République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Alimentaires

Mémoire de Fin de Cycle

En Vue de l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat

en Contrôle de Qualité et Analyses

Thème

Evaluation de L'activité antioxydante de quelques légumes secs cuits

Réalisé par:

Melle BOURIHANE Kahina

Melle ABDELBOST Sabrina

Membres du jury :

Président : M. KATI D.E.

Promoteur : M. BACHIR BEY M.

Examinateurs : M. CHIKHOUNE A.

Mme BERKATI S.

2O11-2012

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à M. BACHIR BEY M. pour avoir accepté de nous encadrer, pour le choix du thème et pour avoir participé activement à la correction de ce manuscrit. Ses compétences techniques et son efficacité ont fortement contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier M. KATI D.E. d'avoir accepté de présider le jury.

Nos sincères remerciements iront également à M. CHIKHOUN A. et Mme BERKATI S. d'avoir accepté d'évaluer ce mémoire.

Un grand merci au Pr LOUAILECHE H. pour les efforts consentis de sa part durant tout notre cycle universitaire, son aide et sa disponibilité ont été des atouts précieux.

Un grand merci à toutes les personnes qui nous ont soutenu de près ou de loin au cours de la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

A mon père AKLI qui m'a toujours été d'un soutien sans faille dans mes études et qui est un véritable modèle pour moi dans la vie de tous les jours.

A ma mère SAIDA qui m'a comblée d'amour, d'affection et d'encouragement pour que je devienne la fille que je suis aujourd'hui.

A ma sœur AMEL et mon frère HAÇANE.

A la personne qui m'a toujours encouragé et soutenu, merci NANOU.

A toute ma famille.

A tous mes amis SABY, HAYET, AMINA, SIHAME, KENZA, HAYETTE et LYNDA.

A toute la promotion 5ème année C.Q.A 2012.

Que ce travail soit le témoignage sincère et

affectueux de ma profonde reconnaissance

pour tout ce que vous avez fait pour moi.

Kahina

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux êtres les plus Chers à mes yeux,

A la mémoire de mon père.

A ma mère qui m'a toujours entourée avec sa tendresse et qui a tout fait pour que je réussisse.

A mes chères sœurs Nabila et Sonia.

A ma chère belle sœur Sedda.

A mes grands frères Samir et Hakim.

A mes adorables nièce et neveu Amina et Mohamed.

A mes amis(es) ; ces êtres merveilleux (se) qui mon apportés(es) tant de soutien et d'amour : Nina, Hayat, Siham, Kenza, Printemps, Abdelhek, Chicha et Lina.

Je dédie ce modeste travail qui n'aurait pu aboutir et voir la lumière sans l'aide de Dieu Le Tout Puissant.

Sabrina

Liste des figures

Figure 01 : Relation entre les principaux radicaux libres 1
Figure 02 : Classification des légumineuses de la famille des Papilionoideae 10
Figure 03 : Structure chimique du DPPH 20
Figure 04 : Pourcentage d'humidité des légumes secs cuits et des eaux de cuisson..... 21
Figure 05 : Teneurs en polyphénols des légumes secs cuits et des eaux de cuisson..... 23
Figure 06 : Teneurs en flavonoïdes des légumes secs cuits et des eaux de cuisson..... 24
Figure 07 : Teneurs en tannins des légumes secs cuits et des eaux de cuisson 26
Figure 08 : Teneurs en caroténoïdes des légumes secs cuits 27
Figure 09 : Teneurs en caroténoïdes des eaux de cuisson 28
Figure 10 : Pouvoir réducteur des légumes secs cuits et des eaux de cuisson 29
Figure 11 : Réduction du radical DPPH par les légumes secs cuits 30
Figure 12 : Réduction du radical DPPH par les eaux de cuisson 31

Liste des tableaux

Tableau I : Principaux pays producteurs de légumineuses secs..... 9
Tableau II : Noms, provenances, temps de cuisson et photographies des légumes secs analysés 17

Sommaire

Sommaire

Introduction **1**

Partie théorique

Chapitre I : Radicaux libres et antioxydants

I- Radicaux libres **2**
1. Définition d'un radical libre 2
2. Sources de radicaux libres 2
2.1. Endogène 3
2.2. Exogène 3
3. Cible des radicaux libres 3
II- Antioxydants **4**
1. Définition 4
2. Différents types d'antioxydants d'origine végétale 4
2.1. Composés phénoliques 5
2.1.1. Flavonoïdes 5
2.1.2. Tannins 5
2.2. Caroténoïdes 6
3. Rôles des antioxydants 6
4. Effet de la cuisson sur les antioxydants 7
4.1. Effet de la cuisson sur les polyphénols 8
4.2. Effet de la cuisson sur les caroténoïdes 8

Chapitre II : Légumes secs

1. Généralités sur les légumes secs 9
2. Valeur nutritive légumes secs 10
3. Bienfaits des légumes secs 11
4. Description de quelques légumes secs 12
4.1. Fèves 12
4.2. Haricots 13
4.3. Lentilles 13
4.4. Pois chiches 14
4.5. Petits pois 15

Partie pratique

Matériel et méthodes

1. Echantillons de légumes secs 16
2. Test d'humidité 16
3. Extraction et dosage des antioxydants 17
    3.1. Extraction des composés phénoliques 17
    3.2. Dosage des composés phénoliques 18
        3.2.1. Composés phénoliques totaux 18
        3.2.2. Flavonoïdes 18
        3.2.3. Tannins 18
    3.3. Extraction et dosage des caroténoïdes 19
4. Détermination de l'activité antioxydante 19
    4.1. Pouvoir réducteur 19
    4.2. Réduction du radical DPPH 20
5. Étude statistique 20

Résultats et discussions

1. Humidité 21
2. Teneurs en antioxydants 22
    2.1. Composés phénoliques totaux 22
    2.2. Flavonoïdes 24
    2.3. Tannins 25
    2.4. Caroténoïdes 26
3. Activité antioxydante 28
    3.1. Pouvoir réducteur 28
    3.2. Réduction du radical DPPH 29

Conclusion 33

Références bibliographiques 34

Annexe

Introduction

Introduction

La molécule d'oxygène est indispensable à la vie des organismes supérieurs puisque c'est la respiration qui permet aux plantes et aux animaux de produire l'énergie nécessaire à la croissance et au métabolisme cellulaire. En effet, toute réaction impliquant l'oxygène et un système réducteur de transfert d'électrons et qui est susceptible de libérer des radicaux libres. La formation de ces derniers, n'est pas seulement à l'origine des dommages de molécules biologiques, mais également de nombreuses pathologies telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires etc. (Favier, 2003).

Face à la production permanente de ces radicaux libres, les organismes vivants sont doués de systèmes de défense qui les protègent des effets néfastes de ces espèces réactives. Lors d'un déséquilibre entre les systèmes oxydants et les capacités antioxydantes d'un organisme, un stresse oxydant est engendré. Pour se protéger au mieux des radicaux libres, les systèmes antioxydants endogènes sont renforcés par de nombreux antioxydants alimentaires (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamine C et E, etc.) qui sont présents principalement dans les fruits et légumes (Fontaine *et al.*, 2002 ; Favier, 2003).

Les légumes secs sont des végétaux qui, par leurs intérêts agronomique, alimentaire et écologique, se trouvent actuellement au centre des préoccupations des instances internationales (Lazrek-Ben Friha, 2008). Les légumes secs représentent une source précieuse de nombreux d'antioxydants tels que les polyphénols, les acides phénoliques, les flavanols, les anthocyanines, les tannins condensés, les caroténoïdes et l'acide ascorbique (Adsule et Kadam, 1989 ; Amarowicz et Pegg, 2008).

La présente étude comporte deux parties, la première porte sur une mise au point bibliographique du système de défense antioxydant après avoir rappelé quelques généralités sur les radicaux libres et le stress oxydatif, en suite, une description générale des légumes secs et leurs bienfaits. La deuxième partie de ce travail est consacrée à l'évaluation quantitative des antioxydants (composés phénoliques, flavonoïdes, tannins et caroténoïdes) de cinq légumes secs cuits (fève, haricot, lentille, pois chiche et petit pois), ainsi que la mesure de leurs activités antioxydantes.

Partie théorique

Chapitre I :
Radicaux libres et antioxydants

Chapitre I : Radicaux libres et antioxydants

I- Radicaux libres

1. Définition d'un radical libre

Les radicaux libres sont des atomes ou groupes d'atomes ayant un nombre impair d'électrons sur leur couche périphérique. Ils peuvent se former lorsque l'oxygène interagit avec certaines molécules. Très instables, ils réagissent rapidement avec les autres composants pour capturer l'électron qui leur est nécessaire pour acquérir de la stabilité (Begué-Simon et Tanguy, 2009).

2. Sources de radicaux libres

De nombreux radicaux libres sont impliqués dans le stress oxydatif, les principaux sont l'anion superoxyde ($O_2°^-$), le radical hydroxyle (HO°), l'oxygène singulet (O_2^1) et le radical peroxyle (ROO°). La relation qui existe entre les principaux radicaux libres est montrée dans la figure 01. Ces différentes molécules radicalaires peuvent avoir deux origines : endogène et exogène.

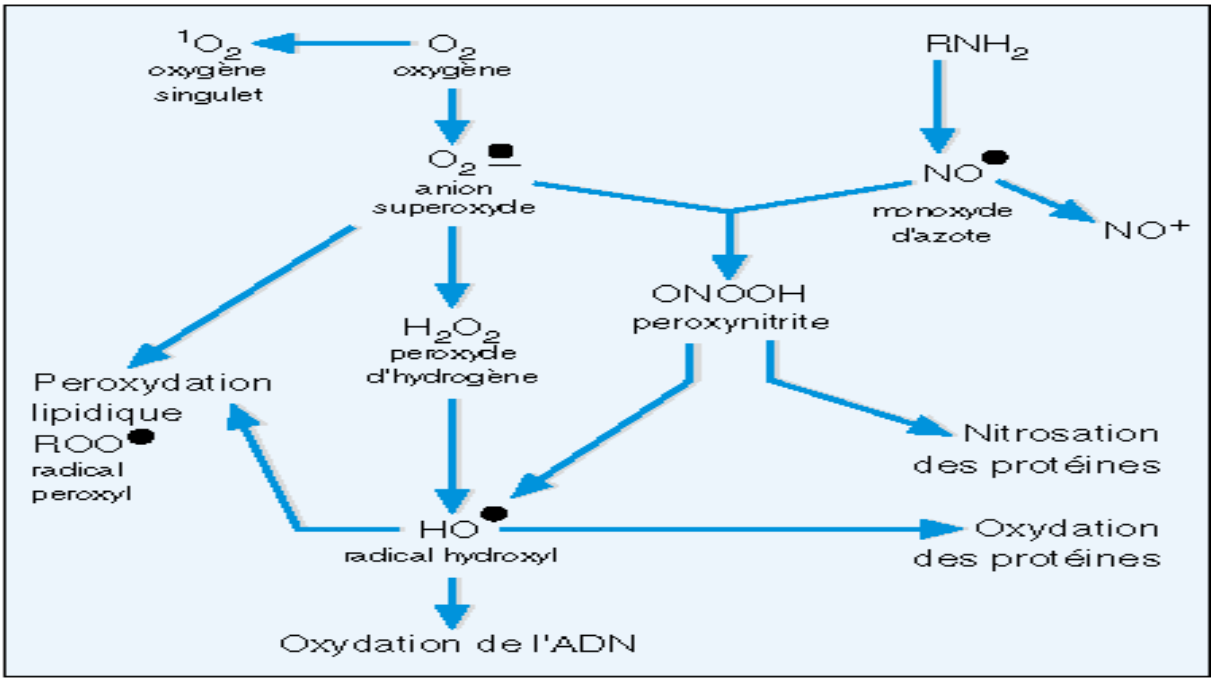

Figure 1 : Relation entre les principaux radicaux libres (Favier, 1997).

2.1. Endogène

Les radicaux libres sont produits par divers mécanismes physiologiques car ils sont utiles pour l'organisme à des doses raisonnables. Cette production physiologique est parfaitement maitrisée par des systèmes de défenses (Favier, 2003).

De nombreux systèmes enzymatiques cellulaires sont capables de générer ces espèces réactives de l'oxygène (ERO) tels que la NAD(P)H oxydases, la xanthine-oxydase, cyclooxygenases, lipooxygenases etc. (Salvayre *et al.,* 2003). Au niveau des mitochondries, l'oxygène est réduit à 95 % en eau, mais les 5% restants s'échappent à ce système et forment des radicaux libres (Mabile *et al.,* 1997).

2.2. Exogène

Les espèces réactives de l'oxygène peuvent avoir une origine exogène suite à plusieurs facteurs : *rayonnements* : sont capables de générer des ERO soit en scindant la molécule d'H_2O lorsqu'il s'agit des rayons ionisants (x, δ ou α), soit en activant des molécules photo-sensibilisantes lorsqu'il s'agit des rayons UV qui vont par ce mécanisme produire des superoxyde ($O_2^{\bullet-}$) et l'oxygène singulet O_2^1 (Myara, 2002) ; *Fumée de cigarette* : qui est un mélange complexe de plusieurs produits chimiques (Yong-ki *et al.,* 2003) ; quelques médicaments ; l'effort physique, etc. (Velrath, 2003).

3. Cible des radicaux libres

Les cibles des radicaux libres sont multiples, l'action sur les protéines provoque des modifications de la structure primaire, secondaire et tertiaire (Pencemail *et al.,* 1999). Les radicaux libres peuvent aussi entrainer la peroxydation des lipides et principalement leur acide gras polyinsaturés qui sont la cible privilégiée de l'attaque par le radical hydroxyle (Favier, 2003). Ils peuvent induire des effets mutagènes de l'ADN, ils agissent en provoquant des altérations de bases azotés, des pontages ADN-protéine ou des ruptures de brins (Hadi, 2004).

La surproduction des radicaux libres est à l'origine du phénomène du stress oxydatif. Ce dernier est la principale cause initiale de très nombreuses maladies telles que le cancer,

la cataracte, sclérose latérale amyotrophique, vieillissement accéléré, maladie d'Alzheimer, problèmes cardiaques (Favier, 2003), maladies de parkinson, les inflammations gastro-intestinales et les ulcères (Atawodi, 2005).

II- Antioxydants

1. Définition

Un antioxydant est toute substance qui, présente à faible concentration comparée à celle du substrat oxydable, retarde ou prévient de manière significative l'oxydation de ce substrat. Divers antioxydants sont synthétisés par les plantes telles que les vitamines E et C, les caroténoïdes et les polyphénols. Ces composés sont des métabolites secondaires qui sont impliqués à la fois dans la qualité nutritionnelle (Tomás-Barberán et Espín, 2001) et sensorielle des fruits et des légumes (Drewnowski et Gomez-Carneros, 2000 ; Lesschaeve et Noble, 2005). Ces composés réagissent avec les radicaux libres, et minimisent la détérioration de biomolécules du corps humain (Rice-Evans *et al.*,1996 ; Bagchi *et al.*, 2000).

