoule à décanter avec un même volume d'hexane. La fraction hexanique est recueillie après décantation. Puis la phase aqueuse est de nouveau extraite avec le même volume d'hexane. Les deux phases hexaniques rassemblées et évaporées à sec constituent la fraction hexanique (FH). Ensuite, la phase aqueuse est soumise à une extraction liquide-liquide respectivement avec le dichlorométhane et l'acétate d'éthyle à deux reprises. Les phases dichlorométhanique et

d'acétate d'éthyle ainsi que la phase aqueuse résiduelle sont évaporées séparément pour donner :

- une fraction dichlorométhanique (FDM)
- une fraction d'acétate d'éthyle (FAE)
- une fraction aqueuse résiduelle (FAR)

II-2-4-2Caractérisation des extraits

Les différents groupes phytochimiques sont recherchés dans les fractions aqueuses à l'aide de réactions générales de caractérisation.

II-2-4-2-1 Recherche des alcaloïdes

✓ Principe :

En solution aqueuse acide (pH entre 1 et 2), les sels d'alcaloïdes donnent avec les complexes iodés de métaux lourds des précipités colorés caractéristiques.

Les deux réactifs les plus utilisés sont :

- le réactif de DRAGENDORFF (solution iodo-bismuthite de potassium) qui donne un précipité orangé à rouge vermillon ;
- le réactif de VALSER-MAYER (solution de mercuri-iodure de potassium) qui donne un précipité blanc-jaunâtre.

✓ Mode opératoire

Une même quantité d'extrait et d'acide sulfurique à 10% est mélangée afin d'obtenir un extrait aqueux acide.

Introduire 1ml du mélange dans deux tubes à hémolyse plus 2 à 3 gouttes de réactif.

A cela est ajouté :

- Le réactif de DRAGENDORFF dans le premier tube ;
- Le réactif MAYER dans le second tube.

La formation de précipités colorés est recherchée [63].

II-2-4-2-2 Recherche des hétérosides cardiotoniques

✓ Principe

Les hétérosides cardiotoniques donnent en milieu alcalin des réactions colorées avec les dérivés nitrés.

Les réactifs utilisés sont :

- le réactif de BALJET qui donne une coloration rouge-orangé stable ;
- le réactif de KEDDE qui donne une coloration rouge-pourpre stable ;
- le réactif de RAYMOND-MARTHOUD qui donne une coloration violette fugace.

✓ Mode opératoire

Une quantité de l'extrait aqueux est introduite dans un tube à essai et 5 ml de mélange chloroforme/éthanol (4,1 ; v, v) y sont ajoutés. Une filtration est effectuée après 30 minutes de macération.

Le filtrat est réparti dans trois tubes à hémolyse, puis est ajouté dans chaque tube respectivement :

- 0,5 ml de réactif de BALJET dans le premier tube ;
- 0,5 ml de réactif de KEDDE dans le second tube ;
- 0,5 ml de réactif de RAYMOND-MARTHOUD dans le troisième tube.

Ensuite, les 3 solutions sont alcalinisées en ajoutant dans chaque tube 2 gouttes de lessive de soude diluée au 1/5 dans l'alcool à 95°. Le contenu de chaque tube est agité vigoureusement et le pH alcalin est ajusté [64].

Lorsque les réactions sont positives, les colorations précédemment citées sont notées.

II-2-4-2-3 Recherche des hétérosides flavoniques

✓ Mode opératoire :

20 ml prélevé directement de l'extrait aqueux sont mélangés avec 10 ml d'eau distillée bouillante. Après refroidissement, une filtration est effectuée.

- **Réactions de caractérisation**

La recherche de flavonoïdes se fait, soit en milieu alcalin, soit par le perchlorure de fer, soit par la réaction à la cyanidine qui est la réaction spécifique.

Coloration en milieu alcalin

✓ **Principe :**

En milieu alcalin, les flavonoïdes se dissolvent facilement en donnant des colorations allant du jaune au brun.

✓ **Mode opératoire :**

A 2 ml du filtrat, sont ajoutés quelques ml d'une solution de soude à 10%. L'apparition d'une coloration jaune orangée indique la présence de flavonoïdes.

Coloration par le perchlorure de fer

✓ **Principe :**

Les flavonoïdes, du fait de la présence des fonctions phénoliques dans leurs génines, donnent des colorations variées avec des solutions diluées de FeCl_3 .

✓ **Mode opératoire :**

A 1 ml du filtrat, sont ajoutés 2 à 3 gouttes de la solution de FeCl_3 . Une coloration verdâtre est observée lorsque la réaction est positive.

Réaction à la cyanidine :

✓ **Principe :**

En solution alcoolique, en présence d'hydrogène naissant produit *in situ* par action de l'acide chlorhydrique sur le magnésium, les flavonoïdes donnent des colorations variées allant du rouge orangé au violet.

✓ **Mode opératoire :**

A 2 ml du filtrat, 2 ml d'acide chlorhydrique et une pincée de fragments de magnésium y sont ajoutés. Une coloration rose puis rouge se développe lentement en présence de flavonoïdes [64].

II-2-4-2-5 Recherche des saponosides

✓ Principe :

La drogue est extraite par décoction aqueuse, puis la teneur en saponosides est évaluée par la détermination de l'indice de mousse (IM) sur le décocté.

✓ Mode opératoire

Une fraction du filtrat est placée dans un erlenmeyer de 500 ml où sont ajoutés 100 ml d'eau distillée. L'ensemble est porté à ébullition modérée pendant 1/2 heure. Le mélange est ensuite filtré, puis après refroidissement, le volume est ajusté à 100 ml avec de l'eau distillée.

Dans une série de 10 tubes calibrés numérotés de 1 à 10 sont répartis successivement 1, 2, 3...à 10 ml de décocté.

Dans chaque tube, le volume est ajusté à 10 ml par addition d'eau distillée. Chaque tube est agité vigoureusement pendant 15 secondes dans le sens de la longueur en raison de 2 agitations par seconde.

Après un repos de 15 minutes, la hauteur de la mousse est mesurée.

Le tube X dans lequel la hauteur de la mousse est de 1 cm sert de base au calcul de l'indice de mousse. $IM = 1000/X$ [64].

I-2-4-2-6 Mise en évidence de la présence des tanins

✓ Mode opératoire

De l'extrait aqueux est mélangé à quantité égale avec de l'eau distillée bouillante, suivi d'une filtration après refroidissement.

La mise en évidence des tanins peut se faire grâce aux réactions avec le chlorure ferrique et l'acide phosphotungstique.

Caractérisation par le chlorure ferrique

A 2 ml de filtrat, sont ajoutés de 2 à 3 gouttes de la solution de chlorure ferrique (FeCl_3) à 2%. Après agitation, il se développe une coloration brun-vert en présence de tanins.

Caractérisation par l'acide phosphotungstique

A 1 ml de l'extrait aqueux est ajouté 1ml de l'acide phosphotungstique et 9 ml d'une solution aqueuse de carbonate de sodium à 25%. En présence de tanins, il apparaît une coloration bleue du mélange.

- **Différenciation des tanins**

- ✓ **Principe :**

Les tanins condensés précipitent à chaud par addition à l'infusé, du réactif de STIASNY (formaldéhyde chlorhydrique). Dans le filtrat, il est possible de mettre en évidence les tanins hydrolysables par addition de FeCl_3 à 2%.

- ✓ **Mode opératoire :**

8 ml de filtrat sont mélangés avec 4 ml du réactif de STIASNY. Après chauffage à ébullition au bain-marie pendant 30 minutes, la présence de précipité atteste de la présence de tanins condensés. Ensuite la solution est filtrée pour récupérer le liquide surnageant. 1 ml du filtrat est saturé par l'acétate de sodium, puis on ajoute quelques gouttes de la solution de chlorure ferrique (FeCl_3) à 2%. L'apparition d'une coloration bleu noire indique la présence de tanins hydrolysables, non précipités par le réactif de STIASNY.

- **Oxydation des tanins condensés**

- ✓ **Principe :**

Par chauffage en milieu chlorhydrique, les tanins condensés s'oxydent en phlobaphènes colorés en rouge.

- ✓ **Mode opératoire :**

A 2 ml du filtrat est ajouté 1 ml d'acide chlorhydrique par chauffage à ébullition au bain-marie pendant 15 minutes, une coloration rouge due à la formation de phlobaphènes révèle la présence de tanins condensés [64].

II-2-5 Détermination de l'activité antioxydante

La méthode au 2,2 diphényl-1-picryl hydrazyle (DPPH) a été utilisée.

✓ Protocole opératoire

La méthode utilisée est celle de Molyneux [65]. 4 mg de poudre de DPPH sont dissous dans 100 ml d'éthanol. La conservation de la solution se fait à l'abri de la lumière pendant 12 heures.

Puis dans une série de tubes à essai contenant 0,8 ml d'extrait à différentes concentrations, sont ajoutés 3 ml de la solution de DPPH. Les extraits sont testés aux concentrations suivantes : 5-25-50-100-150-250 µg/ml. L'acide ascorbique utilisé comme antioxydant de référence est testé aux concentrations suivantes : 1-3-6,25-12,5-25-50 µg/ml.

La lecture de l'absorbance se fait au bout de 30 minutes (T₃₀) au spectrophotomètre à 517 nm en utilisant l'éthanol comme blanc.

Trois essais ont été effectués pour chaque concentration testée. Les résultats sont exprimés en pourcentage d'inhibition (PI) de l'activité anti radicalaire qui est donné par la formule suivante :

$$PI = (A_0 - A_i) * 100 / A_0$$

A₀ = absorbance de la solution de DPPH seule ;

A_i = absorbance de la solution de DPPH après ajout de l'extrait ;

II-2-6 Analyse statistique

Trois déterminations ont été effectuées pour chaque concentration testée (n=3).

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel Statistica avec le test de la corrélation.

III RESULTATS

III-1 Composition chimique des graines

III-1-1 Macronutriments et valeur énergétique

Le tableau VI montre les teneurs en protéines, matières grasses, eau, cendres, fibres et glucides des graines des deux espèces de Cucurbitacées du Sénégal.

Tableau VI : Teneurs en macronutriments et valeur énergétique des graines des deux espèces de Cucurbitacées

ESPECES	PROTEINES (%)	MATIERE GRASSE (%)	EAU (%)	CENDRES (%)	FIBRES (%)	GLUCIDES (%)	VALEUR CALORIQUE kcal/100g	R ₁
<i>C.lanatus</i>	28,46±0,38	36,3±1,42	5,57±0,18	4,05±0,1	2,02±0,02	23,6±0,79	534,9±2,38	1,27
<i>C.pepo</i>	32,85±0,19	39,7±1,55	5,25±0,16	5,37±0,04	2,93±0,01	13,9±0,56	544,3±3,18	1,21

n=3

III-1-2 Eléments minéraux

Tableau VII:Composition en éléments minéraux (mg/100 g) des graines

	<i>C.lanatus</i>	<i>C.pepo</i>
Fer	7,97±0,01	10,70±0,08
Magnésium	437,12±0,03	542,00±0,13
Calcium	71,47±0,01	109,90±0,04
Phosphore	221,63±0,15	242,70±0,12
Potassium	1026,07±0,02	635,00±0,19

n=3

III-2Caractères physico-chimiques et composition en AG des huiles extraites

III-2-1 Couleur

Nous avons observé une différence de couleur entre les deux huiles. L'huile extraite de graines de citrouille était de couleur marron-brun tandis que celle extraite de la pastèque était de couleur orange comme le montre la figure 9.