Une des caractéristiques de ces métabolites est de montrer une répartition très inégale chez les différentes espèces végétales et, pour une même espèce, selon la variété et le stade de développement physiologique ; les variations sont également considérables selon la nature des tissus et des cellules composant le végétal (Jiménez-Monreal *et al.,* 2009).

2. Différents types d'antioxydants d'origine végétale

Les antioxydants d'origines végétale se diversifient dans leurs natures et structures. Les composés antioxydants les plus abondants dans les plantes sont les composés phénoliques avec ces diverses classes et sous-classes (flavonoïdes, anthocyanines, tannins etc.), les caroténoïdes, les vitamines antioxydantes : vitamines E et C etc.

2.1. Composés phénoliques

Le terme composés phénoliques, avec plus de 8000 structures phénoliques identifiées, englobe une grande variété de substances possédant un ou plusieurs noyaux aromatiques, substitués par un ou plusieurs groupement hydroxyles (Charrière, 1991 ; Urquiaga et Leighton, 2000). La structure des composés phénoliques naturels varie depuis les molécules simples (acides phénoliques simples) vers les molécules les plus hautement polymérisées (tannins condensés) (Urquiaga et Leighton, 2000 ; Macheix *et al*., 2005).

2.1.1. Flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent un groupe de composés naturels très important. Ils sont présents dans toutes les plantes vasculaires et plus de 4000 structures sont identifiées. Ils sont responsables des couleurs variées des plantes et des fruits. Ils font partie de l'alimentation et leur absorption journalière est estimée à environ un gramme (Hertog *et al.,* 1993).

Les flavonoïdes ont de nombreux effets bénéfiques sur la santé humaine, ils agissent comme des antioxydants en raison de leur capacité à agir contre un large éventail de cations en utilisant leurs groupements hydroxyles (Shaghaghi *et al.,* 2008). Ces composés sont dotés d'activités antiinflammatoires, vasodilatatoires, cardioprotectrices, neuroprotectrices et oestrogéniques (Harborne et Williams, 2000).

2.1.2. Tannins

Les tannins sont des composés phénoliques polaires d'origine végétale (Berthod *et al.,* 1999), et de masse molaire comprise entre 500 et 3000 Da, capables de précipiter les alcaloïdes et les protéines (Heslam, 1998 ; Maury *et al.,* 2001). Leur structure complexe est formée d'unités répétitives monomériques qui varient par leurs centres asymétriques et leur degré d'oxydation (Hemingway, 1992).

Les tannins, qu'il s'agisse de tannins hydrolysables, de tannins condensés ou de leurs dérivés, sont les principaux composés phénoliques responsables de l'astringence. La présence de plusieurs noyaux phénoliques dans une molécule de tannin lui permet d'être

soluble (Sarni-Manchado et Cheynier, 2002). Leurs principales sources sont les lentilles, les haricots, le thé et le raisin.

2.2. Caroténoïdes

Les caroténoïdes, appelés aussi lipochromes, sont des hydrocarbures bio-synthétiser à partir de huit unités d'isoprène C5 et, également, ont un squelette de 40 carbones (Rodŕýguez-Amaya, 2001). Ils sont les responsables de la couleur jaune, orange ou la couleur rouge d'un grand nombre de plantes et de produits alimentaires à base de ces derniers, cette couleur est le résultat de la présence d'un système conjugué de doubles liaisons dans les molécules et qui peut être parfois masquée par la présence de la chlorophylle (Brown *et al.,* 1999).

Les caroténoïdes sont synthétisés principalement par les plantes, et ils sont généralement présents sous forme d'un mélange complexe, ils sont très solubles dans les solvants apolaires, mais pas dans l'eau. Beaucoup d'entre eux sont des précurseurs de la vitamine A. Ils sont très sensibles à l'oxygène et à la lumière (Nonier *et al.,* 2004). Ils sont présents dans les fruits et légumes jaunes et rouges, et ils sont très abondants dans les carottes, pêches, mangues, mais peuvent aussi être retrouvés dans des légumes à feuilles vertes (Begué-Simon et Tanguy, 2009).

3. Rôles des antioxydants

Les antioxydants naturels sont considérés comme des agents prophylactiques et thérapeutiques (Weiss et Landauer, 2003), car ils contribuent dans la lutte contre les cancers, les diverses pathologies (Blasko et Cordell, 1998) et le stress oxydatif (Tanguy et Begué-Simon, 2009).

Cette propriété est due à leur capacité à piéger les radicaux libres en excès, ils évitent ainsi une oxydation de molécules organiques (Depezay, 2007). Ils réduisent également le risque de plusieurs maladies chroniques et dégénératives. Les flavonoïdes jouent un rôle de chélateurs de métaux, piégeurs d'anions superoxydes et comme donneurs d'hydrogène.

Les antioxydants peuvent agir ensemble plus efficacement que séparément parce qu'ils fonctionnent synergiquement et sont capables de neutraliser les radicaux libres dans des phases aqueuses et lipidique (Ohr 2004 ; Trombino *et al.,* 2004). L'acide ascorbique est un désactivateur de l'oxygène singulet, il élimine aussi l'oxygène moléculaire, il est aussi un donneur d'hydrogène aux radicaux lipidiques et aux radicaux tocophéroxyles pour régénérer le tocophérol.

4. Effet de la cuisson sur les antioxydants

Différentes méthodes sont utilisées dans la cuisson des aliments tels que l'ébullition, les micro-ondes ou la friture etc. Ces procédés de cuisson entraînent de nombreux changements dans les caractéristiques physiques ainsi que la composition chimique de l'aliment. Beaucoup d'études ont montré que les diverses méthodes de cuisson touchent le contenu en composés photochimiques, en particulier, les antioxydants présents dans les légumes (Ismail *et al.,* 2004 ; Zhang et Hamauzu, 2004 ; Turkmène *et al,.* 2005).

La sensibilité des antioxydants à la cuisson varie suivant plusieurs facteurs (Jiménez-Monreal *et al.,* 2009). Ces variations dépendent des légumes eux-mêmes, la biodisponibilité des composés phénoliques (Sultana *et al.,* 2007), la méthode de cuisson (Lin et Chang, 2005), la température, la localisation des antioxydant dans les légumes (Makris et Rossiter, 2001 ; Gliszczyńska-Świgło *et al.,* 2006), la taille des particules (Tabart *et al.,* 2007) et la stabilité de la structure des antioxydants à la chaleur (Prasad *et al.,* 1996 ; Pedraza-Chaverrí *et al.,* 2006).

Dans le cas de la cuisson sous pression ou l'ébullition (au-dessus de 95°C) une décomposition d'antioxydants des légumes a été notée (Hunter et Fletcher, 2002)**,** et un phénomène de lixiviation a été également observé, ce qui conduit à des pertes en ces composés au cour de la cuisson et leur libération vers le milieu éxtérieur (Chu *et al.,* 2000 ; Podşedek, 2007 ; Bunea *et al.,* 2008).

4.1. Effet de la cuisson sur les polyphénols

Bressani et Elias (1980) ont observé qu'environ 30 à 40% des composés phénoliques des haricots pourraient être libérés dans les eaux de cuisson. Cela est dû, d'une part, à la rupture des particules et des cellules et libération des polyphénols et d'une autre part, à la dissociation des ces composés qui étaient liés aux autres macromolécules tels que les parois cellulaires et les complexes glucidiques.

4.2. Effet de la cuisson sur les caroténoïdes

Les des caroténoïdes sont facilement dégradés en présence de la lumière et de la température élevée (Marty et Berset, 1988 ; Minguez-Mosquera et Jaren-Galan, 1995). Lors de la cuisson une réduction de la concentration des caroténoïdes a été observée à la fois dans les échantillons bouillis et sautés (Rodŕýguez-Amaya, 2004), mais les concentrations de caroténoïdes dans les légumes sont toujours supérieurs à celles des eaux de cuisson, ce qui signifie qu'ils sont mieux retenus (Zhang et Hamauzu, 2004).

En réalité, la cuisson ramollit les téguments et les parois des cellules ce qui facilite la libération des caroténoïdes (Rodŕýguez-Amaya, 1999). Cela a été bien documenté notamment pour le lycopène, plus biodisponible dans la purée de tomate cuite que dans la tomate crue (Shi et Le Maguer, 2000).

Chapitre II : Légumineuses

Chapitre II : Légumes secs

1. Généralités sur les légumes secs

Les légumineuses occupent la deuxième place, après les céréales, pour les terres cultivées et la production. En 2004, plus de 300 millions de tonnes de légumineuses à graines ont été produites sur une superficie de 190 millions d'hectares, soit 13% des terres cultivées selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) (Lezek-Ben-Friha, 2008). Le tableau I résume les productions des légumes secs par les dix premiers pays producteurs au monde. La production mondiale totale en 2010 est estimée à 4 312 871 tonnes pour les fèves sèches, 23 230 034 tonnes pour les haricots secs, 10 918 081 tonnes pour les pois chiches, 10 208 812 tonnes pour les pois secs et à 4 585 439 tonnes pour les lentilles (FAO, 2012).

Tableau I : Principaux pays producteurs de légumineuses secs (FAO, 2012)

N°	Pays	Production (1000 Tonnes)	N°	Pays	Production (1000 Tonnes)
01	Inde	17110	06	États-Unis d'Amérique	2634
02	Canada	5192	07	Nigéria	2290
03	Chine	4471	08	Australie	1901
04	Myanmar	4390	09	Éthiopie	1806
05	Brésil	3229	10	Niger	1804

Les légumes secs constituent une part importante de l'alimentation humaine, particulièrement dans les pays en développement où ils sont la principale source de protéines pour l'homme. Citons le haricot en Amérique Latine, le pois chiche, la lentille et la fève dans le bassin méditerranéen et le pois dans le monde entier (Lezek-Ben-Friha, 2008). En plus, ces légumes, sont utilisées pour l'alimentation animale (Agustin *et al.,* 1989 ; Vidal-Valverde *et al.,* 2002).

La famille des légumineuses compte environ 20 000 espèces (Gepts *et al.,* 2005). La sous famille des Papilionoideae regroupe les espèces cultivées les plus importantes économiquement tel que le haricot (*Phaseolus vulgaris*), le petit pois (*Pisum sativum*), le pois chiche (*Cicer arietinum*), et la fève (*Vicia faba*). La classification des légumineuses de la famille des Papilionoideae est montrée dans la figure 02.

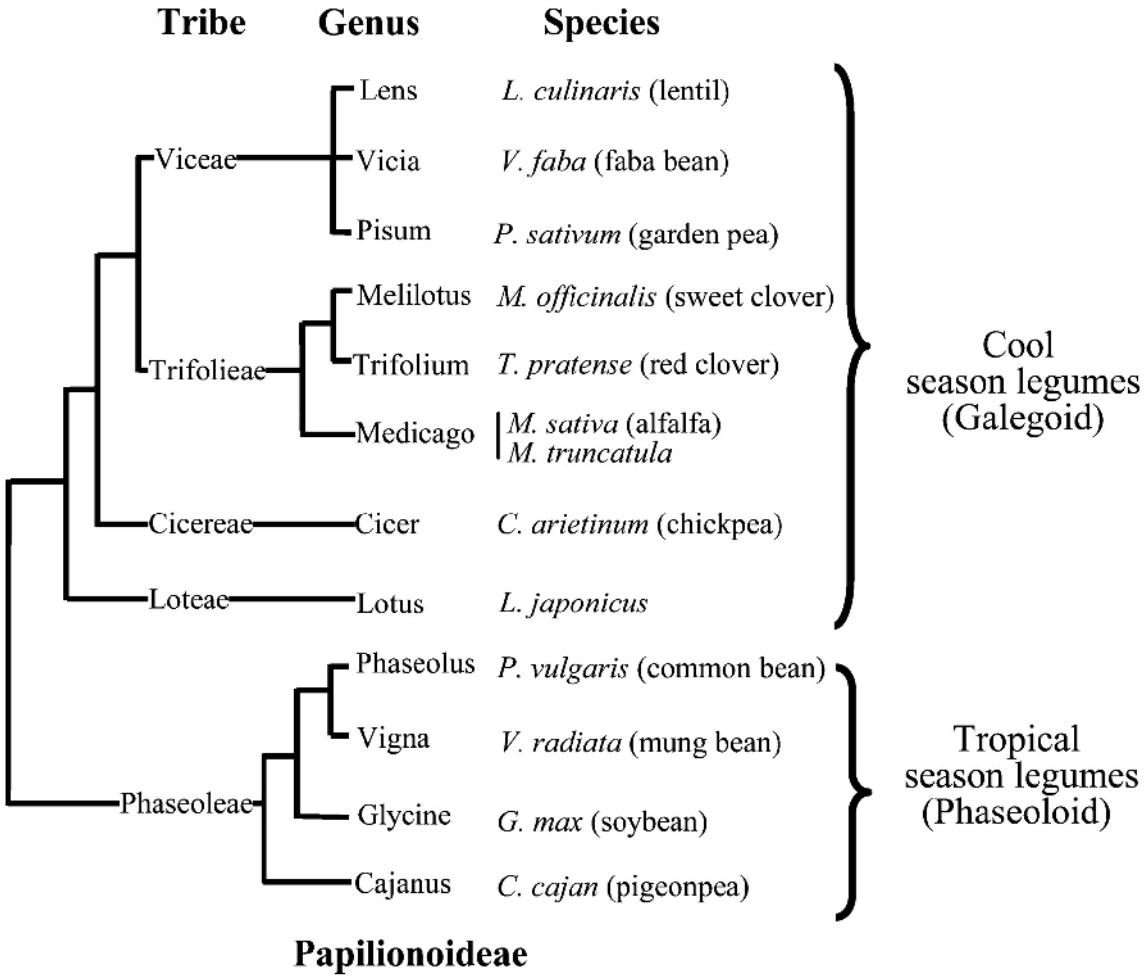

Figure 02: Classification des légumineuses de la famille des Papilionoideae (Choi *et al.*, 2004).

2. Valeur nutritive des légumes secs

Les graines de légumes secs sont plus riches en protéines et moins riches en glucides que celles de céréales. légumes secs sont une source de composés diversifiés, tels que les fibres, les protéines, l'amidon, les minéraux et de nombreux composés phytochimiques (Dillard et German, 2000 ; Cho *et al.,* 2007 ; Amarowicz et Pegg, 2008).

Ils sont également une source précieuse d'antioxydants, comme les caroténoïdes (Adsule *et al.,* 1989), les polyphénols particulièrement les acides phénoliques et les tannins condensés, les flavanols, les anthocyanines et les anthocyanidines (Amarowicz et Pegg, 2008) qui sont considérés comme étant des composés bioactifs bénéfiques à la santé humaine (De Pascual *et al.,* 2000 ; Dueñas *et al.,* 2002, 2004).