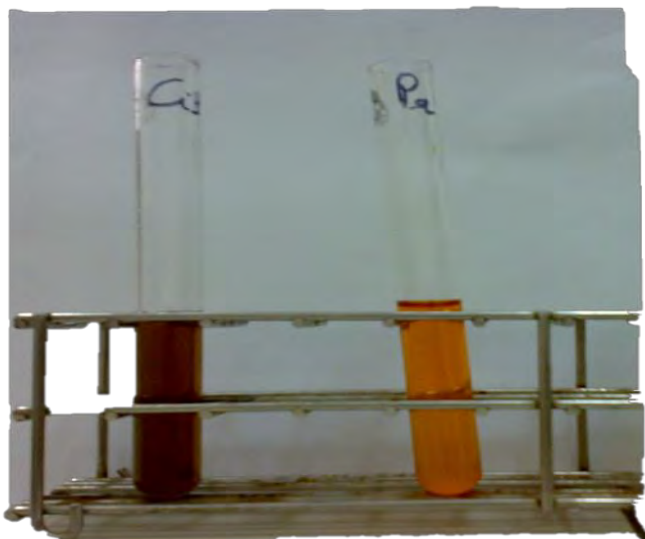


Figure 9 : Couleur des huiles extraites

III-2-2 Indices caractéristiques

Le tableau VIII montre les résultats des indices caractéristiques des huiles.

Tableau VIII : Indices caractéristiques des huiles

ESPECES	Indice de réfraction (I_R)	Indice d'iode (I_I g I_2 /100g MG)	Indice de saponification (I_S mg KOH/g MG)	Indice d'acide (I_A mg KOH/g MG)
<i>C.lanatus</i>	$1,467 \pm 0,0006$	$128,28 \pm 3,92$	$177,66 \pm 0,10$	$1,86 \pm 0,02$
<i>C.pepo</i>	$1,471 \pm 0,0006$	$116,00 \pm 0,82$	$178,59 \pm 0,74$	$1,40 \pm 0,11$

n=3

III-2-3 Composition en acides gras (AG)

Le profil en acides gras des deux espèces de Cucurbitacées est reporté dans le tableau IX.

Tableau IX : Composition en acide gras (% , m/m) de l'huile extraite.

	C 1 4 : 0	C 1 6 : 0	C 1 6 : 1	C 1 7 : 0	C 1 8 : 0	C 1 8 : 1	C 1 8 : 1	C 1 8 : 2	C 1 8 : 3	C 1 8 : 3	C 2 0 : 0	C 2 0 : 1	C 2 2 : 0	R
<i>Citrulluslanatus</i>	0 , 0 4	1 1 , 3 9	0 , 0 7	0 , 0 8	5 , 4 3	8 , 5 6	0 , 5 9	7 3 , 0 1	0 , 2 6	0 , 2 5	0 , 0 7	0 , 1 3	0 , 1 3	0 , 2 1
<i>Cucurbitapepo</i>	0 , 0 0	1 6 , 0 5	0 , 1 1	0 , 1 2	1 0 , 3 6	3 5 , 6 3	0 , 5 4	3 5 , 9 0	0 , 7 3	0 , 1 2	0 , 1 2	0 , 3 1	0 , 0 0	0 , 3 6

Il ressort de ce tableau que quatre acides gras sont majoritairement retrouvés dans ces extraits d'huile de Cucurbitacées. Il s'agit de l'acide palmitique C16: 0 avec des teneurs de 11,39% pour l'espèce *C. lanatus* et 16, 05% chez *C.pepo*. L'acide stéarique C18: 0 est présente à 5,43% dans l'huile de *C. lanatus* et à 10,36% dans celle de *C. pepo*. Le pourcentage en acide oléique (C18:1, n-9) varie de 8,56 à 35,63 respectivement pour *C.lanatus* et *C.pepo*. L'acide linoléique C18: 2 n-6 constitue 35,90% des AG de *C.pepo* et 73,01% de ceux de *C.lanatus*.

Les autres acides gras (acide myristique, palmitoléique, vaccénique, linoléique, α linoléique, arachidique, gadoléique, béhénique, heptadécanoïque ont été retrouvés à des teneurs variant entre 0,04 et 0,71%.

Le tableau X donne le pourcentage en AG saturés (AGS) et insaturés (AGI).

Tableau X : Pourcentage pondérale des AGS et AGI par rapport aux Acides Gras Totaux

ESPECES	Acides Gras Saturés (AGS) %	Acides Gras Insaturés (AGI) %	R2
pastèque	17,14	82,87	0,21
citrouille	26,65	73,34	0,36

Pour les deux espèces, les pourcentages d'AGI étaient supérieurs à ceux des AGS. Le rapport $R_2 = (\% \text{ AG saturés}) / (\% \text{ AG insaturés})$ permettant d'évaluer l'intérêt nutritionnel est de 0,21 pour *C.lanatus* et 0,36 pour *C.pepo*.

III-3 Rendement d'extraction

L'extraction de 50g des pépins a donné un extrait sec de 8, 86g et 18, 63g respectivement pour la citrouille et la pastèque soit un rendement de 17,71% et 36,73%. Les rendements obtenus après fractionnement liquide/liquide sont consignés dans le tableau XI

Tableau XI : Rendement du fractionnement de l'extrait

		FH	FDM	FAE	FAR
Pastèque	Masse extrait sec (g)	7,99	1,371	0,09	1,34
	Rendement (%)	15,97	2,74	0,18	2,67
Citrouille	Masse extrait sec (g)	7,34	0,203	0,014	0,694
	Rendement (%)	14,68	0,41	0,03	1,39

III-4 Composition phytochimique de l'extrait aqueux des graines

Le tableau XII donne la composition phytochimique de l'extrait

Tableau XII : Composition phytochimique de l'extrait aqueux des graines

Groupes phytochimiques	Réactifs	Pastèque	Citrouille
Alcaloïdes	Dragendorff	++	++
	Valser-Mayer	+	++
Hétérosides cardiotoniques	Baljet	+++	+++
	Kedde	++	++
	Raymond Matroud	++	++
Hétérosides flavoniques	Chlorure ferrique	+++	+++
	Milieu alcalin	+++	+++
Saponosides		—	—
Tanins	Hydrolysables	++	++
	Condensés	++	++

+++ correspond à une réaction franchement positive ; ++ réaction moyennement positive ; +réaction faiblement positive ; - absence de la substance

III-5 Activité antioxydante

III-5-1 Activité antioxydante de l'acide ascorbique

La figure 10 donne les pourcentages d'inhibition (PI en %) obtenus avec l'acide ascorbique en fonction de la concentration.

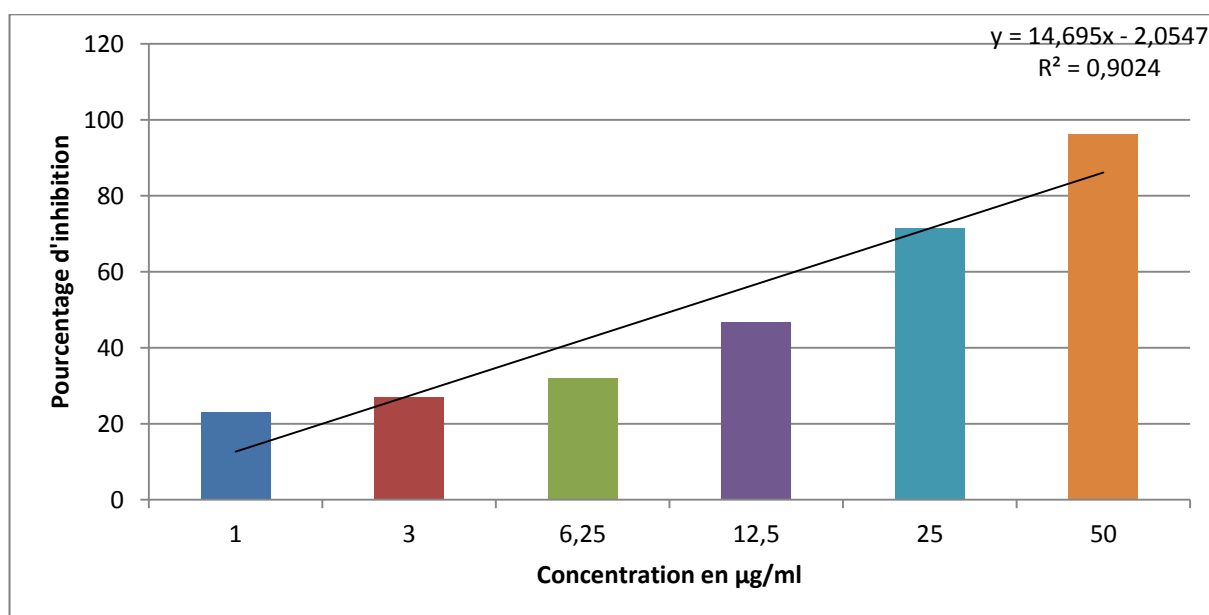


Figure 10 : Profil de la référence acide ascorbique

La solution éthanolique de l'acide ascorbique inhibe le DPPH à toutes les concentrations testées de manière dose-dépendante.

Le tableau XVIII et la figure 11 synthétisent les pourcentages d'inhibition des différentes fractions de l'extrait éthanolique des pépins de pastèque. Pour l'ensemble des extraits, les pourcentages d'inhibition les plus faibles ont été obtenus avec les extraits les moins concentrés (5 µg/ml), tandis que les valeurs les plus élevées ont été retrouvées à la dose de 250 µg/ml.

La fraction aqueuse de l'extrait alcoolique s'est révélée plus active que les autres fractions pour toutes les concentrations étudiées avec un PI maximal de 26,82% à 250 µg/ml

Les PI des fractions FH, FDM, FAE étaient relativement similaires aux différentes concentrations.

Tableau XIII : Pourcentages d'inhibition des différentes fractions de l'extrait éthanolique des pépins de pastèque

Concentration ($\mu\text{g/ml}$)	FH	FDM	FAE	FA
5	20,48 $\pm$ 0	19,73 $\pm$ 0,04	19,64 $\pm$ 0,1	21,16 $\pm$ 0,20
25	20,63 $\pm$ 0,10	19,89 $\pm$ 0,04	20,45 $\pm$ 0	22,13 $\pm$ 0,20
50	20,79 $\pm$ 0,10	20,76 $\pm$ 0,32	20,77 $\pm$ 0	22,40 $\pm$ 0,05
100	20,90 $\pm$ 0,04	21,15 $\pm$ 0,1	21,58 $\pm$ 0	23,48 $\pm$ 0,22
150	21,00 $\pm$ 0,08	21,69 $\pm$ 0,20	21,9 $\pm$ 0	23,75 $\pm$ 0
250	21,32 $\pm$ 0,08	22,51 $\pm$ 0,1	22,87 $\pm$ 0	26,82 $\pm$ 1,25

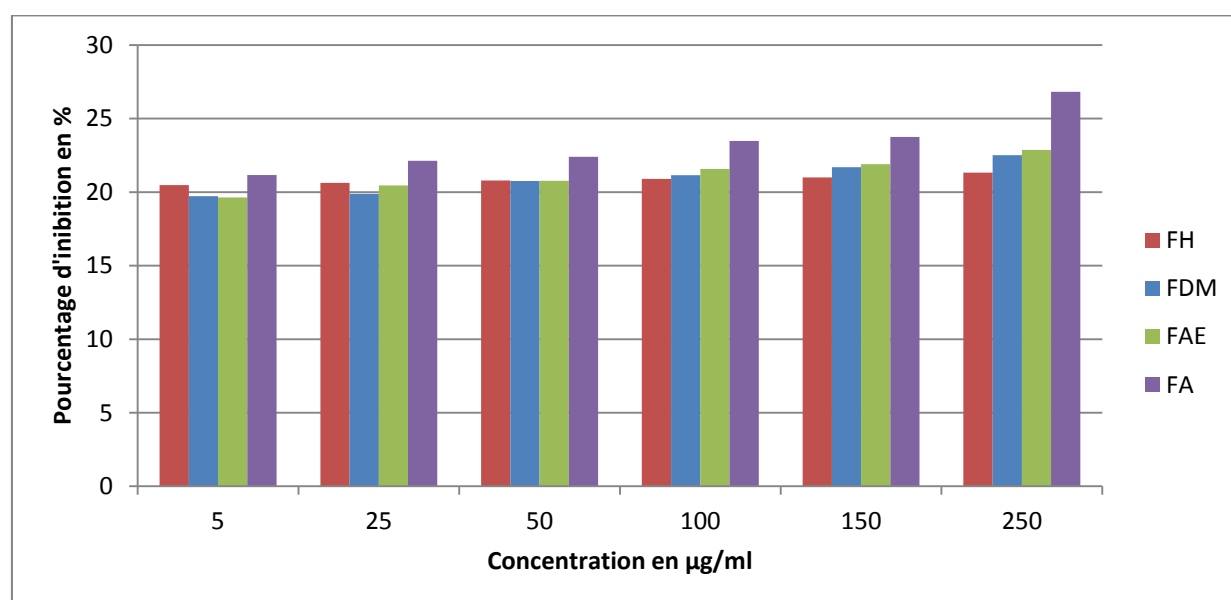


Figure 11 : Profil d'activité antioxydante des différentes fractions de pépins de pastèque

III-5-3 Activité antioxydante des différentes fractions de l'extrait éthanolique des pépins de citrouille

Le tableau XXIII récapitule les pourcentages d'inhibition des différentes fractions des pépins de citrouille.

Tableau XIV : Pourcentage d'inhibition des différentes fractions testées de pépins de citrouille

Concentration (µg/ml)	FH	FDM	FAE	FA
5	19,33±0,04	19,93±0,08	23,52±0,14	30,42±0,14
25	19,60±0,04	20,04±0,09	25,03±0,14	31,57±0,33
50	19,82±0,08	20,27±0	26,74±0,14	32,62±0,17
100	20,47±0,22	20,43±0	29,74±0,26	32,89±0,17
150	20,63±0,20	20,76±0	32,10±0,28	33,22±0,22
250	21,28±0,32	22,65±0,09	36,17±0,33	35,36±0,63

Les taux les plus faibles ont été obtenus avec les extraits les moins concentrés 5 µg/ml alors que les valeurs les plus élevées ont été retrouvées à la dose de 250 µg/ml. Les fractions, aqueuse et acétate d'éthyle de l'extrait éthanolique se sont révélées plus actives que les autres fractions pour toutes les concentrations étudiées. Le PI maximal de 36,17% a été obtenu avec la FAE à 250 µg/ml. Les PI des fractions FH et FDM étaient presque similaires aux différentes concentrations.

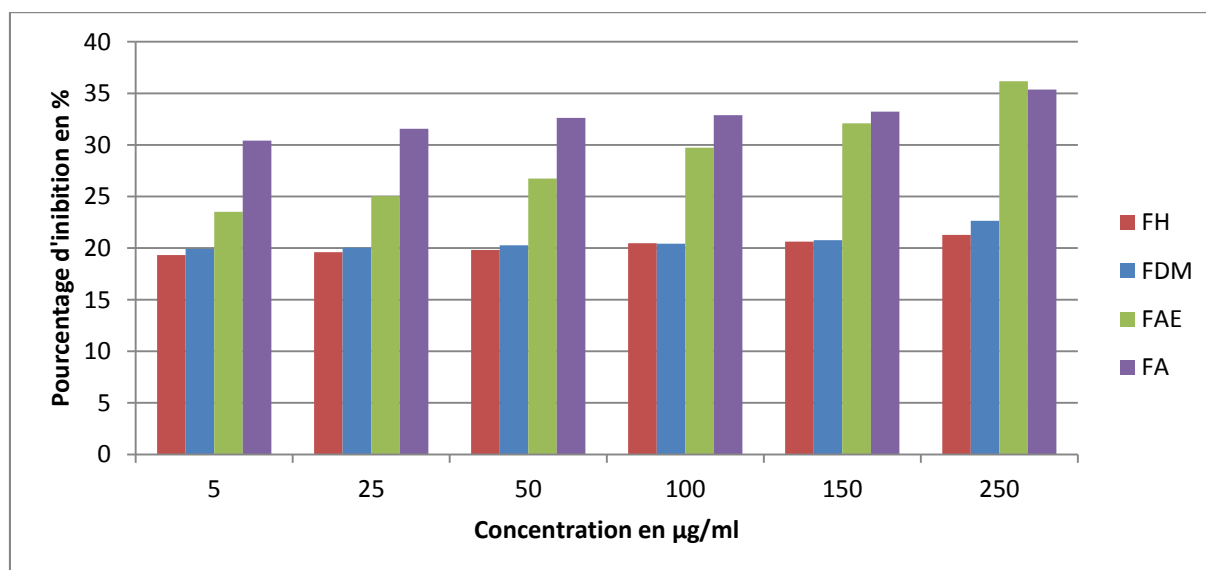


Figure 12 : Profil comparé des différentes fractions de pépins de citrouille

III-5-4 Analyse statistique

Corrélations (Feuille de données pastèque)

1,00	0,98	0,97	0,97	0,98
0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
0,97	0,99	1,00	0,98	0,94
0,97	0,99	0,98	1,00	0,96
0,98	0,98	0,94	0,96	1,00

Tous les produits testés inhibent le DPPH à toutes les concentrations. Corrélations significatives marquées à $p < 0,05$.

Corrélations (Feuille de données citrouille)

1,00	0,98	0,95	0,99	0,96
0,98	1,00	0,89	0,99	0,96
0,95	0,89	1,00	0,91	0,92
0,99	0,99	0,91	1,00	0,96
0,96	0,96	0,92	0,96	1,00

Tous les produits testés inhibent le DPPH à toutes les concentrations. Corrélations significatives marquées à $p < 0,05$.

IV DISCUSSION

IV-1 Composition chimique des graines

IV-1-1 Macronutriments et valeur énergétique

La teneur en protéines des graines de *Cucurbita pepo* qui est de 32,85% est supérieure à celle des graines oléagineuses conventionnelles : coprah (20-22%), palmiste (15-20%), karité (15-16%), sésame (21,10 à 22,50%) et arachide (29,5 - 30,1%) [66]. Cette teneur est proche de celles rapportées dans la littérature qui est de (33 à 33,46%) [10]. En ce qui concerne les graines de *Citrullus lanatus*, la teneur en protéines de 28,46% obtenue est supérieure à celle des graines oléagineuses usuelles sauf l'arachide. Les teneurs en MG de 36,3 et 39,7% obtenues pour *C. lanatus* et *C. pepo* respectivement étaient comparables à celles observées avec les graines d'autres espèces telles que le tournesol, le soja et l'olive (20-42%) [67]. Par ailleurs, des teneurs relativement similaires (33-58%) ont été retrouvées pour les mêmes espèces poussant dans d'autres pays d'Afrique Subsaharienne [10]. On définit un rapport entre les teneurs en lipides et celles en protéines. Une graine oléo-protéagineuse idéale à un rapport égal à 1. Le rapport moyen de 1,24 que nous avons eu confère aux graines étudiées un caractère plus oléagineux que protéagineux. Cela explique le haut pouvoir calorique des graines avec une valeur moyenne de 550 kcal /100g. Ces valeurs confirment le caractère nutritionnel assez intéressant de ces graines comparées à celui du haricot blanc qui contient 19% de protéines, 1,5% de lipides pour une valeur calorique de 330kcal/100g [68].

Ces graines peuvent alors servir de moyens de lutte contre la malnutrition protéino-énergétique si l'on sait que quelques 200 millions d'enfants de moins de 5 ans des pays en développement sont atteints de malnutrition protéino-énergétique [69].

Les fibres qui améliorent le transit intestinal et favorisent la satiété sont présents à un taux assez considérable moyen de 2,48% dans ces graines.

IV-1-2 Eléments minéraux

La teneur en éléments minéraux de la plante varie, en général, d'un sol à l'autre, d'une espèce à l'autre et même d'une variété à l'autre en fonction de l'apport ou non d'agents fertilisants [70].

La composition minérale moyenne de 4,7 %, comparable à celles rencontrées dans la littérature (4 à 6%) [13], est assez significative.

Nos résultats montrent des teneurs en fer, supérieures à celles rencontrées dans d'autres espèces de la même famille[5,6,9]. Les graines de ces espèces de Cucurbitacées constituent alors de potentielles sources de fer et pourraient servir dans la lutte contre l'anémie ferriprive et cela surtout avec l'espèce *Cucurbita pepo* où la proportion en fer (10,70 mg/100g) est encore plus importante. Si l'on se réfère à la Dose Journalière Recommandée (10 à 18 mg), la consommation de 100g de ces graines couvrirait convenablement les besoins en fer. Les graines étudiées sont riches en magnésium, *C.pepo* ayant montré la teneur la plus élevée (542,00 mg/100g). Ces teneurs sont supérieures à celles rapportées ailleurs [11]. L'accumulation du magnésium dans les graines est favorisée par les températures élevées des sols [71]. La teneur en calcium dans nos graines est supérieure à celles trouvées dans des espèces de Cucurbitacées citées par différents auteurs. La teneur en phosphore (221,6 et 242,70 mg/100g) est bien en dessous des valeurs déjà rapportées dans la bibliographie [5,6,9,63]. La teneur en potassium est assez variable ; elle est de 1026,07 mg/100g pour *C.lanatus* et est trois fois supérieure à celle rapportée par d'autres auteurs. Par contre, pour l'espèce *C.pepo*, la teneur en potassium (635,00 mg/100g) est presque deux fois plus faible que celle notée dans la littérature [11]. En somme, ces graines pourraient servir à lutter contre les maladies dues à des carences alimentaires en minéraux et oligo-éléments indispensables à la santé et au développement physique.

IV-2Caractéristiques physico-chimiques et composition en AG des huiles extraites

IV-2-1 Indices caractéristiques

Des IR de 1,467 et 1,471 ont été obtenues pour *C.lanatus* et *C.pepo* respectivement. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles rapportées dans d'autres travaux [9,66]. En ce qui concerne l'indice d'iode (reflet du degré d'insaturation d'un corps gras) des valeurs proches de celles rapportées dans la littérature pour les mêmes espèces ont été obtenues [9,66].

L'indice d'iode d'un lipide est la masse de diiode (I_2), exprimée en grammes, capable de se fixer sur les insaturations (doubles liaisons le plus souvent) des acides gras contenus dans cent grammes de matière grasse. Comme exemple, on peut citer les indices de l'huile des graines de sésame (112-118), de maïs (103 -128), de tournesol (110-143) et de soja (120-143) [68,73, 81].

L'indice de saponification (I_s) d'un lipide est la masse d'hydroxyde de potassium KOH, exprimée en milligrammes, nécessaire pour neutraliser les acides gras libres et saponifier les acides gras estérifiés contenus dans un gramme de matière grasse. Les indices de saponification

(177,66 et 178,59) sont proches de celles rapportées dans la littérature en particulier de celle de l'huile des graines de colza (170-192) [73].

L'indice d'acide (Ia) d'un lipide est la masse d'hydroxyde de potassium (KOH), exprimée en milligrammes, nécessaire pour neutraliser l'acidité libre contenue dans un gramme de corps gras. La teneur en acides libres des corps gras augmente avec le temps : l'indice d'acide permet donc de juger de leur état de détérioration. Les indices d'acide trouvés 1,86 et 1,40 sont différents de ceux de l'huile de palme qui varient de (5 à 14,5) [74] ou de ceux de certaines huiles de Cucurbitacées qui peut aller jusqu'à 57,4 [75]. Ainsi donc les huiles de graines de deux espèces de Cucurbitacées étudiées rentrent dans les critères du Codex Alimentarius selon qui l'indice d'acide pour les huiles vierges ne devrait pas dépasser la valeur de 4,0 mg KOH/100g.