Les légumes secs renferment de glucides complexes qui font d'eux une forte source de valeur énergétique et ils contiennent aussi des quantités importantes de vitamines (Morrow, 1991 ; Nielsen, 1991 ; Tharanathan et Mahadevamma, 2003).

Les couches des graines des légumes secs sont riches en antioxydants particulièrememt les polyphénols qui pourraient remplacer les antioxydants de synthèse (Ronzio *et al.,* 1998 ; Moise *et al.,* 2005). La composition chimique des graines de légumineuses est connue pour être significativement affectée par différents procédés technologiques (Porres *et al.,* 2005 ; Dave Oomah *et al.,* 2011).

Les teneurs en antioxydants des légumes secs varient considérablement selon les espèces et de la variété, l'épaisseur du tégument et la durée et les conditions du processus de trempage (température, pH). En outre, les pertes considérables de matière sèche qui peuvent avoir lieu comme une conséquence de la transformation peut avoir un effet compensatoire sur la perte de certains éléments nutritifs, qui pourrait même présenter des concentrations plus élevées à l'égard de ceux qui sont trouvés dans la graine non traitée (Luo *et al.,* 2009).

3. Bienfaits des légumes secs

Vu leur richesse en nombreux composés chimiques, les légumes secs ont plusieurs effets bénéfiques pour la santé :

- Source de substances phytochimiques hydrophiles tels que l'acide ascorbique, les acides phénoliques et polyphénols, antioxydants associés à une amélioration de la fonctionnalité du système immunitaire et réduction des risques de cancer, et peuvent aussi empêcher le développement de nombreuses autres maladies comme l'athérosclérose (Formica et Regelson, 1995 ; Kupulainen et Salonen, 1996).

- Source de substances phytochimiques lipophiles, tels que les caroténoïdes et les tocophérols, qui peuvent prévenir le risque de maladies cardio-vasculaires et certaines pathologies oculaires (Dillard et German, 2000 ; Cho *et al.,* 2007).
- Une source de fibres qui jouent un rôle bénéfique sur la fonction intestinale. Les fibres qui les composent sont surtout de la cellulose et de la lignine qui sont des fibres insolubles et ont la capacité d'absorber une grande quantité d'eau. Elles restent alors en suspension, augmentant ainsi le poids et le volume des selles. Parfaites pour les intestins paresseux, ces fibres ont aussi un rôle de prévention contre des pathologies du côlon. Elles ont aussi une action protectrice sur les lipides sanguins (Anonymat 1).
- Le sélénium, quant à lui, joue son rôle d'antioxydant et lutte contre le vieillissement prématuré. Des études ont montré que la consommation des légumes secs contenant le sélénium tels que les haricots et les lentilles a été liée à une incidence plus faible du cancer de sein (Adebamowo *et al.,* 2005).
- La teneur en magnésium : Les légumes secs font partie des aliments les plus riches en ce minéral, essentiel dans grand nombre de processus physiologiques.
- Les vitamines : principalement de la famille des vitamines B qui permet de répondre aux besoins musculaires et cérébraux.
- Les protéines : Les légumes secs sont considérées comme source de protéines. Leur valeur biologique est amoindrie par un manque de certains acides aminés (anonyme 1).

4. Description de quelques légumineuses

4.1. Fèves

La fève (*Vicia faba* L.) est l'espèce la plus cultivée des légumineuses dans le monde. C'est une source considérable d'énergie avec 344 kcal/100g, et sa teneur en protéines varie de 22 à 36% (Bond *et al.,* 1985) et elle est considérée comme un bon substitut de protéines animales dans les pays pauvres (Chaieb *et al.,* 2011). La chine est le plus grand pays producteur des fèves (environ 1700000 Tonnes) suivi par l'Éthiopie (FAO, 2012).

Cette légumineuse est une très bonne source de polyphénols (Vioque *et al.,* 2012). Ces dernières, en particulier les flavonoïdes, sont reconnus comme des composants alimentaires avec des propriétés protectrices contre de nombreuses maladies qui sont assurées par leur activités antioxydantes (Ramos, 2007 ; Saura-Calixto et Goni, 2009).

4.2. Haricots

Le genre *Phaseolus*, comprend environ 70 espèces. Avec 85% des terres cultivées, l'espèce d'haricot commun *(Phaseolus vulgaris* L.) est la plus cultivée du genre *Phaseolus* au monde. Cette légumineuse est consommée sous forme de gousses d'haricot vert ou de graine d'haricot sec (Tasuda *et al.,* 1994 ; Singh, 1999 ; Takeoka *et al.,* 2003). Le Brésil est le plus grand producteur des haricots (environ 3202000 tonnes) suivi par la Birmanie (FAO, 2012).

L'haricot est une source peu coûteuse et riche en protéines (1,3 g), en glucides (3,1g), en fibres alimentaires (2,5 g), en minéraux et en vitamines, destiné pour la consommation par des millions de personnes dans les pays développés et en développement (Rehman *et al.,* 2001).

L'haricot commun sec contient une large gamme de flavonoïdes comprenant les flavonols et leurs glycosides, les anthocyanines, les proanthocyanidines et les isoflavones, ainsi que certains acides phénoliques qui présentent des propriétés antioxydantes très bénéfiques (Takeoka *et al.,* 1997 ; Choung *et al.,* 2003 ; Aparicio-Fernades *et al.,* 2006)

4.3. Lentilles

Les lentilles (*Lens culinaris*) se retrouvent parmi les principaux produits alimentaires cultivées dans de nombreuses parties du monde (Cubero, 1981 ; Erskine *et al.,* 2011). Leur première production été cultivée au Proche-Orient il y a plus de 8500 ans et s'est depuis propagée à la Méditerranée, certaines régions d'Asie et à ensuite a été introduite en Amérique du Nord dans les années 1900 (Oplinger *et al.,* 1990). La lentille est produite dans plus de 48 pays, les dix premiers pays producteurs ont récolté, en 2010, environ 95% de la production mondiale**.** Le Canada est en tête de la production mondiale (environ 1947000 tonnes) suivi par l'Inde (FAO, 2012).

Les lentilles sont riches en antioxydants : les tannins (Vidal-Valverde *et al.,* 1994), la catéchine et les procyanidines (Auger *et al.,* 2004), ainsi que les flavonoïdes, tels que les glycosides de flavonols et les flavones, qui ont été identifiés dans le tégument de la graine (Dueñas *et al.,* 2002, 2003), bien que ce dernier ne représente qu'un faible pourcentage du poids des grains entier (8% à 11%) (Dueñas *et al.,* 2006).

La lentille est riche en protéines particulièrement riches en lysine et la leucine, faible en gras, et est une excellente source de fibres alimentaires et de glucides complexes. Elles contiennent également des vitamines et des minéraux tels que les vitamines B, calcium, phosphore et potassium, ainsi que l'acide oléique, linoléique et palmitique (Anonymat 2).

4.4. Pois chiches

Le pois chiche (*Cicer arietinum*) est l'un des premiers légumes cultivés dans le monde, ils proviendraient du Moyen-Orient il y a environ 7450 années (Maiti et Wesche-Ebeling, 2001). Le pois chiche est cultivé dans les régions tempérées et semi-arides comme l'Asie, l'Europe, l'Australie et l'Amérique du Nord (Roy et Boye, 2010). L'Inde est le plus grand pays producteur des pois chiches (environ 7480000 tonnes) suivi par l'Australie (FAO, 2012).

Le pois chiche est une bonne source de protéines alimentaires en raison de sa composition bien équilibrée en acides aminés (Yust *et al.,* 2003), il a été associé à la prévention des maladies cardio-vasculaires, la régulation du diabète de type 2 et de l'abaissement du LDL cholestérol. Il contient des fibres alimentaires insolubles qui sont associées à une réduction de l'incidence du cancer du côlon, tandis que les fibres solubles ont été démontré avoir un effet sur la perte de poids (Anonyme 2). Les avantages nutritionnels des pois chiches ont conduit à son utilisation dans diverses applications culinaires telles que l'houmous. En outre, le pois chiche est utilisé dans les ragoûts, soupes et salades, et peut être transformé en farine (Roy et Boye, 2010).

4.5. Petits pois

Le petit pois sec (*Pisum sativum* L.) est une légumineuse de la saison fraîche, qui est cultivé sur plus de 6,7 millions d'hectares à travers le monde (Anonyma 2). Le pois sec est parmi les plus anciennes cultures du monde, il a été cultivé au Moyen-Orient il y a environ 9000 ans. En outre, il a été récolté en Europe il y a plusieurs milliers d'années (Goodwin, 2003a ; Goodwin, 2003b). Le Canada est le plus grand pays producteur des petits pois (environ 2862000 tonnes) suivi par la Russie (FAO, 2012).

Les petits pois ont une composition nutritionnelle bénéfique grâce à la présence de macronutriments, de vitamines B, d'acide folique et des minéraux comme le calcium, le fer et le potassium (Roy et Boye, 2010), ils ont une faible teneur en matières grasses, sont riches en fibres et en protéines (5 g et 4,4 g respectivement) (NFA, 2002), et ils contiennent de l'amidon avec un faible indice glycémique (Foster-Powell et Miller, 1995). Les micronutriments des pois les plus importants sont : les carotènes, la thiamine, la riboflavine et, par rapport à d'autres légumes, les pois sont riche en fer (NFA, 2002). Ils renferment d'autres antioxydants tels que les flavonols et les flavones glycosidés et certains composés hydroxybenzoïques et hydroxycinnamiques qui se localisent dans le tégument de la graine de petits pois (Troszynska *et al.,* 2002).

En outre, une alimentation riche en pois secs a été démontré pour être efficace dans la réduction de l'incidence du cancer du côlon, diabète de type 2, le LDL-cholestérol et les maladies cardiaques (Anonyme 02).

Partie pratique

Matériel et méthodes

Matériel et méthodes

1. Echantillons de légumes secs

Cinq variétés de légumes secs (fève, haricot, lentille, pois chiche et petit pois) ont été choisies pour être l'objet de cette étude. Les échantillons pèsent environ 500 g chacun, leurs provenances, photographies ainsi que les temps de cuisson sont indiqués dans le tableau II.

Une quantité de 50 g de chaque échantillon a été trempé toute une nuit dans l'eau pour le ramollissement de leur peau et réduire ainsi le temps de cuisson. La cuisson est réalisée par ébullition dans 250 ml d'eau de robinet. La cuisson est poursuivie jusqu'à cuisson complète des légumes. Après les avoir séparé des eaux de cuissons, les graines sont broyées à l'aide d'un broyeur électrique. Les broyats des graines ainsi que les eaux de cuisson ont subit les même protocoles d'extraction et de dosage des différents antioxydants et la mesure de l'activité antioxydante.

2. Test d'humidité

Trois gramme du broyat ou d'eau de cuisson de chaque échantillon sont mis à l'étuve à 103°C pendant 24 heures (Bergoin, 2005). Les résultats des taux d'humidité sont donnés en pourcentages suivant la formule suivante :

$$TH(\%) = \frac{m_0 - m_s}{m_0} \times 100$$

TH : Taux d'humidité en pourcentage

m_0: Masse avant séchage

m_s: Masse après séchage

Tableau II: Noms, provenances, temps de cuisson et photographies des légumes secs analysés

Nom commun	Nom scientifique	Provenance	Temps de cuisson (min)	Photographies
Fève	*Vicia faba*	Algérie	40	
Haricot	*Phaseolus vulgaris*	Argentine	42	
Lentille	*Lens culinaris*	Canada	30	
Pois-chiche	*Cicer arietinum*	Mexique	32	
Petit-pois	*Pisum sativum*	Canada	50	

3. Extraction et dosage des antioxydants

3.1. Extraction des composés phénoliques

L'extraction des composés phénoliques a été effectuée en utilisant le procédé décrit par Mau *et al.* (2005). Cinquante gramme de graines cuites sont broyés, une aliquote de 1,5 g du broyat sont extraite avec 30 ml d'éthanol 80 % (v/v). Un volume de 24 ml d'éthanol pure est ajouté à un volume de 6 ml d'eau de cuisson pour avoir au final un mélange éthanol/eau de 80% (v/v). Les mélanges sont extraits sous agitation magnétiques pendant une heure. Les extraits sont récupérés par centrifugation à 4000 rpm pendant 10 min puis conservés au frais dans des tubes en verres.

3.2. Dosage des composés phénoliques

3.2.1. Composés phénoliques totaux

Le dosage des composés phénoliques a été réalisé suivant la méthode de Singleton *et al.* (1999). Le réactif Folin-Ciocalteu a été utilisé pendant de nombreuses années pour la mesure des composés phénoliques totaux dans les produits naturels, le principe est une réaction d'oxydoréduction entre le réactif et les composés phénoliques (Prior *et al*. 2005).

400µl d'extrait sont additionnés à 750µl du réactif de Folin-Ciocalteu. Après 3 minutes, 400µl de carbonate de sodium sont ajoutés. L'absorbance est mesurée au spectrophotomètre à 760nm après 90min d'incubation à température ambiante. Les concentrations en composés phénoliques sont déterminées en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique (annexe, figure 01). Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique (EAG) par 100g matière sèche (MS).

3.2.2. Flavonoïdes

La méthode de chlorure d'aluminium de Luximon-Ramma *et al.* (2005) a été adoptée pour la détermination des flavonoïdes totaux et qui est basée sur la formation d'un complexe flavonoïde-aluminium.

A 1ml de chaque extrait est ajouté 1ml de chlorure d'aluminium ($AlCl_3$, 2% dans le méthanol). Après 15 min d'incubation, l'absorbance est lue à 430 nm. Une gamme étalon est établie séparément avec la quercétine pour calculer la concentration des flavonoïdes (annexe, figure 02). Les résultats du dosage sont exprimés en mg d'équivalent de quercétine par 100g MS.

3.2.3. Tannins

La teneur des échantillons en tannins est déterminée par addition de 2ml de la solution ferresulfate 16% dans HCl butanol (v/v : 2 :3) à 0,4 ml d'extrait suivie d'une agitation au vortex. Le mélange est incubé au bain marie à la température de 95C° pendant 15mn puis l'absorbance est mesurée à 530nm. Les résultats, exprimés en mg EC/100gMS, sont calculés à partir de la loi de Beer-Lambert en utilisant la cyanidine comme standard ($\varepsilon = 34700\ l.mo^{l-}1.cm^{-1}$; PM : 287,24 g/mol).