IV-2-2 Composition en acides gras

Les huiles de *Citrullus lanatus* et *Cucurbita pepo* se caractérisent par leur richesse en acides palmitique, stéarique, linoléique et oléique. Il est important de noter la teneur singulièrement élevée de l'acide linoléique (73,01%) par rapport à celle en acide oléique (8,56%) dans l'espèce *Citrullus lanatus*. Comparativement, la proportion acide oléique – acide linoléique est quasiment équivalente dans l'espèce *Cucurbita pepo*. Ces teneurs se rapprochent beaucoup de celles de l'huile de graines d'arachide et de sésame [59,72]. Les teneurs en ces deux acides gras restent dans les mêmes proportions que celles rapportées pour diverses espèces de Cucurbitacées [8,9,66,67]. L'acide linoléique étant un acide gras essentiel de la famille des ω -6, sa présence à un taux élevée confère un bon profil diététique et thérapeutique aux huiles des graines de Cucurbitacées du Sénégal. Il intervient dans des fonctions biologiques vitales telles que les fonctions immunitaires, plaquettaires, rénales ou épidermiques [79]. Il doit constituer 3 à 6 % de l'apport énergétique journalier de l'homme [80]. L'acide α -linoléique (ω -3), l'autre acide gras essentiel, est présent à des teneurs ne dépassant pas 1% pour les espèces étudiées.

Par ailleurs, nous avons noté la présence d'autres acides gras saturés (laurique, myristique, palmitique, arachidique, béhénique), mono-insaturés (palmitoléique, vaccénique, gadoléique) et polyinsaturés (δ -linoléique). Nous avons également noté, la présence de l'acide margarique ou acide heptadécanoïque (C17:0).

En ce qui concerne le rapport R_2 (AG saturés /AG insaturés), nous avons obtenu 0,21 et 0,36 pour *C.lanatus* et *C.pepo* respectivement. Plus le rapport R_2 est petit, plus l'huile considérée est intéressante en tant que source d'acides gras essentiels.

IV-3 Composition phytochimique de l'extrait aqueux des graines

L'éthanol utilisé pour l'extraction des principes actifs nous a donné un rendement de 36,73 et 17,71% respectivement pour les pépins de pastèque et citrouille.

Après fractionnement de l'extrait éthanolique, les fractions apolaires hexanique et dichlorométhanique ont présenté les rendements le plus élevés (pépins de pastèque 18,71% ; pépins de citrouille 15,09%). Le rendement de la fraction polaire acétate d'éthyle et aqueuse a donné un taux de 2,85% et 1,42% respectivement pour la pastèque et la citrouille.

La caractérisation effectuée sur la phase aqueuse résiduelle a permis de mettre en évidence la présence d'alcaloïdes, d'hétérosides cardiotoniques, de flavonoïdes (hétérosides flavoniques et tanins). Une prédominance des composés flavoniques avec des réactions fortement positives a été notée.

IV-4 Activité antioxydante

Concernant l'étude de l'activité antioxydante des extraits des graines de cucurbitacées, des pourcentages d'inhibition presque identiques ont été obtenus avec les extraits aussi bien polaires qu'apolaires de graines de pastèque. Pour les pépins de citrouille, les PI étaient plus élevés avec les extraits polaires ce qui peut être dû à la présence de flavonoïdes qui sont des substances polaires. La présence de flavonoïdes en proportion importante est confortée par la coloration de l'huile extraite à partir des pépins de citrouille (figure 12). En effet, celle-ci est due aux flavonoïdes qui sont des pigments responsables de la coloration des fleurs et des fruits [81].

Plusieurs études tendent à démontrer les effets anti-tumoraux des flavonoïdes, ils inhibent le développement de cancers chimio-induits chez l'animal. Leur aptitude à piéger les radicaux libres pourrait réduire les risques de maladies cardiovasculaires [82]. Ils accéléreraient de 50 % la vitesse de cicatrisation des plaies superficielles [83].

CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif de démontrer l'intérêt nutritionnel et thérapeutique des graines de deux espèces de cucurbitacées cultivées au Sénégal.

Au terme de celle-ci, il ressort un intérêt nutritionnel et thérapeutique pour les graines de Cucurbitacées du Sénégal ainsi que pour l'huile extraite.

Ces graines peuvent être qualifiées de graines oléo-protéagineuses puisqu'elles renferment une quantité considérable d'huile et une proportion assez significative de protéines. La composition assez complète des graines (protéines, matière grasse, glucides, eau, fibres...) en font un aliment énergétique de qualité. Elles peuvent donc être utilisées dans la lutte contre la malnutrition protéino-énergétique.

Les graines de ces espèces présentent un profil intéressant en éléments minéraux et surtout une teneur importante en fer qui rehausse la qualité d'un point de vue nutritionnelle.

Parallèlement, les huiles de ces Cucurbitacées sont d'une valeur diététique certaine du fait de la présence de l'acide linoléique en forte teneur et de l'acide α -linoléique dont la teneur ne dépasse pas 2%.

La caractérisation phytochimique nous a permis de révéler trois grandes classes de composés à savoir les alcaloïdes, les hétérosides cardiotoniques et les composés flavoniques.

Une activité antioxydante non négligeable a été décelée et confirmée par la présence des composés susmentionnés.

En vue d'optimiser le rendement l'utilisation des techniques de macération pourra améliorer l'extraction des principes actifs et les résultats des tests d'activité antioxydante.

Il est donc important de valoriser d'une part ces graines notamment à travers la préparation de farines de sevrage, compléments alimentaires, biscuits, pâtes, tourteaux etc.... D'autre part, la production d'huiles alimentaires à base de ces graines peut être envisagée compte tenu des fortes teneurs en matières grasses et de la stabilité de celles-ci. Également, des essais de préservation et de stabilisation de la pulpe de ces fruits peuvent être envisagés en vue de limiter les pertes après récoltes par défaut de moyens de conservation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] « Cucurbitaceae—Wikipédia ». [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cucurbitaceae>. [Consulté le: 13-août-2017].
- [2] « Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles - DAPSA ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.dapsa.gouv.sn/>. [Consulté le: 06-mars-2017].
- [3] G. Chomicki et S. S. Renner, « Watermelon origin solved with molecular phylogenetic including Linnaean material: another example of museums », *New Phytol.*, vol. 205, n° 2, p. 526-532.
- [4] K. Ghedira et P. Goetz, « *Cucurbita pepo* L. (Cucurbitaceae) Graine de courge ou citrouille », *Phytothérapie*, vol. 11, n° 1, p. 46-51, févr. 2013.
- [5] R. S. Adnaik, P. S. Gavarka, S. K. Mohite, et C. S. Magdum, « physical chemical evaluation, phytochemical screening and in-vitro antioxidant activity of *Citrillus vulgaris* seeds », *Int. J. Univers. Pharm. Bio Sci.*, vol. 2, n° 6, p. 406-412, 2013.
- [6] P. Ghedira et P. Goetz, *Springer-Vergal*, vol. 11, n° 1, p. 46-51.
- [7] « Prota 2: Vegetables/Légumes Record ». [En ligne]. Disponible sur: http://database.prota.org/PROTAhtml/Citrullus%20lanatus_En.htm. [Consulté le: 21-oct-2016].
- [8] « *Cucurbita pepo* L. » [En ligne]. Disponible sur: <http://www.prota4u.org/protav8.asp?&g=pe&p=Cucurbita+pepo+L>. [Consulté le: 21-oct-2016].
- [9] « Pastèque », *Wikipédia*. 09-oct-2016.
- [10] M. Saadou, T. Silou, D. Mampouya, et W. D. L. Loyange, « Composition globale et caractéristiques des huiles extraites de 5 espèces de cucurbitacées du Niger », vol. 16, p. 1-4, 1996.
- [11] T. Silou, O. Kissotokene-N, M. Mvoula Tsieri, J. M. Ouamba, et S. Kiakouama, « Contribution à l'étude des corps gras des graines de quatre espèces des cucurbitacées cultivées au Congo », *J. Société Chim. Tunis.*, vol. 2, n° 11, p. 13-21, 1990.
- [12] U. Omoti et A. D. Okiy, « Characteristics and composition of the pulp oil and cake of the African pear », *Dacryodes Edulis GDNHJLAM Food Agric*, vol. 11, p. 67-72.
- [13] R. Oderinde, O. Tahiro, D. Awofal, et D. Ayediran, « A study of the chemical composition of some members of cucurbitaceae family », *RivItal Sostanze Grasse*, n° 67, p. 259-261, 1990.
- [14] E. Erhirhie et N. Ekene, « Medicinal Values on *Citrillus lanatus* (Watermelon): Pharmacology Review », *Int. J. Res. Pharm. Biomed. Sci.*, vol. 4, n° 4, p. 1305-1312, 2013.
- [15] F. J. He, C. A. Nowson, M. Lucas, et G. A. Mac Gregor, « Increased consumption of fruit and vegetables is related to a reduced risk of coronary heart disease: meta-analysis of cohort studies », *J. Hum. Hypertens*, vol. 21, n° 9, p. 717-728, sept 2007.
- [16] I. Soerjomataram *et al.*, « Increased consumption of fruit and vegetables and future cancer incidence in selected European countries », *Eur. J. Cancer Oxf. Engl.* 1990, vol. 46, n° 14, p. 2563-2580, sept. 2010.
- [17] L. A. Bazzano, M. K. Serdula, et S. Liu, « Dietary intake of fruits and vegetables and risk of cardiovascular disease », *Curt. Atheroscler. Rep.*, vol. 5, n° 6, p. 492-499, nov 2003.
- [18] A.-H. Harding *et al.*, « Plasma vitamin C level, fruit and vegetable consumption, and the risk of new-onset type 2 diabetes mellitus: the European prospective investigation of cancer--Norfolk prospective study », *Arch. Intern. Med.*, vol. 168, n° 14, p. 1493-1499, juil 2008.
- [19] P. Perkins-Veazie et J. K. Collins, « Carotenoid changes of intact watermelons after storage », *J. Agric. Food Chem.*, vol. 54, n° 16, p. 5868-5874, août 2006.
- [20] D. Heber et Q.-Y. Lu, « Overview of mechanisms of action of lycopene », *Exp. Biol. Med.* Maywood NJ, vol. 227, n° 10, p. 920-923, nov.2002.

- [21] K.-W. Kong, H.-E. Kho, K. N. Prasad, A. Ismail, C.-P. Tan, et N. F. Rajab, « Revealing the power of the natural red pigment lycopene », *Mol. Basel Switz.*, vol. 15, n° 2, p. 959-987, févr 2010.
- [22] L. Arab et S. Steck, « Lycopene and cardiovascular disease », *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 71, n° 6 Suppl, p. 1691S-5S; discussion 1696S-7S, juin 2000.
- [23] E. Giovannucci, « A review of epidemiologic studies of tomatoes, lycopene, and prostate cancer », *Exp. Biol. Med. Maywood NJ*, vol. 227, n° 10, p. 852-859, nov 2002.
- [24] G. Wu et C. J. Meininger, « Arginine nutrition and cardiovascular function », *J. Nutr.*, vol. 130, n° 11, p. 2626-2629, nov 2000.
- [25] K. H. van Het Hof, C. E. West, J. A. Weststrate, et J. G. Hautvast, « Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids », *J. Nutr.*, vol. 130, n° 3, p. 503-506, mars 2000.
- [26] M. Murkovic, U. Mülleder, et H. Neunteufl, « Carotenoid Content in Different Varieties of Pumpkins », *J. Food Compos. Anal.*, vol. 15, n° 6, p. 633-638, déc. 2002.
- [27] S. C. Gouvernement du Canada, « Fichier canadien sur les éléments nutritifs - engin de recherche en ligne », 26-avr-2012. [En ligne]. Disponible sur: <https://aliments-nutrition.canada.ca/cnf-fce/index-fra.jsp>. [Consulté le: 02-nov-2016].
- [28] A. Bendich, « From 1989 to 2001: what have we learned about the “biological actions of beta-carotene”? », *J. Nutr.*, vol. 134, n° 1, p. 225S-230S, janv 2004.
- [29] N. I. Krinsky et E. J. Johnson, « Carotenoid actions and their relation to health and disease », *Mol. Aspects Med.*, vol. 26, n° 6, p. 459-516, déc 2005.
- [30] J. D. Ribaya-Mercado et J. B. Blumberg, « Lutein and zeaxanthin and their potential roles in disease prevention », *J. Am. Coll. Nutr.*, vol. 23, n° 6 Suppl, p. 567S-587S, déc 2004.
- [31] S. Voutilainen, T. Nurmi, J. Mursu, et T. H. Rissanen, « Carotenoids and cardiovascular health », *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 83, n° 6, p. 1265-1271, juin 2006.
- [32] H. Nishino *et al.*, « Carotenoids in cancer chemoprevention », *Cancer Metastasis Rev.*, vol. 21, n° 3-4, p. 257-264, 2002.
- [33] K. M. Phillips, D. M. Ruggio, et M. Ashraf-Khorassani, « Phytosterol composition of nuts and seeds commonly consumed in the United States », *J. Agric. Food Chem.*, vol. 53, n° 24, p. 9436-9445, nov 2005.
- [34] A. B. Awad et C. S. Fink, « Phytosterols as anticancer dietary components: evidence and mechanism of action », *J. Nutr.*, vol. 130, n° 9, p. 2127-2130, sept 2000.
- [35] R. R. Berges, J. Windeler, H. J. Trampisch, et T. Senge, « Randomised, placebo-controlled, double-blind clinical trial of beta-sitosterol in patients with benign prostatic hyperplasia. Beta-sitosterol Study Group », *Lancet Lond. Engl.*, vol. 345, n° 8964, p. 1529-1532, juin 1995.
- [36] F. B. Hu et W. C. Willett, « Optimal diets for prevention of coronary heart disease », *JAMA*, vol. 288, n° 20, p. 2569-2578, nov 2002.
- [37] « Huile végétale de Melon d'eau du Kalahari - Aroma-Zone ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.aroma-zone.com/info/fiche-technique/huile-vegetale-melon-deau-du-kalahari-aroma-zone>. [Consulté le: 24-oct-2016].
- [38] Codex Alimentarius, « Normalisation commerce international », *Alinorm* p. 17, 1999.
- [39] « Les radicaux libres, qu'est-ce que c'est? | Thierry Souccar Editions ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.thierrysouccar.com/sante/info/les-radicaux-libres-quest-ce-que-cest-546>. [Consulté le: 25-oct-2016].
- [40] K. Pelli et M. Lyly, « Les antioxydants dans l'alimentation », *Finl. Ed Flair Flow*, 2003.
- [41] J. Haleng, J. Pincemail, J. O. Defraigne, C. Charlier, et J. P. Chapelle, « Le stress oxydant », *Rev Med Liège*, vol. 62, n° 10, p. 628-638, 2007.

- [42] V. Wade, « Etude de l'activité antioxydante de quatre Euphorbiaceae de la flore sénégalaise : Euphorbia balsamifera (LINN) ; Euphorbia hirta (L) ; Phyllanthus acidus (L) et Phyllanthus amarus (SCHUM et THONN) », *Thèse Doct Pharm Dakar UCAD*, p. 71, 2013.
- [43] C. T. LAH, « Contribution à l'étude de l'activité antioxydante des calices de trois variétés de Hibiscus sabdarifa au Sénégal. », *Thèse Doct Pharm Dakar UCAD*, p. 66, 2014.
- [44] S. S. DIOP, « Contribution à l'étude de l'activité antioxydante des baies d'une plante de la flore chinoise : Lycium barbarum LINNE. », *Thèse Doct Pharm Dakar UCAD*, p. 57, 2013.
- [45] M. NIANG, « Etude de l'activité antioxydante de deux Caesalpiniaceae de la flore sénégalaise : Piliostigma reticulatum (DC) Hochst (feuilles et écorces) et Tamarindus indica L. (feuille et gousses). », *Thèse Doct Pharm Dakar UCAD*, p. 77, 2014.
- [46] D. GUEYE, « Recherche bio-autographique de l'activité antioxydante de neuf plantes de la flore sénégalaise », p. 89, 2010.
- [47] M. NIANG, « Etude de l'activité antioxydante des feuilles de quatre Combrétacées de la flore sénégalaise : Combretum micranthum G. Don, C. glutinosum Perr. ex DC, C. aculeatum vent. et Guiera senegalensis J. F. G med. », p. 73, 2013.
- [48] B. S. M. D. BOUSSO, « Le stress oxydatif: les antioxydants naturels et de synthèse. », p. 102, 2014.
- [49] N. BELKHEIRI, « Dérivés phénoliques à activités antiathérogènes », *Thèse Dr. Chim.-Biol Santé Toulouse*, n° 193, p. 2010.
- [50] N. I. KRINSKY, « Antioxidant functions of carotenoids », *Free Rad Biol Med*, vol. 7, p. 617-635, 1989.
- [51] D. L. MADHAVI, S. DESHPANDLE, et D. K. SALUNKLE, « Food antioxidants technological, Toxicological and health perspectives », *Marcel Dekker N. Y.*, p. 101.
- [52] I. P. L. Bossoki, « Etude des activités biologiques de fagara xanthoxyloides LAM (Rutaceae) », *Thèse Doct Pharm Bamako*, p. 133, 2002.
- [53] D. J. MOGODE, « Etude phytochimique et pharmacologique de cassia nigricans Vahl (Caesalpiniaceae) utilisé dans le traitement des dermatoses au Tchad », *Thèse Doct Pharm Bamako*, p. 135, 2004.
- [54] SHIMIZU H., « Relationship between plasma glutathione levels and cardiovascular disease in a defined population », *Hisayama Study*, vol. 35, n° 9, p. 2072-2077, 2004.
- [55] A. Méliopoulos, C. Levacher, et L. Robert, *La peau: structure et physiologie*. Tec & Doc Lavoisier; Ed. médicales internationales, 1998.
- [56] P. Berbis, « Vieillesse cutané: aspects anatomophysiologiques », *Encycl Méd Chir*, 2001.
- [57] M. Atkin, A. Gasper, R. Ullegadi, et al, « oxidative susceptibility of unfractionated serum or plasma : response to antioxidants in vitro and to antioxidants supplementation », vol. 51, p. 2138-2144, 2005.
- [58] A. Favier, « Le stress oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies. », *Actual. Chim*, p. 108-115, déc. 2003.
- [59] M. S. BLOIS, « Antioxydant determination by the use of stable free radical », *Nature* 181, p. 119-200, 1958.
- [60] M. Ramadan, « Rapid antiradical method for screening deep fried oils », *J. Consum. Prot Food Saf*, vol. 5, p. 47-50, 2010.
- [61] « Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux : 1. Azote, phosphore, potassium, sodium, calcium, magnésium par les Laboratoires membres du Comité Inter-Instituts d'Etude des Techniques Analytiques du Diagnostic Foliai - 16085.pdf ». .

- [62] « Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux : détermination des éléments Ca, Mg, Fe, Mn, Zn et Cu par absorption atomique - 06209.pdf ».
- [63] « ALCALOÏDES, Réactifs généraux des alcaloïdes - Encyclopædia Universalis ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.universalis.fr/encyclopedia/alcaloïdes/8-reactifs-generaux-des-alcaloïdes/>. [Consulté le: 21-août-2017].
- [64] E. Bassène, « Initiation à la Recherche sur les Substances Naturelles », *Presse Universitaire de Dakar*, vol. 17, 2012.
- [65] P. Molyneux, « The use of the stable free radical diphenyl picryl hydrazyl DPPH) for estimating antioxidant activity Songklanakarin J. Sci », *Technol*, vol. 26(2), p. 211-219, 2004.
- [66] J. P. Wolf, « Manuel d'analyse des corps gras : Matières protéiques », *Ed AZOULAYE*, p. 552, 1968.
- [67] A. Karleskind, « Manuel des corps gras », *Ed Tec Doc Paris Lavoisier*, p. 782, 1992.
- [68] S. W. Souci, W. Fachmann, et Kraut H., *La composition des aliments: tableaux des valeurs nutritives*, 7e Edition Medpharm/Scientific Publishers / Taylor & Francis. New-york: Stuttgart: Lavoisier, 2008.
- [69] « Institut de Technologie Alimentaire ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.ita.sn/rechprog/projrt%20legumes%20feuilles.htm>. [Consulté le: 25-oct-2016].
- [70] B. Lal, N. Datta, et T. R. Madaan, « A study of kernel oils some cultivated cucurbits », *Qual Plant Foods Hum Nutr*, vol. 32, p. 83-85, 1983.
- [71] A. Mohamed et B. A. I. Hame, « Nutrient value of plant in a extremely arid environnement (Wadi Allaqi Biosphere Reserve Egypt) », *J. Arid Environ.*, n° 44, p. 383-385, 2000.
- [72] M. L. Ghaleb, M. Farines, et J. Soulier, « Composition chimique des huiles de graines de citrouille, courge, melon », *Rev Fr. Corps Gras*, vol. 38, n° 1-2, p. 17-22, 1991.
- [73] « (Microsoft Word - Les huiles v\351g\351tales IFHVP.doc) - LeshuilesvegetalesIFHVP121205.pdf ».
- [74] T. L. Long, « Evaluation de la qualité de l'huile de palme », *Rev Fr. Corps Gras*, n° 22, p. 27-29, 1975.
- [75] N. Kissotokene, « Contribution à l'étude des corps gras de quatre espèces de cucurbitacées au Congo », Mémoire de diplôme d'ingénieur, Marien Ngouabi, Brazzaville, 1987.
- [76] N. R. Grosso, V. Nepote, et C. A. Guzman, « Chemical composition of some wild peanut) seeds », *J Agric Food Chem*, n° 48, p. 806-809, 2000.
- [77] E UCCIANI, *Nouveau Dictionnaire des Huiles Végétales*, TEC DOC. 1995.
- [78] H. Sabo, H. Sadou, M. Saadou, et C. L. Leger, « Composition chimique des graines et caractéristiques physico-chimiques des huiles de douze variétés de *langenaria siceraria* du Niger », *J. Société Ouest-AfrChim*, n° 20, p. 11-30, 2005.
- [79] P. Armougom, I. Grondin, et J. Smadja, « Composition en acides gras des extraits lipidiques de quelques graines de cucurbitacées tropicales », *OCL Ol Corps Gras*, n° 5, p. 323-328, 1998.
- [80] G. Pascal, « Les rapports quotidiens recommandés en lipides et acides gras », *OCL*, n° 5, p. 323-328.
- [81] J. Bruneton, « Pharmacognosie-Phytochimie, plantes médicinales, 4e éd., revue et augmentée », *Paris Tec Doc Ed. Médicales Int.*, p. 1288, 2009.
- [82] C. Santos-Buelga et A. Scalbert, « Proanthocyanidins and tannin- like compounds nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health », *J. Sci Food Agric*, vol. 80, p. 1094-1117, 2000.

- [83] G. Blazso, M. Gàbor, F. Schonlau, et P. Rohdewald, « Pycnogenol accelerates wound healing and reduces scar formation », *Phytoter Res*, vol. 18, n° 7, p. 579-81, 2004.
- [84] S. C. Gouvernement du Canada, « Données nutritionnelles - Aliments et nutrition - Santé Canada », 30-juill-2002. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/fiche-nutri-data/index-fra.php>. [Consulté le: 25-oct-2016].
- [85] « Données sur la composition des aliments », p. 319.
- [86] H. Greenfield, D. A. T. Southgate, et Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, *Donnees sur la composition des aliments: production, gestion et utilisation*. Rome: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2007.
- [87] « Méthode de Kjeldahl », *Wikipédia*. 21-juill-2013.
- [88] R. SALGHI, « ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES I » 2013.
- [89] « Apports journaliers recommandés », *Wikipédia*. 24-juin-2013.