3.3. Extraction et dosage des caroténoïdes

Les caroténoïdes ont été extraits suivant la méthode de Thompson *et al.* (2000). Cette extraction comporte deux phases : une phase apolaire (hexanique) qui permet de récupérer les caroténoïdes et une phase polaire (acétone et éthanol) pour éliminer les molécules hydrophiles. 1g de poudre et 3g d'eau de cuisson sont homogénéisé avec 20ml du solvant d'extraction hexane / acétone / éthanol (v/v : 2 :1 :1), après 30min d'agitation et après décantation des phases, la couche supérieure est récupérée. La teneur en caroténoïdes est déterminée par la mesure de l'absorbance d'extrait hexanique à 430nm. Les résultats sont exprimés en mg de β-carotène équivalent par 100g de MS (annexe, figure 03).

4. Détermination de l'activité antioxydante

4.1. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur est l'aptitude des antioxydants présents dans les extraits à réduire le fer ferrique du complexe ferricyanure-Fe^{+3} en fer ferreux. La forme réduite donne une couleur verte où l'absorbance accrue du mélange indique une augmentation de la capacité réductrice (Bűyűkokuroğlu *et al*., 2001 ; Gűlçin, 2005).

Le pouvoir réducteur de l'extrait a été déterminé selon la méthode d'Oyaizu (1986). Un ml d'extrait est additionné à 2,5 ml de solution du tampon phosphate (0,2M ; pH 6,6) et 2,5 ml de ferricyanure de potassium (1%). Le mélange est incubé à 50°C pendant 20mn, puis, 2,5ml de l'acide trichloracétique sont ajoutés. 1ml d'eau distillée est ajouté à 1ml du mélange précédant puis 0,2 ml de chlorure ferrique (0,1%) sont additionnées. La mesure d'absorbance est réalisée à 700nm. Le pouvoir réducteur est exprimé en mg EAG par 100g de matière sèche en se référant à la courbe d'étalonnage tracées par l'acide gallique (annexe, figure 04).

4.2. Réduction du radical DPPH

Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer, *in vitro* et *in vivo*, l'activité antioxydante par piégeage de radicaux, tel que le radical libre DPPH• (diphényl-picrylhydrazyle) (Sharma et Bhat, 2009).

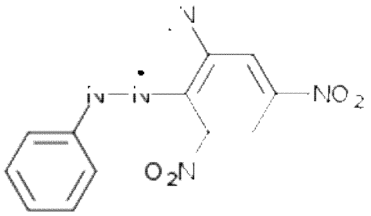

Figure 03. Structure chimique du DPPH (Ionita, 2005).

Le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est un radical libre stable colorée en violet qui en présence d'une substance qui peut donner un atome d'hydrogène (antioxydants) conduit à la formation d'une hydrazine incolore (DPPH-H) : DPPH° + AH → DPPH-H + A° (Diouf *et al.,* 2009).

La solution de DPPH ayant une concentration de 6×10^{-5}M est préparée à l'avance. 0,3ml d'extrait est mélangé avec 1ml du DPPH, après 30 min d'incubation, une mesure d'absorbance est réalisée à 515 nm (Brand-Williams *et al.,* 1995). Le résultat de l'inhibition du radical DPPH est exprimé en mg EAG par 100g de matière sèche en se référant à la courbe d'étalonnage tracées par l'acide gallique (annexe, figure 05).

5. Etude statistique

L'analyse statistique de l'ensemble des résultats est effectuée avec les logiciels STATISTICA 5.5. La comparaison des moyennes est faite avec l'analyse de la variance (ANOVA-MANOVA) est le degré de signification est prit à $p < 0,05$.

Résultats et discussion

Résultats et discussion

1. Humidité

C'est le rapport du poids perdu au cours du séchage au poids frais de l'échantillon multiplié par 100 (Bergoin, 2005). Après le séchage des légumes secs cuits, l'humidité des échantillons a donné les valeurs illustrées dans la figure 04.

Les résultats du test d'humidité montrent que les légumes secs cuits possèdent un taux d'humidité qui varie entre 66,39 % pour les lentilles et 60,11% pour les pois chiches cela est due à l'effet du trempage et de la cuisson dans l'eau, en effet, le poids de l'eau représente plus de la moitié des légumineuses cuites. Le test d'humidité pour les eaux de cuisson montre une grande teneur en eau, elle varie entre 95,29% (petits pois) à 98,68% (fèves).

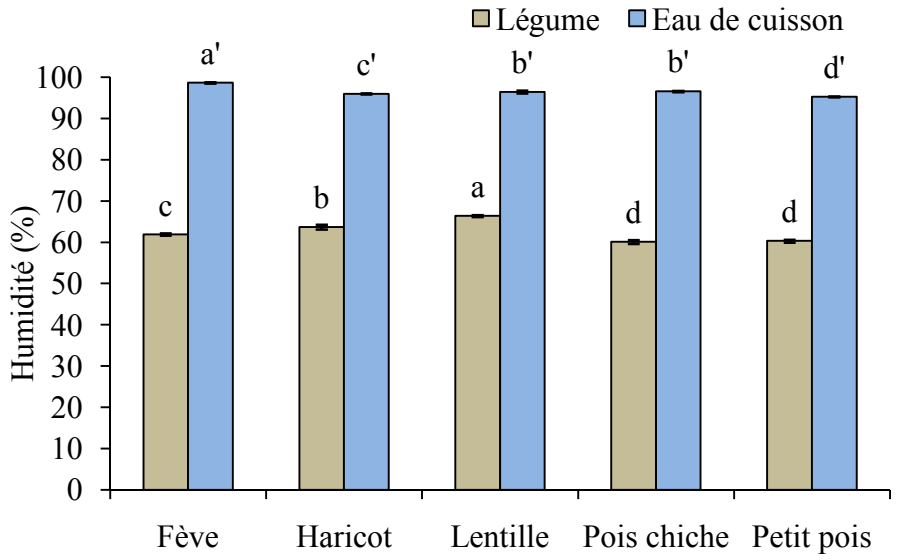

Figure 04 : Pourcentage d'humidité des légumes secs cuits et des eaux de cuisson.

Les barres verticales représentent les écart-types.

Des lettres différentes montrent des résultats différents significativement ($p<0,05$)

2. Teneurs en antioxydants

2.1. Composés phénoliques totaux

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires produits par les plantes et qui ont un rôle vital dans la croissance de ces dernières (Randhir et Shetty, 2003).

Les solvants d'extraction les plus utilisés sont : l'eau, le méthanol, l'éthanol et l'acétone, ainsi que les mélanges alcool/eau (Chu *et al.,* 2000 ; Leong et Shui, 2002 ; Martinez-Valverde *et al.,* 2002). Ces mélanges sont réalisés dans le but de trouver une certaine polarité afin d'extraire un maximum d'antioxydant.

L'analyse statistique a montré que la concentration en composées phénolique des légumes secs cuits est beaucoup plus élevée que celle des eaux de cuisson de ces derniers.

D'après la figure ci-dessous, la teneur en composés phénoliques des légumes secs cuits varie d'un type à un autre, les lentilles présentent une teneur très élevée (290,78mg/100g MS), suivie par les fèves (211,24mg/100g MS) puis par les pois chiches (113,04mg/100g MS) et les petits pois (107,74mg/100g MS) sans différance significative, les haricots viennent en dernier avec une concentration de 74,94mg/100g MS.

Le contenu phénolique des eaux de cuisson présente des variations comprise entre 11,25 et 89,08mg/100g MS. Les eaux de cuisson des lentilles présentent la plus grande quantité (89,08mg/100g MS) suivie par celles des fèves (45,97mg/100g MS). Concernant les autres légumes, ils présentent des teneurs presque équivalentes.

Par ailleurs, en considérant les légumes secs ainsi que leurs eaux de cuisson, les résultats révèlent que les teneurs en polyphénols sont importantes pour les lentilles et suivies parles fèves, les pois chiches et les petits pois ne présentent pas de différences significatives et les haricots viennent en dernier lieu.

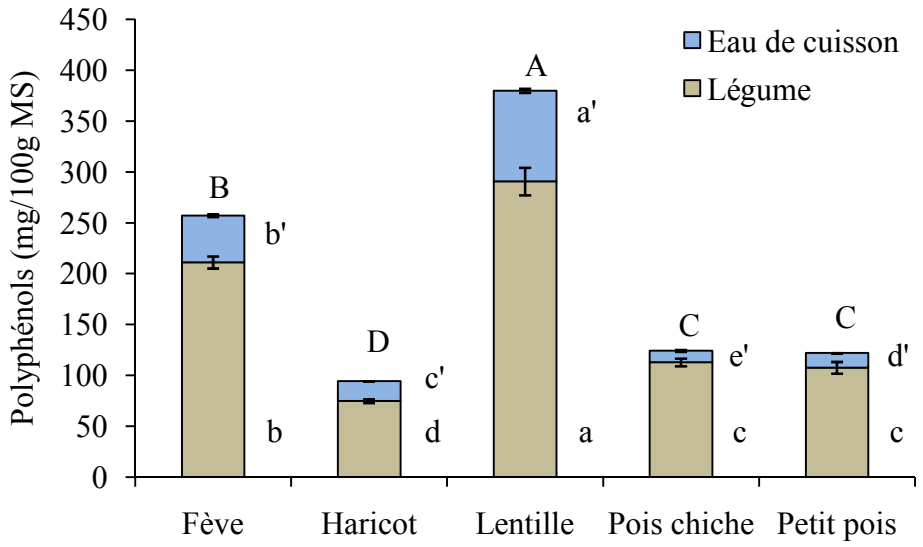

Figure 05 : Teneurs en polyphénols des légumes secs cuits et des eaux de cuisson.

Les barres verticales représentent les écart-types.

Des lettres différentes montrent des résultats différents significativement ($p<0,05$)

Des résultats cohérents on été obtenus par Dave Oomah *et al.* (2011) où ils ont indiqué que les lentilles avaient des teneurs plus élevées en composés phénoliques et les activités antioxydantes que celles des petits pois

Dueñas *et al.* (2006) ont également rapporté que les lentilles décortiquées ont eu un montant plus élevés en polyphénols totaux et une forte activité antioxydante que ceux des pois jaunes.

Sreerama *et al.,* (2012) a rapporté que les pois chiches et les haricots possèdent les quantités suivantes en composés phénoliques : 10,84mg/g et 12,16mg/g respectivement.

En général, le contenu phénolique des lentilles, des pois chiches et les petits pois obtenu dans la présente étude était à-peu-près proche des résultats observés dans l'étude réalisée par Xu *et al.,*(2007), petits pois (de 65 à 99mg EAG / 100g), les lentilles (de 486 à 960mg EAG/ g100) et les pois chiches (98mg EAG/ g100), la teneur en polyphénols des fèves est plus élevée que celle trouvée par Xu *et al.,*(2007) (85 à 100mg EAG /100g).

2.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont généralement présents sous formes glycosylées dans les végétaux, et la partie osidique est un facteur important dans la détermination de leur biodisponibilité. (Mandalari et *al*, 2007). Certains d'entre-eux pourraient également être présents au niveau du noyau et de la membrane plasmique a très faible concentration (Peer et al, 2001).

Suivant la figure 06, les teneurs en flavonoïdes enregistrées montrent des concentrations de 23,90 (haricots), 32,41 (fèves), 45,52 (petit pois), 59,54 (lentilles) et 100,41mg/100g MS (pois chiches).

De très faibles concentrations en flavonoïdes sont trouvées dans les eaux de cuisson et qui sont des quantités infimes par rapport à celles observées dans les légumes secs cuits correspondants. La teneur la plus élevée est notée dans l'eau de cuisson des lentilles avec 5,42mg/100g MS, à l'inverse des pois chiches qui ne présentent qu'une faible quantité 0,92mg/100g de MS. Par considération des eaux de cuissons et des légumes secs cuits, les pois chiches sont les légumes les plus riches en flavonoïdes. En revanche, l'haricot est le légume qui en contient le moins.

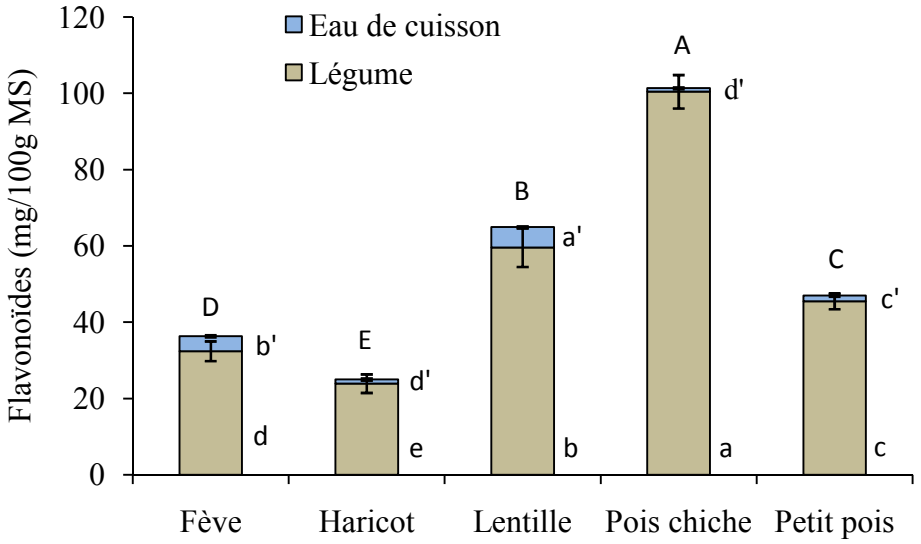

Figure 06 : Teneurs en flavonoïdes des légumes secs cuits et des eaux de cuisson.

Les barres verticales représentent les écart-types.

Des lettres différentes montrent des résultats différents significativement ($p<0,05$)

Sreerama *et al.* (2012) ont rapporté les résultats suivants pour les pois chiches et les haricots 480mg/100g et 724mg/100g respectivement. Des études réalisées par Chaieb *et al.* (2011) ont rapportées que les teneurs en flavonoïdes des fèves varient entre 2000 et 9400mg ER/100g. Ce qui s'avère plus élevé par rapport à nos résultats. Cela peut être expliqué par l'utilisation de standards différents.

2.3. Tannins

Les tannins sont des substances polyphénoliques très répandues dans le règne végétal. Ils peuvent exister dans divers organes: racine, écorce, feuille, fleur et graine. (Derbel et Ghedira, 2005).

Ils sont connus par leur activité réductrice des radicaux libres et leur activité antioxydante en plus de leur fonctions biologiques (antibactériennes anti-inflammatoires, antiallergiques et anti-tumorales) (Fine *et al.*, 2000 ; Kolodziej *et al.*, 2001).

De manière générale et d'après les résultats illustrés dans la figure 07, les eaux de cuisson détiennent de faibles teneurs en tannins par rapport aux légumes secs cuits. Concernant les légumes secs cuits, une concentration considérable a été observée pour les lentilles 9mg/100g MS suivie par les fèves 3,10mg/100g MS, les autres légumes présentent des teneurs similaires environ 0,9mg/100g MS.

Les résultats relatifs aux eaux de cuisson dévoilent des concentrations en tannins variant entre 0,17mg/100g MS pour les pois chiches et les petits pois et de 2,11 mg/100g MS pour les lentilles. Les quantités de tannins présentes dans les eaux de cuisson des fèves et des haricots sont de 0,53 et 0,24mg/100g MS respectivement.

En tenant compte des eaux de cuissons et des légumes secs, on constate que la plus forte concentration en tannins est enregistrée chez les lentilles suivie par les fèves. Les pois chiches, les petits pois et les haricots ne présentent pas de différences significatives.

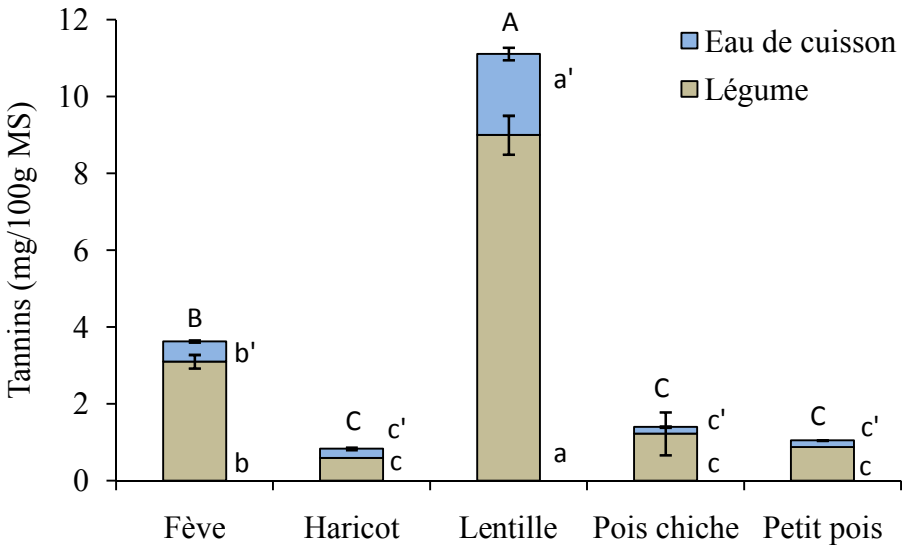

Figure 07 : Teneurs en tannins des légumes secs cuits et des eaux de cuisson.

Les barres verticales représentent les écart-types.

Des lettres différentes montrent des résultats différents significativement ($p<0,05$)

Sreerama *et al.,* (2012) ont rapporté que les pois chiches et les haricots contiennent les quantités suivantes en tannins : 5,12mg/g et 2,13mg/g respectivement, sur la base de la même étude, une teneur de 25,7 mg/100g en tannins a été observé pour les petits pois (Chavan *et al.*, 2001). Une autre étude a montré que les petit pois, lentilles et les fèves détiennent les teneurs suivantes : (293,7 et 367,4) ; (229 et 377) ; (654) MG/100g respectivement. (Jin *et al.*, 2012).

2.4. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont présents dans de nombreux fruits et légumes. Plusieurs d'entre eux sont des précurseurs de la vitamine A, et en raison de doubles liaisons conjuguées ils sont des capteurs de radicaux libres et de l'oxygène singulet (Podsedek, 2007).

La majorité des caroténoïdes sont lipophiles, solubles dans les solvants organiques mais insolubles dans l'eau. La classe des carotènes se dissout facilement dans l'éther de pétrole, l'hexane et le toluène ; la classe des xanthophylles sont solubles dans le méthanol et l'éthanol (Rodŕýguez-Amaya, 2001). Pour cette raison, deux phases ont

été utilisées pour leur extraction: une phase apolaire qui permet de les récupérer et une phase polaire pour éliminer les molécules hydrophiles qui peuvent interférer dans le dosage des caroténoïdes.

L'étude statistique indique qu'il existe des différences significatives entre les teneurs des différents légumes secs étudiés. Comme l'indique la figure ci-dessous, les teneurs en caroténoïdes présentent des quantités allant de 1,10mg/100g MS (haricot) à 9,09mg/100gMS (petit pois).

Des teneurs infimes en caroténoïdes sont enregistrées dans les eaux de cuisson (figure 09). La concentration la plus élevée est détectée dans les eaux de cuisson des lentilles (0,23mg/100gMS), vient par la suite les eaux de cuisson des pois chiches et des petits pois. Les quantités libérées pour les fèves et l'haricot sont négligeables.

En tenant compte des eaux de cuissons et des légumes secs, on constate que la plus forte concentration en caroténoïdes est enregistrée chez les petits pois suivie par les lentilles et les pois chiches.

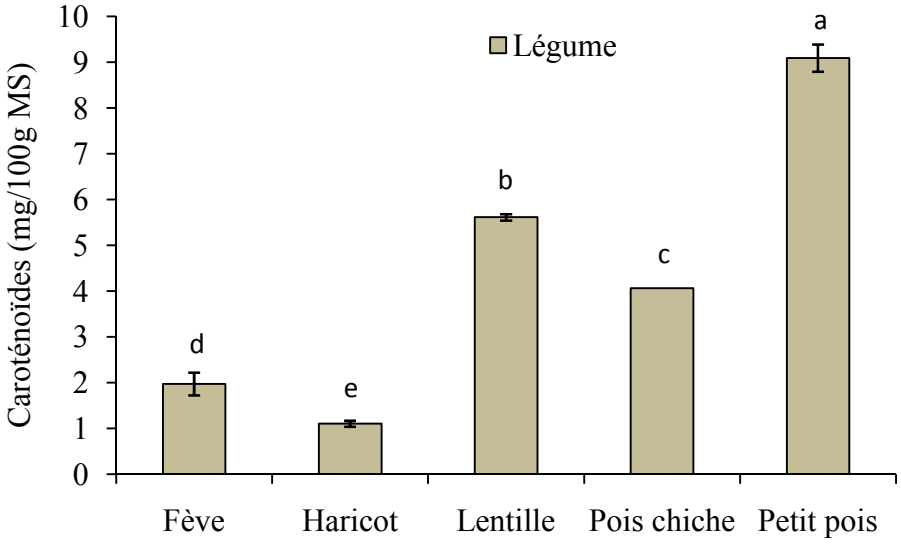

Figure 08 : Teneurs en caroténoïdes des légumes secs cuits.

Les barres verticales représentent les écart-types.

Des lettres différentes montrent des résultats différents significativement ($p<0,05$)

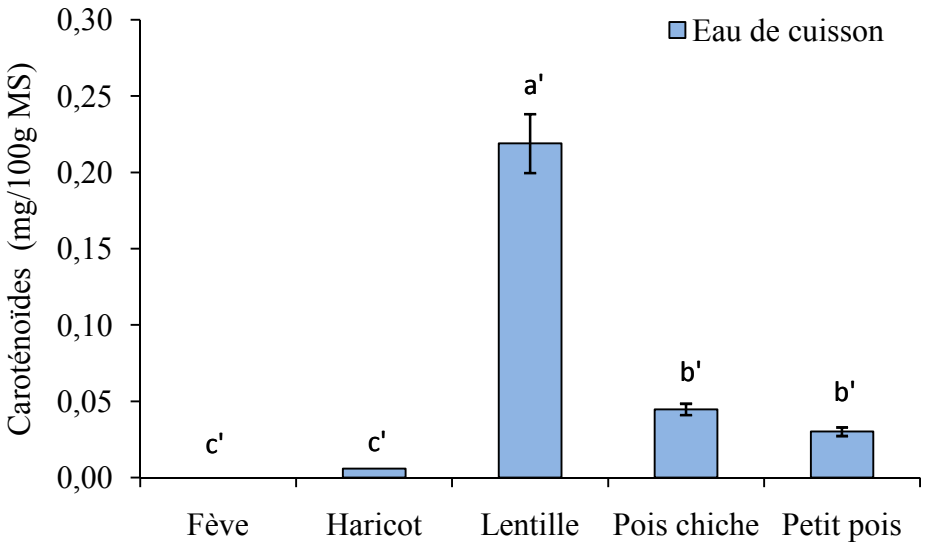

Figure 09 : Teneurs en caroténoïdes des eaux de cuisson.

Les barres verticales représentent les écart-types.

Des lettres différentes montrent des résultats différents significativement ($p<0,05$)

3. Activité antioxydante

3.1. Pouvoir réducteur

L'activité antioxydante d'un composé correspond à sa capacité à résister à l'oxydation en libérant des électrons (Popovici *et al,* 2009), et qui peut être exprimée par leur pouvoir à réduire les radicaux libres.

Les légumes secs cuits présentent un très bon pouvoir réducteur par rapport aux eaux de cuisson (figure 10), ce qui est dû à la présence des différances significatives dans les teneurs en composés phénoliques. En effet, pour les légumes secs cuits, les résultats exprimés en équivalant d'acide gallique par 100g de MS sont d'environ 2,86mg pour les fèves, 2,11mg pour les haricots, 5,26mg pour les lentilles, 8,87mg pour les pois chiches et 4,02mg/100gMS pour les petit pois. Les pois chiches ont l'activité la plus élevée, la valeur la plus basse est obtenue dans l'haricot.

À l'égard des eaux de cuisson, les valeurs du pouvoir réducteur exprimées en mgEAG sont : les pois chiches : 0,66 ; les lentilles: 0,47 ; les petits pois: 0,22 ; les fèves : 0,21 et en dernier les haricots 0,18.

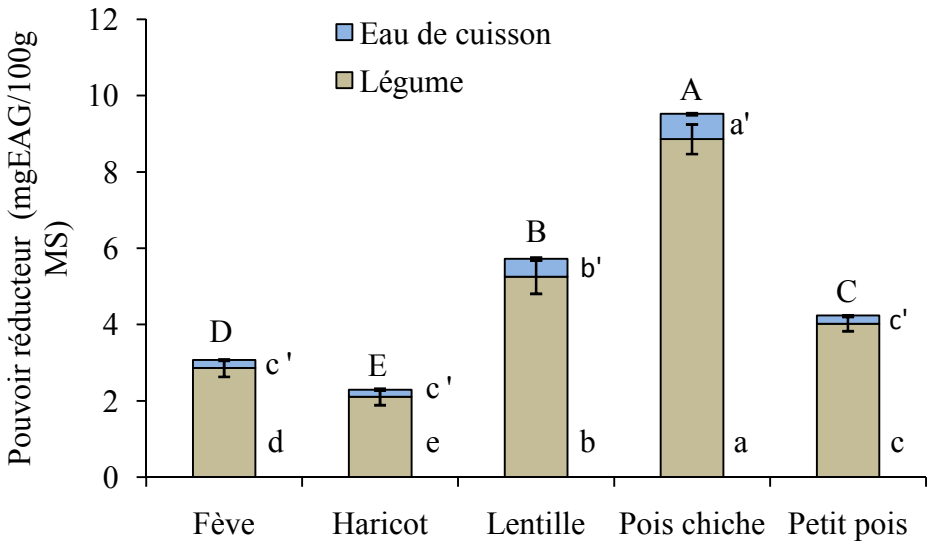

Figure 10 : Pouvoir réducteur des légumes secs cuits et des eaux de cuisson.

Les barres verticales représentent les écart-types.

Des lettres différentes montrent des résultats différents significativement ($p<0,05$)

Les flavonoïdes sont connus par leur activité inhibitrice des radicaux libres et leur activité antioxydante (Fine *et al.*, 2000 ; Kolodziej *et al.*, 2001). Ce qui explique le niveau élevé du pouvoir réducteur des pois chiches. Les lentilles possèdent un pouvoir réducteur plus élevée que celui des petits pois, vu que les lentilles ont une plus grande quantité de flavonoïdes, en particulier les pro-anthocyanidines, qui contribuent à l'augmentation du pouvoir réducteur.

3.2. Réduction du radical DPPH

De nombreuses méthodes sont utilisées pour évaluer l'activité antioxydante de composés naturels dans les systèmes alimentaires ou biologiques. Le DPPH est un radical libre qui est couramment utilisé pour évaluer l'activité antioxydante *in vitro*. La réduction de ce radical par un antioxydant donneur d'hydrogène est contrôlée par la diminution de leur densité optique (Tabart *et al.*, 2007). Cette méthode est une technique d'évolution rapide de l'activité anti-radicalaire qui permet de comparer les extraits vis-à-vis de leur action sur l'inhibition des radicaux libres.

Les résultats de la mesure de l'activité antioxydante par la mesure de l'activité anti-radicalaire des légumes secs cuits, révèlent que les haricots sont ceux qui présentent la plus grande activité avec 189,05mgEAG/100g MS, suivie par les fèves et les lentilles, vient par la suite les petits pois. Les pois chiches quant à eux ne présentent que 68,58mgEAG/100g de MS (Figure 11).

La capacité anti-radicalaire des eaux de cuisson peut être considérée négligeable en les comparants aux légumes secs cuits. Les activités d'inhibition du DPPH par les eaux de cuisson sont statistiquement différentes significativement. Les fèves présentent la plus grande capacité anti-radicalaire avec 0,23mgEAG/100g MS suivie par les lentilles, les petits pois et les haricots avec respectivement 0,12 ; 0,08 et 0,02 mgEAG/100g MS. Les eaux de cuissons de pois chiches ne présentent pas d'activité anti-radicalaire (Figure 12).

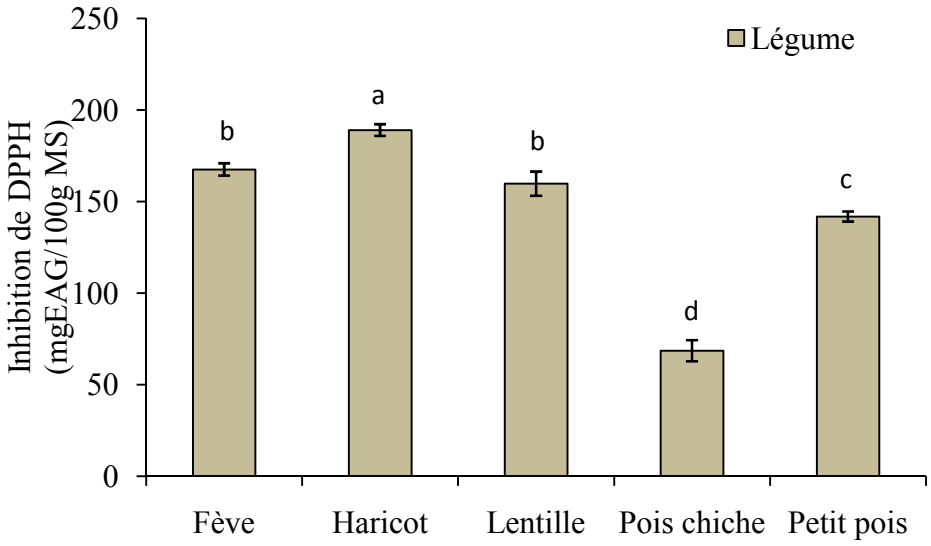

Figure 11 : Réduction du radical DPPH par les légumes secs cuits.