ANNEXES

ANNEXE I

2.7 TENEURS EN NUTRIMENTS ET VALEUR ENERGETIQUE DES DENREES

2.7.1 Méthodes d'analyse des nutriments

2.7.1.1 Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau est la **proportion effective (totale, dosable)** d'eau dans la denrée.

La méthode utilisée est:

- par **perte de poids à la dessiccation** - 103-105°C à l'étuve pendant x heures.

2.7.1.3 Dosage des protéines

Dans le domaine des indications nutritionnelles, on se contente généralement de mesurer la teneur en protéines brutes, laissant l'évaluation des proportions des acides aminés composant ces protéines au domaine de la diététique.

L'analyse des protéines brutes dans les denrées alimentaires consiste à doser l'azote total (Nt) selon Kjeldahl et multiplier la teneur en azote par un facteur conventionnel ($Nt \times f$)

- dosage de l'azote contenu dans la denrée selon Kjeldahl.

La matière organique est détruite par oxydation, sous l'effet combiné de l'acide sulfurique, de catalyseurs et éventuellement de substances destinées à élever le point d'ébullition du mélange. Dans ces conditions, l'azote des groupes amino, amido et imino est transformé en sel d'ammonium. L'ammoniac libéré de ce sel est entraîné par distillation et recueilli dans une solution acide de titre connu.

- calcul de la teneur en protéines brutes par multiplication de la teneur en azote trouvée par un facteur de conversion (qui correspond à l'inverse de la teneur en azote dans la protéine). Comme la teneur en azote est variable (fonction des acides aminés présents et de leurs proportions), un facteur de conversion différent devrait être utilisé pour chaque sorte de protéine.

Toutefois, lorsque la nature exacte de la protéine n'est pas connue ou si l'on a affaire à une denrée alimentaire contenant plusieurs sortes de protéines, on adopte le facteur conventionnel de 6,25 (correspondant à un taux moyen d'azote de 16 %).

Exemples de facteurs de conversion:

- albumine du lait (lait et produits laitiers)	6,38
- gélatine	5,55
- céréales (blé)	5,70
- graines oléagineuses	5,30
- protéines de :	
✓ viandes	6,25
✓ œufs	6,25
✓ légumineuses	6,25
✓ denrées complexes	6,25

Dans tous les cas, il faut indiquer dans le rapport d'analyse le facteur utilisé pour le calcul[84,85,86].

2.7.1.4 Dosage des matières minérales (cendres)

Dosage des cendres

La quantité de matières minérales d'une denrée est mesurée par dosage des cendres de cette denrée.

La teneur en cendres d'une denrée s'obtient par incinération (ou combustion complète) dans un four à 550 - 800°C. L'adjonction de réactifs comme le nitrate de lanthane peut faciliter ou accélérer la combustion (cendres moins fusibles).

Toutefois, la teneur en cendres ne correspond pas exactement à la teneur en matières minérales de la denrée (pertes de substances par volatilisation ou augmentation sensible de poids par formation de carbonates ou d'oxydes).

Exemples :

Blé : matières minérales 2,16 % cendres 1,90 % pertes de S, Cl, ...

Lait : matières minérales 0,69 % cendres 0,80 % augmentation due à la formation de carbonates

Dosage séparé des éléments

Le dosage séparé de certains éléments tels que Na, Mg, Fe, I, etc., peut être utile, notamment dans le domaine des aliments diététiques (denrées pauvres ou sans sodium, denrées avec supplémentation en oligoéléments, denrées pour nourrissons, etc.).

Ces dosages sont effectués par les méthodes classiques de la chimie analytique (gravimétrie pour P, S, Cl, Si ..., titrimétrie pour S, Cl, Ca, Mg ..., colorimétrie pour P, Cl, Si, Fe) ou par absorption atomique (Na, K, Fe ...), en général après minéralisation.

Exemples:

- dosage de Na et K par photométrie de flamme
- dosage de Ca et Mg ou du fer, par spectrophotométrie d'absorption atomique
- dosage du chlorure par titrimétrie selon Mohr ou Vollarde ou par potentiométrie
- dosage du phosphore par colorimétrie
- la teneur en phosphate est mesurée sur la base de la teneur en bleu de molybdène (à 720 nm), obtenu par réaction avec du molybdate d'ammonium et réduction subséquente (par l'acide ascorbique par exemple).

2.7.1.5 Dosage des glucides

Il n'existe pas de méthode d'analyse globale des sucres comme il en existe pour les lipides, les protides (protéines), les matières minérales, etc.

Dans le domaine des glucides, les dosages globaux que l'on peut effectuer concernent:

- les sucres réducteurs (titrage oxydo-réduction classique type Fehling - le saccharose non réducteur peut être dosé par la même méthode après hydrolyse en milieu acide en fructose et glucose réducteurs)
- les fibres alimentaires, composées principalement de polysaccharides non assimilables (méthode enzymatico-gravimétrique)

La mesure de la quantité totale de glucides (ou hydrates de carbone assimilables) d'une denrée est généralement faite par **calcul (différence avec les autres nutriments** sauf les vitamines dont la teneur totale est généralement négligeable).

Glucides = total - [eau + lipides + protides + matières minérales (cendres) + éventuellement fibres alimentaires, polyols, acides, alcool]

2.7.1.6 Analyse des vitamines

Les méthodes d'analyse mises en jeu sont soit des méthodes chimiques et physicochimiques soit des méthodes microbiologiques soit des méthodes biologiques:

Méthodes chimiques et physico-chimiques:

- par colorimétrie ou photométrie: vitamine A (méthode Carr-Price), β -carotène...
- par fluorimétrie: B1 après oxydation en thiochrome, B2...
- par CLHP

Presque toutes les vitamines peuvent être analysées par CLHP; un exemple classique est la séparation des tocophérols (vit. E) d'une huile de germe de blé.

2.7.2 Détermination de la valeur énergétique

Deux principes sont à la base de l'évaluation de la valeur énergétique d'une denrée:

- Toute partie digestible d'un aliment fournit, après son assimilation dans l'organisme, un nombre de calories en rapport avec la quantité ingérée.
- Les constituants principaux des aliments (protéines, graisses, hydrates de carbone) peuvent généralement se substituer les uns aux autres (loi de l'isodynamie) ; il s'ensuit que le nombre total de calories d'une denrée s'obtient directement par addition des valeurs caloriques des différents nutriments.

Le pouvoir calorifique des différents nutriments a été mesuré expérimentalement dans les meilleures conditions. A partir de ces valeurs expérimentales, des valeurs moyennes ont été fixées pour chaque nutriment.

Valeurs caloriques moyennes[85]:

protéines	4 kcal/g (17 kJ)
lipides	9 kcal/g (38 kJ)
glucides	4 kcal/g (17 kJ)

polyols (sucres alcools)	2,4 kcal/g (10 kJ)
alcool	7 kcal/g (30 kJ)
acides organiques	3 kcal/l (13 kJ)
polydextrose	1 kcal/g (4 kJ)

NB : la valeur calorique des vitamines est négligeable

Calcul de la valeur calorique d'une denrée

Déterminer les teneurs en:

- eau
- protéines brutes (protides)
- matière grasse totale (lipides)
- cendres
- éventuellement, polyols (par CLHP)
- éventuellement, fibres alimentaires
- éventuellement, acides organiques (par titrage ou CLHP) et alcool (par distillation et densitométrie ou par CPG)

Calculer la teneur en glucides par différence:

Glucides = 100 - (eau, MG, protéines, cendres, fibres, polyols, acides et alcool)

Calcul de la valeur calorique:

multiplier les teneurs de chaque composants en g par les valeurs caloriques moyennes et faire la somme.

La valeur calorique est donnée en kcal/100 g ou 100 ml de denrées ou en kJ/100 g ou

100 ml (1 kcal = 4,18 kJ).

ANNEXE II

Dosage des protéines

La méthode de Kjeldahl est une technique de détermination du taux d'azote dans un échantillon. Elle est applicable pour le dosage de l'azote de différents composés azotés tels les amines et les sels d'ammonium quaternaires. Elle ne permet pas le dosage direct des nitrates, nitrites, nitrosyles, cyanures qu'il faut d'abord réduire en ammoniac.

Quand l'azote est sous forme organique, il faut d'abord procéder à la minéralisation du composé pour passer à de l'azote minéral. On détruit la molécule organique en l'oxydant à ébullition avec de l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré, en présence de catalyseur : le carbone s'élimine sous forme de dioxyde de carbone (CO_2), l'hydrogène sous forme d'eau et l'azote reste en solution sous forme d'ion ammonium (NH_4^+).

Principe

La 1^{re} étape est la minéralisation. Son but est de dégrader la matière organique azotée sous la forme de sel d'ammonium. Équation de Minéralisation :

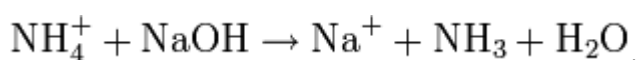


Le pH acide permet au sel d'ammonium d'apparaître sous sa forme acide de l'ammonium NH_4^+ .

La dégradation de la matière organique azotée se fait à l'aide d'un catalyseur (du sulfate de cuivre et du sulfate de potassium), de l'acide sulfurique à haute température (421 °C).

La deuxième étape est la distillation de l'ammonium par l'ajout de soude : on cherche à transformer l'ammonium sous sa forme volatile, l'ammoniac.

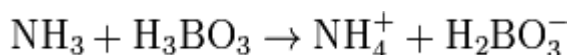
Équation de distillation :



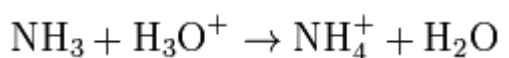
La soude est ajoutée en excès afin de changer le pH acide en un pH basique, ce qui a pour effet d'obtenir de l'ammoniac. L'ammoniac NH_3 est entraîné par la vapeur d'eau par distillation.

Les vapeurs d'ammoniac sont condensées au contact d'un réfrigérant et recueillies dans une solution contenant 2 indicateurs colorés (rouge de méthyle et bleu de bromothymol) et de l'acide borique.

L'acide borique va retenir l'ammoniac sous sa forme acide. Équation de rétention de l'acide :



La troisième étape est le titrage de l'ammoniaque par une solution titrée d'acide chlorhydrique ou d'acide sulfurique :



On titre la solution jusqu'à équivalence par le virage de l'indicateur coloré, le rouge de méthyle (couleur rose rouge). L'acide borique est un acide faible, il ne libère pas d'ions H^+ et n'interfère donc pas avec le pH.

Mode opératoire

Pour doser les protéines contenues dans un échantillon par la méthode de Kjeldahl, il faut d'abord procéder à la minéralisation. Pour cela introduire dans un matras (fiolle) :

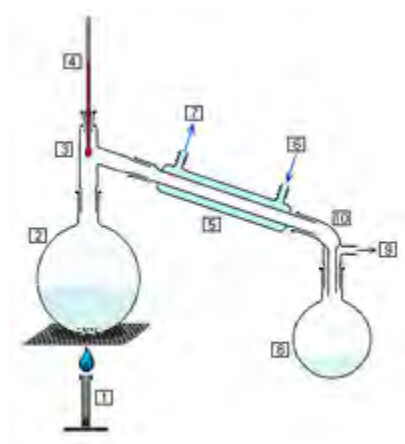
- la quantité m de l'échantillon ;
- un volume d'acide sulfurique (en général 15 ml) ;
- le catalyseur du sulfate de potassium et du sulfate de cuivre (soit sous la forme de cristaux, soit sous la forme de pastille) ;
- un anti-moussant (pratique pour la phase de distillation et refroidissement après la minéralisation).

La minéralisation se fait en général dans un minéralisateur pendant 1 h 30 min à 3 h. On fait la minéralisation sous une hotte (les vapeurs de la minéralisation sont très irritantes et toxiques dû à l'acide sulfurique) ou par une aspiration par cloche qui récupère le dégagement d'acide pour le faire passer dans de l'eau puis dans une solution de soude d'un indicateur coloré (généralement le bleu de bromothymol).