Les barres verticales représentent les écart-types.

Des lettres différentes montrent des résultats différents significativement ($p<0,05$)

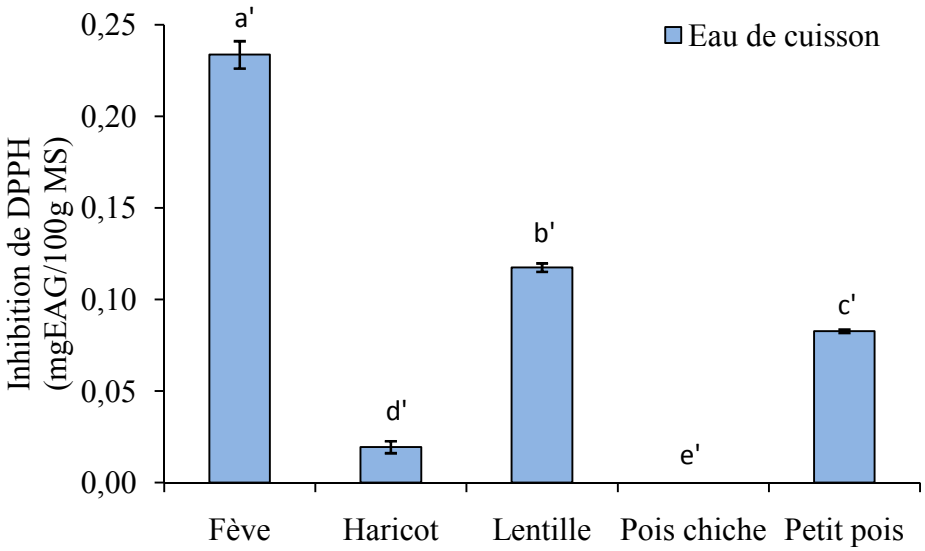

Figure 12 : Réduction du radical DPPH par les eaux de cuisson.

Les barres verticales représentent les écart-types.

Des lettres différentes montrent des résultats différents significativement ($p<0,05$)

Une corrélation entre les composés phénoliques et le pouvoir anti-radicalaire a été observée. Ces résultats concordent avec les données de Tabart *et al.* (2007) qui ont signalé que la valeur d'inhibition de DPPH est proportionnelle à la concentration en antioxydant.

Les résultats de cette étude ont révélé que la concentration en antioxydants des légumes secs cuits est beaucoup plus élevée que celle des eaux de cuisson, Ces résultats sont similaire a ceux de Dave Oomah *et al.,* (2011), ce là peut être expliqué par la présence de plusieurs éléments qui peuvent influencer sur la rétention des composés phénoliques dans les légumes secs après cuisson (comme le type des tissus biologiques (Aparicio-Fernandez et *al*,2005), la température, le temps de cuisson, l'humidité et même la taille des graine.

Les teneurs élevés en flavonoïdes ont été observés avec les pois chiches, leur pouvoir réducteur est également plus élevée, mais ils présentent une faibles inhibition de DPPH ce la peut être interprété par l'influence du type de la structure chimique des composés phénoliques ainsi que la position, la nature des substituants. Contrairement à

l'haricot qui contient des teneurs faibles en composés phénoliques mais une capacité anti-radicalaire élevée qui est due à l'existence des antioxydants puissants grâce à leurs potentiels redox faibles.

Les lentilles apparaissent comme étant les plus riches en tous les antioxydants (polyphénols, flavonoïdes, tannins et caroténoïdes) mais ne présentes pas une capacité antioxydante et anti-radicalaire élevée, cela a été expliqué par certaines études sur l'existence d'une relation entre la structure chimique des composés phénoliques et leur pouvoir piégeur des radicaux libres, qui indique que l'activité anti-radicalaire est dépendante du nombre, de la position et de la nature des substituants sur les cycles B et C (groupements hydroxyles, metaxylés, glycosylés) et le degré de polymérisation (Nanjo *et al.,* 1996 ; Pannala *et al.,* 2001 ; Karamac *et al.,* 2005 ; Tabart *et al.,* 2009).

Concernant les petits pois, ils représentent les légumes secs les plus riches en caroténoïdes mais possèdent des quantités variables pour les autres composés antioxydants. Pour les fèves, non seulement elles ne contiennent pas des teneurs élevées en antioxydants mais aussi leur activité antioxydante est faible.

La migration des antioxydants des graines vers les eaux de cuisson au cours de l'ébullition est généralement faible et même négligeable dans certaines cas, tel que la teneur la plus élevée des antioxydants passé vers les eaux de cuisson a été déterminée dans les lentilles, cela peut être expliqué par le fait que ces derniers présentent des petites tailles et des tissus infimes ce qui facilite le passage de l'eau et de la température vers le centre des grains ce qui rend la libération des antioxydants plus importante.

Conclusion

Conclusion

La présente étude est consacrée aux dosages des différents antioxydants, les composés phénoliques, les flavonoïdes, les tannins et les caroténoïdes, ainsi qu'à la détermination du pouvoir antioxydant de cinq types de légumes secs cuits. Les mêmes analyses sont effectuées également sur les eaux de cuisson.

La concentration des différents antioxydants varie selon le type des légumes secs cuits. Les résultats montrent que les lentilles sont les plus riches en composés phénoliques (291mg/100gMS) en revanche, l'haricot est la légumineuse la moins concentrée avec 75mg/100gMS. Au cours de la cuisson environ 20% des composés phénoliques de fèves, d'haricots et de lentilles sont diffusées vers les eaux de cuisson et environ 10% pour le pois chiche et le petit pois. La diffusion des antioxydants vers les eaux de cuisson est proportionnelle à la richesse de légumes secs ; une corrélation de 92% est établie entre les teneurs en polyphénols des légumineuses cuites et celles des eaux de cuisson.

Les teneurs en flavonoïdes des légumes secs cuites sont variables, le pois chiche est celui qui montre la teneur la plus élevée (105mg/100gMS). Des teneurs infimes, en moyenne 5%, de flavonoïdes sont libérées dans les eaux de cuisson. Les lentilles et les petits pois sont marqués par leurs richesses en tannins (9mg/100gMS) et en caroténoïdes (9,1mg/100gMS) respectivement.

L'analyse du pouvoir réducteur des légumes secs cuits, montre des différences significatives. Le pois chiche est doué d'un pouvoir réducteur plus élevé par rapport aux autres légumes secs. Tandis que pour l'activité anti-radical DPPH, l'haricot semblait être le légume le plus actif avec 189,05mg EAG/100g MS, alors que le pois chiche ne présentait que 68,58mgEAG/100g MS. Les eaux de cuisson des différents légumes secs n'ont que de faibles activités antioxydants. Cela pourrait être dû, d'une part, aux quantités faibles d'antioxydants libérées au cours de la cuisson et, d'une autre part, à leur dégradation du fait qui sont exposés aux fortes températures de cuisson.

Cette étude a permis de conclure que les légumes secs cuits sont une bonne source de composés phénoliques, particulièrement les flavonoïdes. Ils sont également doués d'une forte activité antioxydante. Ce qui leurs confèrent leur rôle bénéfique pour la santé. Les teneurs en antioxydants ainsi que l'activité antioxydante des eaux de cuisson ne présentent que des contributions faibles par rapport aux graines de légumineuses.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- Adebamowo C. A., Cho E. Y., Sampson L., Katan M. B., Spiegelman D. et Willett W. C. 2005. Dietary flavonols and flavonol-rich foods intake and the risk of breast cancer. International Journal of Cancer. 114: 628-633.
- Adsule R.N., Kadam S.S. et Leung H.K. 1989. Lentil. S.S. Kadam (Ed.), Handbook of world legumes: Nutritional chemistry, processing technology, and utilization. Vol. IICRC Press Inc., Florida, pp. 133-152.
- Agustin J.B., Klein P. et Matthews R.H. 1989. Nutrient composition of raw cooked canned and sprouted legumes. Agustin J.B., Klein P. et Matthews R.H. (Eds.), Legumes Chemistry Technology and Human Nutrition. Marcel Dekker. New York.
- Amarowicz R. et Pegg R.B. 2008. Legumes as a source of natural antioxidants. European Journal of Lipid Science and Technology. 110 : 865-878.
- Aparicio-Fernandez X., Yousef G. G., Loarca-Pina G., de Mejia E. et Lila M. A. 2005. Characterization of polyphenolics in the seed coat of Black Jamapa bean (Phaseolus vulgaris L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53(11) : 4615-4622.
- Aparicio-Fernadez X., Garica-Gasca T., Yousef G. G., Lila M. A., Gonzales de Mejia E. et Loarca-Pina G. 2006. Chemopreventive activity of polyphenolics from black Jamapa bean (Phaseolus vulgaris L.) on HeLa and HaCaT cells. Journal of Agricultural Food Chemistry. 54: 2116-2122.
- Atawodi S. E. 2005. Antioxidant potential of African medicinal plants. African journal of biotechnology. 4(2) : 128-133.
- Auger C., Al-Awwadi N., Bornet A., Rouanet J.M., Gasc F. et Cros G. 2004. Catechins and procyanidins in Mediterranean diet. Food Res Int. 37 : 233-45.

B

- Bagchi D., Bagchi M., Stohs S. J., Das D. K., Ray S. D. et Kuszynski C. A. 2000. Free radicals and grape seed proanthocyanidin extract: Importance in human health and disease prevention. Toxicology. 148 : 187-197.
- Begué-Simon A-M et Tanguy M. 2009. Antioxydants Première partie : les antioxydants dans l'alimentation. MÉDECINE. 5(6) : 256-260.
- Bergoin- Lefort M. 2005. Application du concept de raffinage végétal au safran du Quercy (crocus sativus) pour la valorisation intégrée des potentiels aromatiques et colorants. Thèse présentée pour obtenir le titre de Docteur De L'Institut National Polytechnique De Toulouse, Ecole doctorale : Sciences des Procédés, Spécialité : Sciences des Agroressources. 1-329.
- Berthod A., Billardello B. et Geoffroy S. 1999. Polyphénols in countercurrent chromatography. An exampleof large scale separation 1. Analusis. EDP Sciences, wiley-VCH. 27 : 750-557.
- Blasko G. et Cordell G. A. 1998. Recent developments in chemistry of plant derived anticancer agents. In H. Wagner, H. Hiroshi, & N. R. Farnsworth (Eds.), Economic and medicinal plant research. New York: Academic Press.
- Bond D. A., Lawes D. A., Hawtin G. C., Saxena M. C. et Stephens J. S. 1985. Grain vegetable crops Faba Bean (Vicia faba L.). In R. J. Summerfield and Roberts E. H. (Eds.). pp. 199−265. 8 Grafton Street, London, WIX 3LA, UK: William Collins Sons Co. Ltd.

- Brand-Williams W., Cuvelier M.E. et Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensmitel–Wissenschauft und Technologie. 28 : 25-30.
- Bressani A. et Elias L.G. 1980. The nutritional role of polyphenols in beans. In J. H. Hulse (Ed.), Polyphenols in cereal and legumes. pp. 61–68. Ottawa, Canada: International Development Research Center.
- Brown L., Rimm E. B., Seddon J. M., Giovannucci E. L., Chasan-Taber L., Spiegelman D., Willettw C. et Hankinson S. E. 1999. A prospective study of carotenoid intake and risk of cataract extraction in US men. Am J Clin Nutr. 70 : 517-24.
- Bunea A., Andjeldkovic M., Socaciu C., Bobis O., Neacsu M., Verhé R. et Van Camp J. 2008. Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach (Spinacia oleracea L.). Food Chem. 108 : 649-56.
- Büyükokuroğlu M.E., Gülçin Í., Oktay M. et Küfrevioğlu Ő. Í. 2001. In vitro antioxidant properties of dantrolene sodium. Pharmacological Research. 44 : 491p.

C

- Chaieb N., Luis-González J., López-Mesas M., Bouslama M. et Valiente M. 2011. Polyphenols content and antioxidant capacity of thirteen faba bean (Vicia faba L.) genotypes cultivated in Tunisia. Food Research International. 44 : 970-977.
- Charrière B. 1991. Les composés phénoliques marqueurs de la matière organique terrestre dans deux écosystèmes marins : le delta du Rhône et pro delta de la têt. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Toulouse. Université de Perpignan. PP.182.
- Chavan U. D., Shahidia F. et Naczkb M. 2001. Extraction of condensed tannins from beach pea (Lathyrus maritimus L.) as affected by different solvents. Food Chemistry 75(2345) : 509-512.
- Cho Y., Yeum K., Chen C.Y., Beretta G., Tang G. et Krinsky N.I. 2007. Phytonutrients affecting hydrophilic and lipophilic antioxidant activities in fruits, vegetables and legumes. Journal of Science and Food Agriculture. 87 : 1096-1107.
- Choi H.K., Mun J.H., Kim D.J., Zhu H., Baek J.M., Mudge J., Roe B., Ellis N., Doyle J., Kiss G.B., Young N.D. et Cook D.R. 2004. Estimating genome conservation between crop and model legume species. Proc Natl Acad Sci USA 101:15289–15294.
- Choung M.-G., Choi B.-R., An Y.-N., Chu Y.-H. et Cho Y.S. 2003. Anthocyanin profile of Korean cultivated kidney bean (Phaseolus vulgaris L.). Journal of Agricultural Food Chemistry. 51 : 7040-7043.
- Chu Y. H., Chang C. L. et. Hsu H. F. 2000. Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. Journal of the Science of Food and Agriculture. pp. 80 : 561‑566.
- Cubero J.I. 1981. Origin of the taxonomy and domestication. Webb C. et Hawtin G. (Eds.). Lentilles, Commonwealth Agricultural offices, Slough, The United Kingdom. pp 15-38.

D

- Dave Oomah B., Caspar F., Malcolmson J. L. et Bellido A. S. 2011. Les composés phénoliques et l'activité antioxydante des coques de lentilles et de pois. Alimentaire international de recherche. 44(1) : 436-441.
- De Pascual T., Santos-Buelga S. et Rivas-Gonzalo J. C. 2000. Quantitative analysis of flavan-3-ols in spanish foodstuffs and beverages. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48 : 5331-5337.
- Depezay L. 2007. Les légumes dans l'alimentation : leurs effets nutritionnels. Fondation Louis Bonduelle. 1-7.