Laisser refroidir et introduire avec précaution puis rajouter de l'eau distillée. Attention à cet ajout car l'ajout d'eau dans un acide fort comme l'acide sulfurique ici peut engendrer une très forte réaction, voire l'explosion.

La fiole contient désormais les molécules d'azote sous la forme de sel d'ammonium (sauf les nitrates et les nitrites).

Distillation de l'ammoniac



Montage à réaliser

On place la fiole dans un distillateur. Elle est reliée à une solution d'acide borique saturée, de rouge de méthyle et de bleu de bromothymol. Rajouter de la soude concentrée en excès tout en chauffant légèrement la fiole afin de faire virer le pH en milieu basique, ce changement de pH va transformer les sels d'ammonium en ammoniac qui va « s'évaporer ».

L'ammoniac va passer par un réfrigérant qui va entraîner son retour sous sa forme liquide puis va couler dans l'acide borique qui va l'emprisonner (voir principe).

Dosage de l'ammoniac

On effectue un dosage acido-basique direct. L'acide borique n'a aucun effet sur le pH (acide faible).

Doser l'ammoniac par une solution titrée d'acide sulfurique ou d'acide chlorhydrique. L'équivalence est marquée par une coloration rose due au rouge de méthyle.

Par précaution, retirer la solution avant de stopper le chauffage pour éviter tout siphonage.

Calculs

Exemple pour l'acide chlorhydrique.

Recherche du résultat en g% (m/V) :

on sait que 1 mol d'acide réagit avec 1 mol d'ammoniaque donc on obtient l'égalité suivante :

$$1 \text{ mol d'acide} = 1 \text{ mol d'ammoniaque (noté mol N)}$$

On connaît la formule suivante : $n \text{ (mol)} = C \text{ (mol/L)} * V \text{ (L)}$ on arrive donc à : $\text{mol N} = C \text{ de l'acide (noté } C1) * V \text{ de l'équivalence (noté } Va)$. Soit : $\text{mol N} = C1 * Va$

On sait la formule suivante : $m \text{ N (masse de l'azote)} = M \text{ masse molaire de l'azote (g/mol)} * n \text{ N (mol)}$ soit : $m \text{ N} = M * C1 * Va$

On cherche un résultat en g% on multiplie par 100 et on divise par la masse de l'échantillon.

Calcul du % de protéines dans l'échantillon

Le % de protéines dans l'échantillon est obtenu en multipliant le % d'azote par un facteur F dépendant du type d'aliment analysé. [87]

ANNEXE III

Méthode de dosage des lipides

Les lipides sont insolubles dans l'eau et très solubles dans les solvants organiques, tel l'éther éthylique ou l'hexane. La plupart des méthodes de dosage des lipides exploitent ces propriétés physiques pour extraire les lipides des aliments dans le but de mesurer leur concentration.

Méthode Soxhlet

La méthode Soxhlet est la méthode de référence utilisée pour la détermination de la matière grasse dans les aliments solides déshydratés. C'est une méthode gravimétrique, puisqu'on pèse l'échantillon au début et la matière grasse à la fin de l'extraction.

Principe de la méthode

L'aliment solide est pesé et placé dans une capsule de cellulose. L'échantillon est extrait en continu par de l'éther éthylique ou l'hexane à ébullition qui dissout graduellement la matière grasse. Le solvant contenant la matière grasse retourne dans le ballon par déversements successifs causés par un effet de siphon dans le coude latéral. Comme seul le solvant peut s'évaporer de nouveau, la matière grasse s'accumule dans le ballon jusqu'à ce que l'extraction soit complète. Une fois l'extraction terminée, l'éther est évaporé, généralement sur un évaporateur rotatif (ou récupéré par le même procédé sans la capsule) et la matière grasse est pesée. Les capsules de cellulose sont perméables au solvant et à la matière grasse qui y est dissoute.

$\% \text{lipides} = M (\text{lipides}) \times 100 / M (\text{échantillon})$ [88]

ANNEXE IV

Tableau : Dose journalière recommandé de quelques minéraux [89]

MINERAUX	DOSE JOURNALIERE RECOMMANDEE (Normes de recherche U.S.A)
Calcium	800 à 1200 mg
Chrome	50 à 200 mg
Cobalt	Non répertorié
Cuivre	1 à 3 mg
Fer	10 à 18 mg
Fluor	0,5 à 1 mg
Magnésium	200 à 400mg
Manganèse	1 à 8 mg
Molybdène	Non répertorié
Phosphore	800 à 1300 mg
Potassium	100 à 450 mg
Sélénium	50 à 150 mg
Silice	Non répertorié
Sodium	1000 à 3000 mg
Soufre	Non répertorié
Vanadium	Non répertorié
Zinc	5 à 15 mg

ANNEXE V

CHAPITRE II : LES HUILES VEGETALES

L'huile végétale pure est définie comme une huile provenant de plantes oléagineuses obtenue par pression, extraction ou procédés comparables, brute ou raffinée, mais sans modification chimique.

II-1- Caractéristiques

Une huile végétale est une huile alimentaire comestible, fluide (liquide) à la température de 15°C. Les huiles alimentaires sont constituées à 100 % de lipides (environ 99 % de triglycérides, le reste étant composé principalement de lécithines suivant l'huile et de vitamine E). Elles ne contiennent pas d'eau et sont très caloriques. Les huiles sont un mélange de triglycérides différents dont la composition moyenne est connue. Leur teneur élevée en acides gras mono-insaturés ou polyinsaturés est bénéfique pour la santé. Chaque huile a une composition en acides gras différente.

On peut mesurer le degré d'insaturation global d'une huile végétale en recherchant son indice d'iode. Plus celui-ci est élevé, plus l'huile contient des acides gras insaturés. L'indice d'acide nous permet de déterminer le niveau d'altération d'une huile. Quand il est déterminé sur un acide gras pur, il permet aussi de déterminer sa masse molaire (donc sa structure). Quant à l'indice de réfraction et l'indice de saponification, ils permettent de déterminer respectivement un caractère physique et chimique de l'huile.

La vitamine E est liposoluble, c'est-à-dire soluble dans l'huile. Les huiles alimentaires contiennent de la vitamine E ou tocophérol. Antioxydant, la vitamine E protège les corps gras contre l'oxydation. Une partie de la vitamine E des huiles raffinées est éliminée lors du processus de raffinage, on peut alors, en rajouter juste avant l'embouteillage.

Pour chaque huile, il existe une température critique (ou point de fumage) au-dessus de laquelle il ne faut pas chauffer l'huile. Quand l'huile atteint la température critique, ses composants se dégradent, forment des composés toxiques et l'huile fume. Les huiles doivent être protégées de l'air et de la lumière (à cause de l'oxydation), ainsi que de la chaleur. La réaction d'oxydation ou rancissement se produit lorsque les acides gras insaturés fixent l'oxygène de l'air. Les doubles liaisons sont cassées et elles sont remplacées par des liaisons avec des atomes d'oxygène. L'oxydation a lieu plus vite sous l'effet des rayons ultraviolets, de la chaleur ou en présence d'ions métalliques comme le Fe^{2+} ou Cu^{2+} . Elle modifie le goût et produit des composés

indésirables (acides gras libres et peroxydes), qui peuvent être dangereux pour la santé. Les huiles pressées à froid contiennent naturellement plus de substances antioxydantes que les huiles raffinées. Lorsque les antioxydants contenus dans l'huile sont épuisés, elle commence à rancir. Elle prend un goût âcre et une odeur désagréable (elle n'est alors plus consommable).

Les huiles vierges pré-emballées peuvent se conserver jusqu'à un an dans leur bouteille d'origine à l'abri de la lumière. De préférence après ouverture, il faut les mettre :

- à l'abri de la lumière (à température ambiante ou au réfrigérateur) : pour les huiles d'arachide, de carthame oléique, d'olive, de pépins de courge, de tournesol oléique ou de sésame ;
- au réfrigérateur et pas plus de 6 mois pour les plus riches en acides gras polyinsaturés ;
- au réfrigérateur entre 1 et 3 mois pour les plus riches en acides alpha-linoléniques ;

Certaines huiles ont tendance à se solidifier en formant des " flocons " à la température du réfrigérateur : ce phénomène n'a aucune incidence sur leur qualité et ces amas redeviennent liquides à température ambiante.

Les lipides doivent être présents de façon équilibrée dans notre alimentation. Le Plan National Nutrition Santé recommande de privilégier les matières grasses d'origine végétale et de les varier. Les huiles ont des profils en acides gras complémentaires qui couvrent les apports nutritionnels conseillés.

II-2- Méthodes de production

II-2-1 La pression mécanique à la presse hydraulique

C'est la plus ancienne méthode et celle qui donne l'huile la plus proche de son état naturel. Les graines sont broyées, puis pressées à froid ou légèrement chauffées avant d'être pressées, et l'huile est ensuite simplement filtrée ou centrifugée afin d'en éliminer les particules.

II-2-2 La pression mécanique à l'expeller (ou presse à vis sans fin)

Les matières sont d'abord chauffées à des températures variant de 90 °C à 120 °C, puis soumises à la pression. Bien que ce ne soit pas toujours le cas, l'huile ainsi obtenue est ensuite généralement raffinée. Le raffinage est un processus qui comprend de nombreuses étapes :

filtration ou centrifugation, blanchissage, désodorisation, frigélisation, coloration, etc. Des additifs chimiques sont ajoutés pour assurer la longue conservation de ces produits.

II-2-3 L'extraction à l'aide de solvants chimiques

Les matières sont broyées, chauffées à la vapeur, puis mélangées à un solvant (habituellement de l'hexane, un sous-produit du pétrole) qui en extrait l'huile. Le solvant est ensuite séparé de l'huile par distillation et cette dernière est soumise aux diverses étapes du processus de raffinage. La température peut atteindre 200 °C ou plus durant l'une ou l'autre des étapes du raffinage. C'est la méthode qui permet d'obtenir la plus grande quantité d'huile d'une substance donnée et, par conséquent, d'en abaisser substantiellement le prix de vente. Toutes les huiles ne portant pas la mention « vierge » ou « extraite par pression » sont obtenues par cette méthode.

II-3- Les acides gras

Les acides gras sont des molécules organiques qui se distinguent les unes des autres en fonction du nombre d'atomes de carbone et de la nature des liaisons entre eux. Ainsi, ils sont regroupés en trois grandes familles : les acides gras saturés(AGS) sans double-liaisons, les acides gras mono-insaturés(AGMI) et les acides gras polyinsaturés(AGPI) qui possèdent une ou plusieurs double-liaisons. Les acides gras saturés peuvent être synthétisés par le foie, le cerveau et le tissu adipeux. L'acide palmitique et l'acide stéarique entrent dans cette famille. La désaturation par l'organisme des acides gras saturés peut conduire à des acides gras mono-insaturés dont l'acide oléique représente l'élément majeur. L'acide alpha-linolénique (oméga-3) et l'acide linoléique (oméga-6) appartiennent à la catégorie des acides gras polyinsaturés. Ces deux acides gras particuliers sont qualifiés "d'indispensables" car le corps ne peut les synthétiser.

Les oméga-6, représentés par l'acide linoléique entrent dans la composition des céramides. Ils participent à la reconstitution des lipides épidermiques et interviennent dans la fluidité membranaire. L'acide linoléique permet de limiter les pertes hydriques de la peau tout en présentant des qualités adoucissantes et nutritives. Les oméga-6 participent aussi à la fonction de reproduction, interviennent dans le processus de la coagulation du sang et aident à diminuer le mauvais cholestérol ("Light Density Lipoprotein-C") dans le sang.