- Derbel S. et Ghedira K. 2005. Les phytonutriments et leur impact sur la santé. Phytothèrapie et Nutrition. 1 :1-7.
- Dillard C.J. et German J.B. 2000. Phytochemicals: Nutraceuticals and human health. Journal of Science and Food Agriculture. 80 : 1744-1756.
- Diouf P. N., Stevanovic T. et Cloutier A. 2009. Study on chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of hot water extract from Picea mariana bark and its proanthocyanidin-rich fractions. Food Chemistry. 113 : 897-902.
- Drewnowski A. et Gomez-Carneros C. 2000. Bitter taste, phytonutriments, and the consumer: An examination. American Journal of Clinical Nutrition. 72 : 1424-1435.
- Dueñas M., Hernández T. et Estrella I. 2002. Phenolic composition of the cotyledon and the seed coat of lentils (Lens culinaris L.). European Food Research and Technology. 215 : 478-483.
- Dueñas M., Sun B. A., Hernández T., Estrella I. et Spranger I. 2003. Proanthocyanidins composition in the seed coat of lentils (Lens culinaris L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51(27) : 7999-8004.
- Dueñas M., Hernández T. et Estrella I. 2004. Occurrence of phenolic compounds in the seed coat and the cotyledon of peas (Pisum sativum L.). European Food Research and Technology. 219 : 116-123.
- Dueñas M., Hernández T. et Estrella I. 2006. Assessment of in vitro antioxidant capacity of the seed coat and the cotyledon of legumes in relation to their phenolic contents. Food Chemistry. 98 : 95-103.

E

- Erskine W., Sarker A. et Kumar S. 2011. Les cultures qui nourrissent le monde 3. Investir dans l'amélioration de la lentille vers un monde en sécurité alimentaire. Alimentation Sec. 3 : 127-139.

F

- Favier A. 1997. Le stress oxydant : intérêt de sa mise en évidence en biologie médicale et problèmes posés par le choix d'un marqueur. Annales de Biologie Clinique. 55(1) :9-16.
- Favier A., 2003. Le stresse oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la ompréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique . L'actualités chimique, 11 : 108-115.
- Fine A.M., CPA, Candidate N.D. 2000. Oligomeric Proanthocyanidin Complexes: history, Structure, and Phytopharmaceutical Applications. Alternative Medicine Review. 5(2) : 144-151.
- Fontaine E., Barnoud D., Schwebel C. et Leverve X. 2002. Place des anti-oxydants dans la nutrition du patient septique. Réanimation. 11 : 411-20.
- Formica J.V. et Regelson W. 1995. Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids. Food and Chemical Toxicology. 33 : 1061 p.
- Foster-Powell K. et Miller J. B. 1995. International tables of glycemic index. American Journal of Clinical Nutrition. 62 : 871S-893S.

G

- Gepts P., Beavis W. D., Brummer E. C., Shoemaker R. C., Stalker H. T., Weeden N. F. et Young N. D. 2005. Legumes as a Model Plant Family. Genomics for Food and Feed Report of the Cross-Legume Advances through Genomics Conference. Plant Physiology. 137 : 1228-1235.
- Gliszczyńska-Świgło A., Ciska E., Pawlak-Lemanska K., Chmielewski J., Borkowski T. et Tyrakowska B. 2006. Modifications dans le contenu de promotion de la santé et l'activité

antioxydante des composés du brocoli, après la transformation intérieure. alimentaire Addit Contam. 23(11) : 1088-1098.

- Goodwin M. 2003a. *Profil de la culture pour les pois chiches* . <www.pulsecanada.com> Récupérée 20.08.08.
- Goodwin M. 2003b. *Profil de la culture des pois, de Pulse Canada* . <www.pulsecanada.com> Récupérée 20.08.08.
- Gülçin Í. 2005. The antioxidant and radical scavenging activities of black pepper (Piper nigrum) seeds. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 56 : 491-499.

H

- Hadi M. 2004. La quercétine et ces dérivés : molécules à caractères pro-oxydant ou capteurs de radicaux libres; études et applications thérapeutiques. Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences de l'Université Louis Pasteur Domaine : Pharmacochimie. 155p.
- Harborne J.B. et Williams C.A. 2000. Advances in flavonoid research since 1992. Phytochemistry.55 : 481-504.
- Haslam E. 1998. Preatical polyphénolics: from structure to molecular recognition and physiologicals action. Cambridge University press. Combridge.
- Hemingway R. W. 1992. Structural variation in proanthocyanidins and their derivatives. In: Lpant polyphenols: synthesis, properties, significande. Hemingway R. W. Laks P. E. New York.
- Hertog M.G.L., Hollman P.C.H. Katan M.B. et Kromhout D. 1993. Intake of potentially anticarcinogenic flavonoids and their determinants in adults in The Netherlands. Nutrition and Cancer. 20 : 21-29.
- Hunter K. J. et Fletcher J. M. 2002. The antioxidant activity and composition of fresh, frozen, jarred and canned vegetables. Innovative Food Science and Emerging Technology. 3: 399406.

I

- Ionita P. 2005. Is DPPH Stable Free Radical a Good Scavenger for Oxygen Active Species?. Chem. Pap. 59(1) :11-16.
- Ismail A., Marjan Z. M. et Foong C. W. 2004. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. Food Chemistry. 87 : 581-586.

J

- Jimnez-Monreal A. M., Garca-Diz L., Martínez-Tomé M., Mariscal M. et Murcia M. A. 2009. Influence of Cooking Methods on Antioxidant Activity of Vegetables. Journal of food science. 74(3) : 97-103.
- Jin A. L., Ozga J. A., Lopes-Lutz D., Schieber A. et Reinecke D. M. 2012. Characterization of proanthocyanidins in pea (Pisum sativum L.), lentil (Lens culinaris L.), and faba bean (Vicia faba L.) seeds. Food Research International. 46: 528–535.

K

- Karamac M., Kosicska A., Pegg R. B. 2005**.** Comparison of radical-scavenging activities for selected phenolic acids. Pol. J. Food Nutr. Sci. 14/55 (2) : 165-170.
- Kolodziej H., Kayser O., Kiderlen A.F., Hideyuki Ito, Hatano T., Yoshida T. et FOO L.Y. 2001. Proanthocyanidins and Related Compounds: Antileishmanial activity and modulatory effects on nitric oxide and tumor necrosis factor-release in the murine macrophage-like cell line raw 264.7. Biological and Pharmaceutical Bulletin. 24(9) : 1016-1021.

- Kupulainen K.T. et Salonen J.T. 1996. Natural Antioxidant and Food Quality in Atherosclerosis and Cancer Prevention. The Royal Society of Chemistry. Cambridge

L

- Lazrek-Ben-Friha F. 2008. Analyse de la diversité génétique et symbiotique des populations naturelles tunisiennes de Medicago truncatula et recherche de QTL liés au stress salin. These de doctorat, Délivré par l'Université Toulouse III - Paul Sabatier Discipline ou spécialité : Biologie. 254P.
- Leong L.P. et Shui G. 2002. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. Food Chemistry. 76 : 69-75.
- Lesschaeve I. et Noble AC. 2005. Polyphenols: Factors influencing their sensory properties and their effects on the food preferences and drinks. American Journal of Clinical Nutrition. 81: 330S-335S (Suppl.).
- Lin Ch.-H., et Chang Ch.-Y. 2005. Textural change and antioxidant properties of broccoli under different cooking treatments. Food Chemistry. 90 : 9-15.
- Luo Y.W., Gu Z.X., Han Y.H. et Chen Z.G. 2009. The impact of processing on phytic acid, in vitro soluble iron and Phy/Fe molar ratio of faba bean (*Vicia faba* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture. 89(5) : 861-866.
- Luximon-Ramma A., Bahorun T., Crozier A., Zbarsky V., Dalta K. P., Dexter D. T. et Aruoma O. I. 2005. Characterization of the antioxidant functions of flavonoids and proanthocyanidins in Mauitian black teas. Food Research International. 38 : 357-367.

M

- Mabile L., Meilhac O., Escargueil-Blanc I., Troly M., Pieraggi M.T. et Salvayre R., Nègre-Salvayre A. 1997. Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. 17 : 1575-1582.
- Macheix J. J., Fleuriet A. et Jay–Allemand C. 2005. Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Ed Presses polytechnologiques et universitaires romandes. 4-5.
- Maiti R. et Wesche-Ebeling P. 2001. Maiti R., Wesche-Ebeling P. (Eds.). Advances of science in chickpea. Science Publishers Inc p. 1.
- Makris D. P. et Rossiter J. T. 2001. Domestic processing of onion bulbs (Allium cepa) and asparagus spears (Asparagus officinalis): effect on flavonol content and antioxidant status. J Agric Food Chem. 49 : 3216-22.
- Mandalari G., Nueno Palop C., Tuohy K., Gibson G.R., Bennett R.N., Waldron K.W., Bisignano G. et Narbad A. 2007. In vitro evaluation of the prebiotic activity of a pectic oligosaccharide-rich extract enzymatically derived from bergamot peel. Appl Microbiol Biotechnol. 73 : 1173-1179.
- Martinez-Valverde I., Periago M. J., Provan G. et Chesson A. 2002. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato *(Lycopersicum esculentum).* Journal of the Science of Food and Agriculture. 82 : 323-330.
- Marty C. et Berset C. 1988. Degradation products of trans-beta-carotene produced during extrusion cooking. J Food Sci. 53 : 1880-6.
- Mau J. L., Tsai S. Y., Tseng Y. H. et Huang S. J. 2005. Antioxidant properties of methanolic extracts from Ganoderma tsugae. Food Chemistry. 93 : 641- 649.

- Maury C., Sarni-Manchado P., Lefèbvre S., Cheynier V. et Moutounet M. 2001. Influence of fining with different molecular weight gelatins on proanthocyanidin composition and perception of wines. Am J Enol Vitic. 52: 140-145.
- Minguez-Mosquera M. et Jaren-Galan M. 1995. Kinetics of the decolouring of carotenoid pigments. J Sci Food Agric. 67: 153-61.
- Moise J. A., Han S., Gudynaite-Savitch L., Johnson D. A. et Miki B. L. A. 2005. Seed coats: structure, development, composition, biotechnology. In Vitro Cellular Developmental Biology — Plant. 41 : 620-644.
- Morrow B. 1991. The rebirth of legumes: legume production, consumption and export are increasing as more people become aware of legumes nutritional benefits. Food Technology. 9 : 96-121.
- Myara J., 2002. Vieillssement et stresses oxydant. Laboratoire de biochimie. hôpital Charles Foix (Ivry). 1-22.

N

- Nanjo F., Goto K., Seto R., Suzuki M., Sakai M. et Hara Y. 1996. Scavenging effects of tea catechins and their derivatives on 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical. Free Radic Biol Md., 21(6) : 895-902.
- NFA : National Food Administration. 2002. Food composition database ver. 02.2, code 1155, Uppsala, Sweden.
- Nielsen S.S. 1991. Digestibility of legume protein: studies indicate that the digestibility of heated legume protein is affected by the presence of other seed components and the structure of the protein. Food Technology. 45(9) : 112–114.
- Nonier M.F., De Gaulejac N.V., Vivas N. et Vitry C. 2004. Characterization of carotenoids and their degradation products in oak wood. Incidence on the flavour of wood, C. R. Chimie. 7: 689-698.

O

- Ohr L.M. 2004. Dietary antioxidants. Food Technol. 58 : 67-74.
- Oplinger E.S., Hardman L.L., Kaminski A.R., Kelling K.A. et Doll J.D. 1990. Cultures alternatives manuelles: lentilles. <www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/lentil.html> Récupérée 21,08 .08.
- Oyaizu M. 1986. Antioxidative activities of browning reaction prepared from glucosamine Japanese. Journal of Nutrition. 44 : 307-315.

P

- Pannala A. S., Chan T. S., Óbrien P. J. et Rice-Evans C. A. 2001. Flavonoid B-ring chemistry and antioxidant activity: Fast reaction kinetics. Biochemical and Biophysical Research Communications. 282 : 1161-1168.
- Pedraza-Chaverrí J., Medina-Campos O. N., Ávila-Lombardo R., Zùñiga-Bustos A. et Orozco-Ibarra M. 2006. Reactive oxygen species scavenging capacity of different cooking garlic preparations. Life Sci. 78 : 761-70.
- Peer W. A., Brown D. E., Tague B. W., Muday G. K., Taiz L. et Murphy A. S. 2001. Flavonoid accumulation patterns of transparent testa mutants of Arabidopsis. Plant physiol. 126 : 536-548.
- Pencemail J., Meuisse M., Limet R. et Defraigne J. O. 1999. L'evluation de stresse oxydatif d'un individu. Une réalité pour le médecin. Vaisseaux. Cœur. Pummon. 4(5).
- Podşedek A. 2007. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brasicca vegetables: A review. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie. 40 : 1-11.

- Popovici C., Saykova I. et Tylkowski B. 2009. Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. Revue de génie industriel. 4 : 25-39.
- Porres J.M., Aranda P., López-Jurado M. et Urbano G. 2005. Nutritional potential of raw and free a-galactosides lupin (*Lupinus albus* Var. *multolupa*) seed flours. Effect of phytase treatment on nitrogen and mineral dialyzability. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53 : 3088-3094.
- Prasad K., Laxdal V. A., Yu M. et Raney B.L. 1996. Evaluation of hydroxyl radical-scavenging property of garlic.Mol Cell Biochem. 154 : 55-63.
- Prior R. L., Wu X., & Schaich K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53 : 4290-4302.

R

- Ramos S. 2007. Effects of dietary flavonoids on apoptotic related to cancer chemoprevention. Journal Nutritional Biochemistry. 18 : 427-442.
- Randhir R. et Shetty K. 2003. Microwave-induced stimulation of l-DOPA, phenolics and antioxidant activity in fava bean (*Vicia faba*) for Parkinson's diet. Process Biochemistry. 39 : 1775-1784.
- Rehman Z., Salariya A.M. et Zafar S.I. 2001. Effect of processing on available carbohydrate content and starch digestibility of kidney beans (Phaseolus vulgaris L.). Food Chemistry. 73 : 351-355.
- Rice-Evans C. A., Miller N. J. et Paganga G. 1996. Structure–antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. Free Radical Biology & Medicine. 20 : 933-956.
- Rodŕýguez-Amaya D. B. 1999. Changes in carotenoids during processing and storage of foods. Arch Latinoam Nutr. 49 : 38S-47S.
- Rodŕýguez., Amaya. 2001. A guide to carotenoid analysis in food. International. Life sciences Institute press. 51-71.
- Rodŕýguez-Amaya D. B. et De Sa M. C. 2004. Optimization of HPLC quantification of carotenoids in cooked green vegetables-Comparison of analytical and calculated data. Journal of Food Composition and Analysis. 17 : 37-51.
- Ronzio A. R., Muanza D. N. et Sparks W. S. 1998. Antioxidant derived from lentil and its preparation and uses. United States Patent. 5 : 762-936.
- Roy F., Boye JI. et Simpson BK. 2010. Proteins and peptides bioactifs in the leguminous plant : pea, chickpeas and lenses. Food international of research. 43(2) : 432-442.