Les oméga-3 (acide alpha-linolénique), en plus de maintenir l'élasticité de la peau, sont largement impliqués dans les processus anti-inflammatoires : ils atténuent les rougeurs et calment les irritations. De plus les acides gras oméga-3 participent au développement du

cerveau et du système nerveux (rétine) ainsi qu'au bon fonctionnement du système cardiovasculaire. Ils régulent les triglycérides et la coagulation du sang.

Les acides gras sont vitaux pour l'organisme qui ne peut s'en passer. Faire la chasse systématique aux graisses ou n'en privilégier qu'une seule catégorie met le corps dans une situation de déséquilibre nutritionnel. Et comme pour tous les nutriments, les consommer en excès est aussi préjudiciable à la santé. La bonne attitude à table ou en cuisine, s'est d'utiliser chaque huile en quantité raisonnable. Dans l'assiette, le meilleur cocktail sera celui qui associera ou alternera plusieurs huiles de compositions complémentaires.

II-4- Nomenclature des acides gras

Il existe trois nomenclatures, une physiologique, une chimique et un consensus

II-4-1- Nomenclature physiologique

Elle permet de définir la famille des Acides Gras (Oméga, 3, 6, 9...). Elle tient compte de la première double liaison rencontrée, mais en commençant le décompte à partir du groupement méthyle. Par exemple, la dénomination de l'acide linoléique est C18: 3, w 6 ce qui signifie:

- C18: 18 atomes de carbone.
- 3: 3 doubles liaisons
- ω 6 : la première double liaison se trouve sur le 6^{ème} atome de carbone en partant du groupement méthyle terminal.

Cela définit la famille des Oméga 6. En situation physiologique, il y a toujours trois carbones entre 2 doubles liaisons. Par conséquent puisqu'il y a trois doubles liaisons et que la première se trouve sur le sixième carbone, les deux autres doubles liaisons seront sur le $6+3=9^{\text{ème}}$ atome de carbone et sur le $9+3=12^{\text{ème}}$ carbone.

II-4-2 Nomenclature chimique

A l'inverse des physiologiques, les chimistes mettent l'accent sur la première double liaison rencontrée en partant du groupement carboxyle. Elle permet de déterminer facilement la fonction de l'acide gras, mais par contre, elle met difficilement en évidence la famille de l'acide gras. Par exemple, la dénomination de l'acide linoléique sera: C18:3, 6, 9, 12.

- C18: 18 atomes de carbone
- 3: 3 doubles liaisons en positions 6, 9 et 12 à partir du carboxyle.

II-4-3 Nomenclature des chimistes et physiologistes : le consensus

Elle permet de mettre en évidence rapidement la famille à laquelle appartient l'acide gras. Elle va servir tout aussi bien aux chimistes qu'aux physiologistes, de manière à ce qu'ils puissent correspondre avec la même écriture. Sa notation est la suivante:

Cx: y, n-m, avec :

- x: Nombre d'atomes de carbones.
- y: Nombre de doubles liaisons.
- n: Définit la place de la double liaison la plus éloignée du carbonyle.
- m: Place de la double liaison décomptée à partir du groupement méthyle terminal qui donne l'appartenance à une famille.

Les autres doubles liaisons se déduisent facilement, puisqu'il y a toujours trois carbones entre deux doubles liaisons. La dénomination de l'acide linoléique devient donc C18: 3, n-6.

- 18: Nombre d'atomes de carbones
- 3: Nombre de doubles liaisons
- n-6: Première double liaison à $18-6=12$ atomes de carbone en partant du carboxyle.

Les autres doubles liaisons se déduisent: $12-3=9$; $9-3=6$

Tableau II : Principaux acides gras saturés et insaturés retrouvés à l'état naturel (International Union of Pure and Applied Chemistry and International Union of Biochemistry Commission on Biochemical Nomenclature, 1978 ; Kramer et al., 1998)

Symbole (nomenclature normalisée)	Symbole (nomenclature oméga)	Structure chimique	Nom systématique de l'acide	Nom commun de l'acide
Acides gras saturés				
C1 : 0	C1 : 0	CH ₃ COOH	Méthanique	laurique
C2 : 0	C2 : 0	CH ₃ COOH	Éthanique	acétique
C3 : 0	C3 : 0	CH ₃ CH ₂ COOH	Propanique	propionique
C4 : 0	C4 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	Butanique	butyrique
C5 : 0	C5 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	Pentanique	valérique
C5 : 0 iso	C5 : 0 iso	CH ₃ CH(CH ₃)CH ₂ COOH	Méthyl-3-butanique	isovalérique
C6 : 0	C6 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH	Hexanique	caproïque
C7 : 0	C7 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₅ COOH	Heptanique	éranthique
C8 : 0	C8 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH	Octanique	caprylique
C9 : 0	C9 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₇ COOH	Nonanique	pélagonique
C10 : 0	C10 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	Décannique	caprique
C12 : 0	C12 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	Dodécannique	laurique
C14 : 0	C14 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	Tétradécannique	myristique
C16 : 0	C16 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	Hexadécannique	palmitique
C18 : 0	C18 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	Octadécannique	stéarique
C20 : 0	C20 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ COOH	icosanitique ¹	arachidique
C22 : 0	C22 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₂₀ COOH	Docosannique	béhenique
C24 : 0	C24 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₂₂ COOH	Tétracosannique	lignocérique
C26 : 0	C26 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₂₄ COOH	Hexacosannique	cérotique
C28 : 0	C28 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₂₆ COOH	Octacosannique	montanique
C30 : 0	C30 : 0	CH ₃ (CH ₂) ₂₈ COOH	Tricontannique	mélissique
Acides gras insaturés				
monosaturés				
C12 : 1 (9)	C12 : 1 ω-3	CH ₃ CH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	cis-9-dodécénoïque	lauroléique
C14 : 1 (9)	C14 : 1 ω-5	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	cis-9-tétradécénoïque	myristoléique
C16 : 1 (9)	C16 : 1 ω-7	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	cis-9-hexadécénoïque	palmitoléique
C18 : 1 (trans 6)	C18 : 1 ω-12	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	trans-6-octadécénoïque	palmitoléaldique
C18 : 1 (9)	C18 : 1 ω-8	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₉ COOH	cis-9-octadécénoïque	oléique
C18 : 1 (trans 9)	C18 : 1 ω-9	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₉ COOH	trans-9-octadécénoïque	oléique
C18 : 1 (11)	C18 : 1 ω-7	CH ₃ (CH ₂) ₆ CH=CH(CH ₂) ₉ COOH	cis-11-octadécénoïque	oléique
C18 : 1 (trans 11)	C18 : 1 ω-7	CH ₃ (CH ₂) ₆ CH=CH(CH ₂) ₉ COOH	trans-11-octadécénoïque	oléique
C20 : 1 (9)	C20 : 1 ω-11	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH=CH(CH ₂) ₉ COOH	cis-8-icosénoïque ⁽¹⁾	vacéénique
C22 : 1 (11)	C22 : 1 ω-11	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH=CH(CH ₂) ₉ COOH	cis-11-docosénoïque	trans vacéénique
C22 : 1 (13)	C22 : 1 ω-11	CH ₃ (CH ₂) ₉ CH=CH(CH ₂) ₁₁ COOH	cis-13-docosénoïque	gadoléique
C24 : 1 (15)	C24 : 1 ω-9	CH ₃ (CH ₂) ₉ CH=CH(CH ₂) ₁₃ COOH	cis-15-tétracosénoïque	céroléique
polyinsaturés				
C18 : 2 (9,12)	C18 : 2 ω-6	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	cis,cis-9,12-octadécadiénoïque	linoléique
C18 : 2 (9,trans 11)	C18 : 2 ω-7	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CHCH=CH(CH ₂) ₇ COOH	cis,trans-9,11-octadécadiénoïque	linoléique conjugué cis-9, trans-11 ou ruménique
C18 : 2 (trans 10,12)	C18 : 2 ω-6	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH=CH(CH ₂) ₈ COOH	trans,cis-10,12-octadécadiénoïque	linoléique conjugué trans-10, cis-12
C18 : 3 (6,9,12)	C18 : 3 ω-6	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₂ CH=CHCH=CH(CH ₂) ₆ COOH	cis,cis,cis-6,9,12-octadécatriénoïque	γ-linolénique
C18 : 3 (9,12,15)	C18 : 3 ω-3	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH=CHCH ₂ (CH ₂) ₂ COOH	cis,cis,cis-6,9,12,15-octadécatriénoïque	α-linolénique
C18 : 3 (9,trans 11,trans 13)	C18 : 3 ω-5	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH=CHCH ₂ (CH ₂) ₂ COOH	cis,trans,trans-9,11,13-octadécatriénoïque	α-éicosaténoïque
C20 : 4 (6,8,11,14)	C20 : 4 ω-6	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH=CHCH=CH(CH ₂) ₆ COOH	cis,cis,cis,cis-6,8,11,14-icosaténoïque ⁽¹⁾	arachidonique
C20 : 4 (6,8,11,14,17)	C20 : 4 ω-3	CH ₃ CH ₂ CH=CHCH=CHCH ₂ CH=CHCH=CH(CH ₂) ₅ COOH	cis,cis,cis,cis,cis-6,8,11,14,17-icosapentaénoïque ¹	arachidonique
C22 : 5 (4,8,12,15,19)	C22 : 5 ω-3	CH ₃ CH ₂ CH=CHCH=CHCH ₂ CH=CHCH=CH(CH ₂) ₅ COOH	cis,cis,cis,cis,cis,cis-4,8,12,15,19-docosapentaénoïque	ocaplanodonique
C22 : 6 (4,7,10,13,16,19)	C22 : 6 ω-3	CH ₃ CH ₂ CH=CHCH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₆ COOH	cis,cis,cis,cis,cis,cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaénoïque	ocaplanodonique

(1) Le préfixe *icosano* a remplacé *eicosano*

Valeur nutritive et thérapeutique des pépins de deux espèces de Cucurbitacées cultivées au Sénégal.

Les graines de deux espèces de Cucurbitacées qui poussent au Sénégal (*Citrullus lanatus*, *Cucurbita pepo*) ont été étudiées afin d'évaluer leur intérêt nutritionnelle et thérapeutique.

Les méthodes classiques et instrumentales ont été utilisées pour la détermination des différents paramètres, ainsi que celle au 2,2 diphényl-1-picryl hydrazyle (DPPH) pour l'activité antioxydante.

Nos résultats montrent : une teneur moyenne en protéines de 30,7%, huile de 38%, eau de 5,4%, cendres de 4,7%, fibres de 2,48% et glucides de 21,2%. Ces graines sont hautement énergétique avec une valeur calorique qui atteint 550 Kcal/100g. L'intérêt nutritionnel évalué avec un rapport R_1 égal à 1,24 confère à ces graines un caractère oléoprotéagineux. La détermination de la composition en éléments minéraux a révélé des valeurs moyennes en macroéléments tels que : le magnésium (489,56 mg/100g), le calcium (90,69 mg/100g), le phosphore (232,16 mg/100g), le potassium (830,53 mg/100g et un oligoélément le fer (9,34 mg/100g). L'huile de chaque espèce a été caractérisée par la détermination moyenne des indices de réfraction (1,469), d'iode (122,14 g I_2 /100g MG), de saponification (178,13 mg KOH/g MG) et d'acide (1,63 mg KOH/g MG). Le profil en acides gras a montré des huiles qui renferment majoritairement en moyenne, par rapport aux acides gras totaux, 13,72% d'acide palmitique ; 7,90% d'acide stéarique ; 22,1% d'acide oléique et 54,46% d'acide linoléique. Le rapport R_2 qui est de 0,28 en moyenne assure aux huiles considérées un intérêt en tant que source d'acides gras essentiels. La caractérisation effectuée sur les extraits a permis de mettre en évidence la présence de composés biologiquement actifs tels que, les alcaloïdes, les hétérosides cardiotoniques et les flavonoïdes ainsi qu'une activité antioxydante.

Mots-clés : nutritive, thérapeutique, pépins, espèces, Cucurbitacées, Sénégal.