S

- Salvayre R., Auge N. et Nègre-Salvayre A. 2003. Rôle de l'oxydation dans la genèse et la progression de l'athérosclérose. L'athérosclérose : Physiopathologie, Diagnostics, Thérapeutiques. Toussaint J.F., Jacob M.P., Lagrost L. et Chapman J. Eds. Masson: Paris. 14 : 269-290.
- Sarni-manchado P. et cheynier V. 2002. Study of noncovalent complexation between catechin derivatives and peptide by electrospray ionization-mass spectrometry (ESI-MS). J mass spectrum. 37 : 609-616.
- Saura-Calixto F. et Goni I. 2009. Definition of the Mediterranean diet based on bioactive compounds. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 49 : 145-152.
- Shaghaghi M., Manzoori J.L. et Jouyban A. 2008. Determination of total phenols in tea infusions, tomato and apple juice by terbium sensitized fluorescence method as an alternative approach to the Folin–Ciocalteu spectrophotometric method. Food Chem. 108 : 695-701.

- Sharma Om P.et Bhat T.K. 2009. DPPH antioxidant assay revisited. Food chemistry. 113(4) : 1202.
- Shi J. et Le Maguer M. 2000. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. Crit Rev Biotechnol. 20 : 293-334.
- Singh S.P. 1999. Production and utilization. In: Singh, S.P. (Ed.), Common Bean Improvement in the Twenty-First Century. Kluwer, Dordrecht, Netherlands. 1–24.
- Singleton V.L., Orthofer R. et Lamuela-Raventos R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent Oxidants and Antioxidants. Pt A. 299 : 152-178.
- Sreerama Y.N., Sashikala V. B. et Pratape V. M. 2012. Phenolic compounds in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their antioxidant and enzyme inhibitory properties associated with hyperglycemia and hypertension. Food Chemistry 133 : 156-162.
- Sultana B., Anwas F. et Iqbal S. 2007. Effect of different cooking methods on the antioxidant activity of some vegetables from Pakistan. Int J Food Sci Technol. doi: 10.1111/j.1365-2621.2006.01504.x.

T

- Tabart J., Kevers C., Sipel A., Pincemail J., Defraigne J.O. et Dommes J. 2007. Analytical, Nutritional and Clinical Methods Optimisation of extraction of phenolics and antioxidants from black currant leaves and buds and of stability during storage. Food Chemistry. 105 : 1268-1275.
- Tabart J., Kevers C., Pincemail J., Defraigne J. et Dommes J. 2009**.** Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds meausured by various tests. Food Chemistry. 113 : 1226-1233.
- Takeoka G. R., Dao L. T., Full G. H., Wong R. Y., Harden L. A., Edwards R. H**.** 1997. Characterization of black bean (Phaseolus vulgaris L.) anthocyanins. Journal of Agricultural Food Chemistry. 45 : 3395-3400.
- Takeoka G.R., Dao L.T., Full G.H., Wong R.Y., Harden L.A., Edwards R.H. et Berrios J.D.J. 2003. Characterization of black bean (Phaseolus vulgaris L.) anthocyanins. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51 : 7040-7043.
- Tasuda T., Ohshima K., Kawakishi S. et Osawa T. 1994. Antioxidant pigments isolated from the seeds of Phaseolus vulgaris L. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 42 : 248-251.
- Tharanathan R.N. et Mahadevamma S. 2003. Grain legumes – a boon to human nutrition Trends in Food and Science Technology. 14 : 507-518.
- Thompson K. A., Marshall M. R., Sims C. A., Wei C. I., Sargent S. A. et Scott J. W. 2000. Cultivar, maturity and heat treatment on lycopene content in tomatoes. Journal of Food Sciences. 65 : 791-795.
- Tomás-Baberán F. A. et Espín J. C. 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture. 81: 853–876.
- Trombino, S., Serini, S., Di Nicuolo, F., Celleno, L., Ando, S. et Picci, N. 2004. Antioxidant effect of ferulic acid in isolated membranes and intact cells: synergistic interactions with β-tocopherol, β-carotene and ascorbic acid. J Agric Food Chem 52 : 2411-20.
- Troszynska A., Estrella I., López-Amorós M. L. et Hernández T. 2002. Antioxidant activity of pea (Pisum sativum L.) seed coat acetone extract. Lebensmittel-Wissenschat und Technologie. 35: 158–164.

- Turkmen N., Sari F. et Velioglu S. 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. Food Chemistry. 93 : 713-718.

U

- Urquiaga I. et Leighton F. 2000. Plant polyphenol antioxidants and oxidative stress. Biological Research. 33(2) : 55-64.

V

- Velrath E. 2003. Un aperçu sur les radicaux libres et antioxydants : Les radicaux libres et antioxydants. PHARMANEX.
- Vidal-Valverde C., Frias J., Estrella I., Gorospe M.J. Ruiz, R. et Bacon, J. 1994. Effect of processing on some antinutritional factors of lentils. J Agric Food Chem. 42 : 2291-5.
- Vidal-Valverde J., Frías I., Sierra I., Blazquez F. et Lambien Y-H. 2002. Kuo New functional legume food by germination. Effect on the nutritive value of beans, lentils and peas. European Food Research and Technology. 215 : 472-476.

W

- Weiss J. F. & Landauer M. R. 2003. Protection against ionizing radiation byantioxidant nutrients and phytochemicals. Toxicology. 189 : 1-20.

X

- Xu B. J., Yuan S. H., et Chang S. K. C. 2007. Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. Journal of Food Science. 72 : 167S -177S.

Y

- Yust MM., Pedroche J., Giron-Calle J., Alaiz M., Millan F. et Vioque J. 2003. La production de peptides inhibiteurs ace par digestion avec des pois chiches légumine alcalase. Journal of Food Chemistry. 81 : 363-369 .

Z

- Zhang D.L. et Hamauzu Y. 2004. Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. Food Chem. 88(4) : 503-509. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.01.065

Références électroniques

- Anonymat1 : www.dietmiam.com dernière consultation le 15/05/2012
- Anonymat2 : www.agr.gc.ca dernière consultation le 25/04/2012
- FAO : http://faostat.fao.org/ dernière consultation le 26/05/2012

Annexe

Annexe

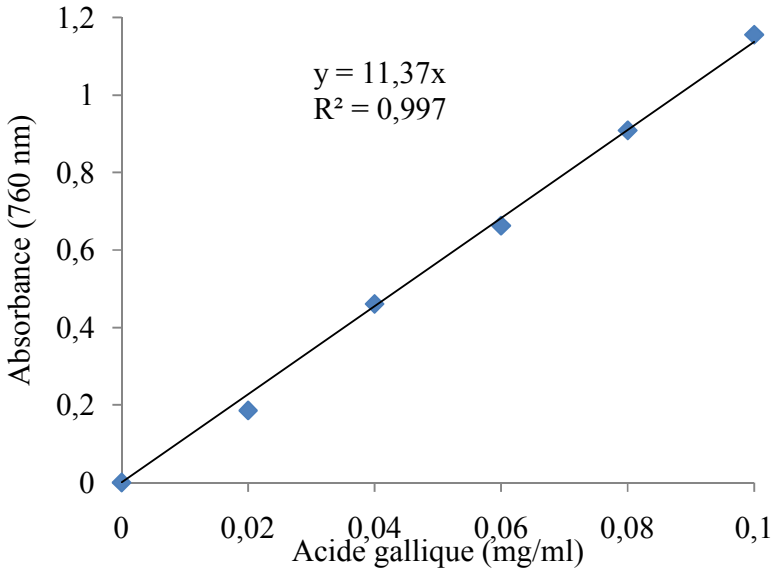

Figure 01: Courbe d'étalonnage des composés phénoliques.

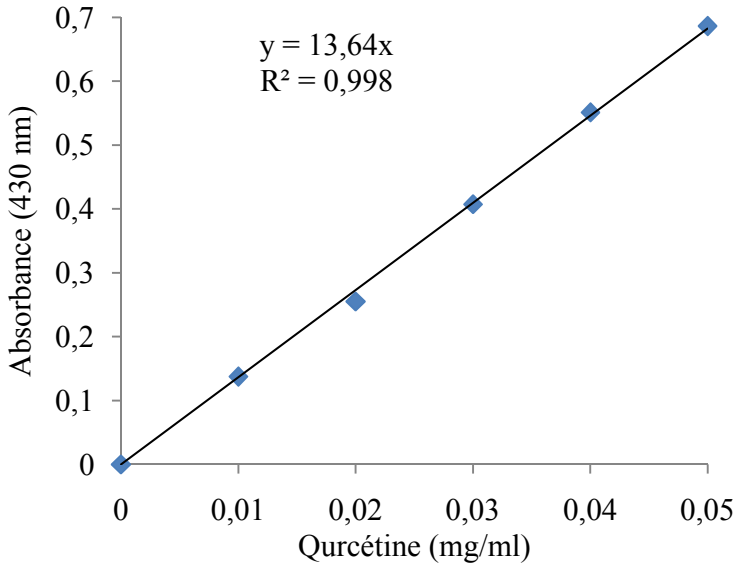

Figure 02 : Courbe d'étalonnage des flavonoïdes.

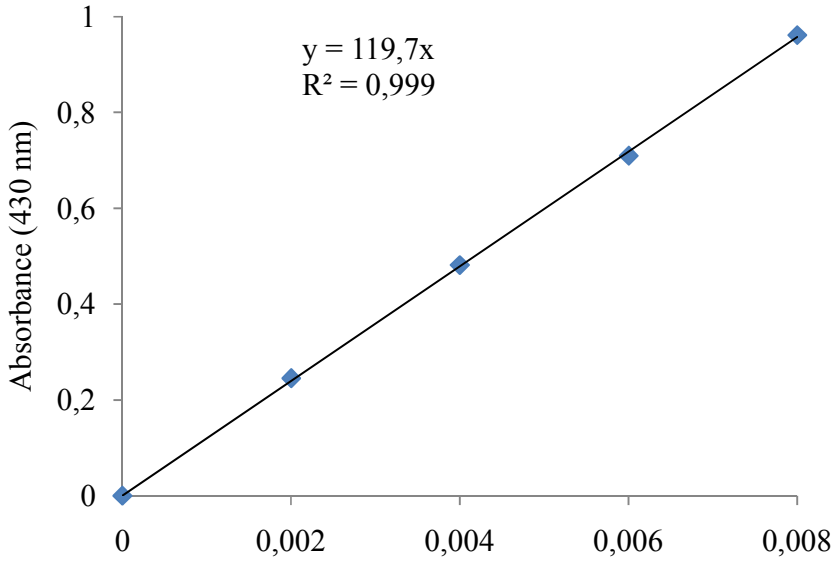

Figure 03 : Courbe d'étalonnage des caroténoïdes.

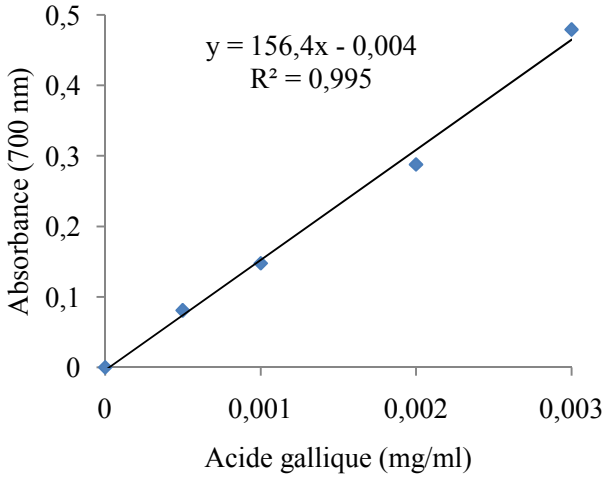

Figure 04 : Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur.

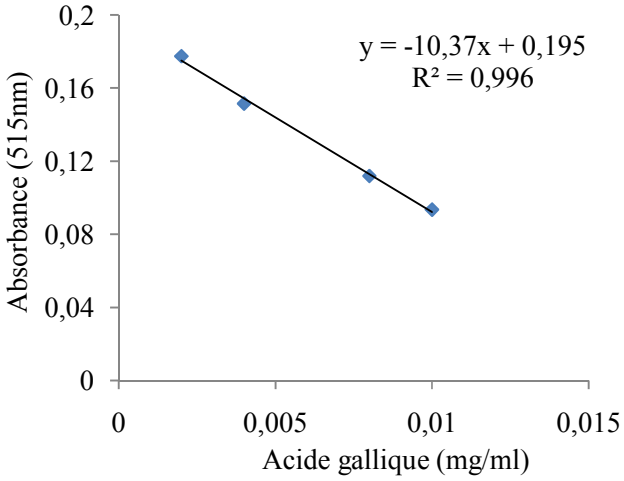

Figure 05 : Courbe d'étalonnage du DPPH**.**

Résumé

Les légumes secs constituent une part importante de l'alimentation humaine. Ils sont considérés étant une bonne source de protéines, de fibres et renferment des quantités considérables en antioxydants qui sont considérés comme des composés bioactifs bénéfiques à la santé humaine. Dans la présente étude, la teneur en quelques antioxydants ainsi que l'activité antioxydante de cinq types de légumes secs (fève, haricot, lentille, pois chiche et petit pois) ont été évalués. La teneur en composés phénoliques varie entre 75 et 291mg/100gMS, les teneurs en flavonoïdes enregistrées montrent des concentrations entre 24 et 101mg/100g MS, les tannins, compte à elles, présentent des teneurs entre 1 et 9mg/100g MS. Les légumes secs détiennent des quantités en caroténoïdes allant de 1 à 9mg/100gMS. L'analyse du pouvoir réducteur des légumes secs cuits, montre des différences significatives allant de 2 à 9mg/100gMS. Les extraits indiquent aussi une variation du pouvoir anti-radicalaire entre 69 et 189mgEAG/100g MS. Concernant les eaux de cuisson des différents légumes secs, elles ne présentent que des quantités infimes en antioxydants et une activité antioxydante très faible.

Mots clés : Radicaux libres, antioxydants, activité antioxydante, composés phénoliques, légumes secs, cuisson.

Abstract

Dry vegetables are an important part of human diet. They are considered a good source of protein, fiber and contain significant amounts of antioxidants that are considered bioactive compounds beneficial to human health. In this study, the content of some antioxidants and antioxidant activity of five types of dry vegetables were evaluated. The phenolic contents varies between 75 and 291mg/100gDM, levels of flavonoïds recorded show concentrations between 24 and 101mg/100gDM, tanins, in that they offer values between 1 and 9mg/100gDM. Dry vegetables hold quantities of carotenoïds from 1 to 9mg/100gDM. The analysis of the reducing power, of cooked legumes, showed significant differences between 2 and 9mg/100gDM. The extracts also show a variation of the anti-radical power between 69 and 189mgEAG/100gDM. Regarding the cooking water of different dry vegetables, they show only very low amounts of antioxidants and antioxidant activity.

Keywords: Free radicals, antioxidants, antioxidant activity, phenolic compounds, dry vegetables, cooking.