

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A -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 Sciences Alimentaires

Thème

Effet de la cuisson sur la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante de deux espèces de courge (*Cucurbita pepo* et *Cucurbita moschata*) récoltées à Bejaia



Réalisé par :

M^{elle} : MAADSI Lynda

M^{elle} : KHALED Hassiba

Membres du Jury:

Présidente : M^{me} ACHAT S.

Examinatrice : M^{me} MAOUCHE N.

Examinatrice : M^{me} MEKHOUKHE A.

Promotrice : M^{elle} MINDJOU S.

Promotion : 2011-2012

Chapitre I

La courge

Chapitre II

Les antioxydants de la courge

Chapitre III

**Effet de la cuisson sur les
antioxydants**

***Matériel
et
méthodes***

Résultats
et
discussion

Conclusion

***Références
bibliographiques***

Annexes



REMERCIEMENTS



■ *Al 'issue de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu le bon Dieu de nous avoir aidé afin de réaliser ce travail.*

■ *Nous aimerons exprimer d'abord nos profonds remerciements à notre promotrice **M^{lle} Mindjou S.** Pour avoir accepté de nous encadrer, pour ses orientations et ses conseils qu'elle nous a prodigué tout au long de ce travail. Qu'elle trouve ici nos sentiments de gratitude et de profonde reconnaissance.*

■ *Nos remerciements s'adressent également à **M^{me} Maouche N.** d'avoir accepté de présider de jury, **M^{lle} Achat S.** et **M^{lle} Mekhoukhe A.** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

■ *Merci également à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce travail, en particulier **M^{me} Belkhir-Beder W.**, qu'ils trouvent ici notre profonde reconnaissance.*



Lynda et Hassiba





Dédicaces

Au nom du Dieu le tout puissant

Je dédie ce travail à :

❧ *Mes très chers parents*

❧ *Mes frères : Amar, Abdel Karim, Kamel, Zahir, Samir et Rabah.*

❧ *Mes sœurs : Tassadit et son mari Melek, Dalila, son adorable petit Ayoub et son mari Achour, houa et Farida.*

❧ *Sans oublier, mon bien aimé Samir et toute sa famille.*

❧ *Tous mes amis (es) surtout Nassou, Fatima, Safia, Lynda, Wardia, Saida, Timouche, Sabah, Massika, Baya, Latifa, Salima, Dalila, Zahra, Fofu et mes copines de chambre F 02 de Targa Ouzemour.*

❧ *La promotion 2012 de Sciences Alimentaires qui m'a vraiment me manquer.*





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents qui m'ont toujours soutenu

Mes frères et sœurs : Abdelghani, Abderrezak,

Lyakout et Dalila

Mon grand père et mes grands-mères

Mes cousins et mes cousines surtout Hanane

Tous mes amis (es) : Noudjoud, Dahbia, Kahina,

Ouardia et Zahia

A la promotion Sciences Alimentaires 2011/2012.

Hassiba

Liste des abréviations

- ADN** : Acide désoxyribonucléique ;
- ANOVA** : Analyse de la variance à un facteur ;
- DPPH** : 2-2-diphényl 1-picryl-hydrazyl ;
- EAA**: Equivalent acide ascorbique ;
- EAG**: Equivalent acide gallique ;
- EAT** : Equivalent acide tannique ;
- EBC**: Equivalent β carotène ;
- EC**: Equivalent cyanidine ;
- EQ**: Equivalent quercitine ;
- HCL** : Chlorure d'hydrogène ;
- H₂O₂**: Peroxyde d'hydrogène ;
- LSD** : Least Significant Difference ;
- MANOVA** : Analyse de la variance à plusieurs facteurs ;
- MF** : Matière fraîche ;
- MS** : Matière sèche ;
- PH** : Potentiel d'hydrogène ;
- T** : Température ;
- t** : Temps ;
- W** : Watt.

Figure 1 : Fruit entier d'une courge (a), coupe transversale d'une courge (b).	3
Figure 2 : Structures des acides vanillique (a), ferulique (b), hydroxybenzoïque (c), p-coumarique (d), p-hydroxybenzaldehyde (e) chlorogénique (f), syringique (g) et caféique (h) identifiés chez la courge.	10
Figure 3: Structures de kaempférol (a), myricétine (b) et morine (c) identifiés chez <i>Cucurbita maxima</i> .	11
Figure 4 : Structures chimiques de caroténoïdes identifiés chez <i>Cucurbita pepo</i> (b et c) et <i>Cucurbita moschata</i> (a, b, c et d) : β carotène (a), α carotène (b), lutéine (c), Violaxanthine (d).	14
Figure 5 : Structure chimique de la vitamine C identifiée dans la courge.	15
Figure 6 : Photos des deux variétés de la courge: Taankikth (a) et Temdewarth (b).	20
Figure 7 : Une coupe longitudinale des deux variétés de la courge: Taankikth (a) et Temdewarth(b).	21
Figure 8 : Taux d'humidité de deux variétés de la courge.	26
Figure 9 : Effet de la cuisson sur le taux de brix de deux variétés de la courge.	27
Figure 10 : Effet de la cuisson sur le pH de deux variétés de la courge.	29
Figure 11 : Effet de la cuisson sur la teneur des polyphénols totaux de deux variétés de la courge.	30
Figure 12 : Effet de la cuisson sur la teneur des flavonoïdes de deux variétés de la courge.	32
Figure 13 : Effet de la cuisson sur la teneur des caroténoïdes de deux variétés de la courge.	33
Figure 14 : Effet de la cuisson sur le pouvoir réducteur de deux variétés de la courge.	35
Figure 15 : Effet de la cuisson sur l'activité antiradicalaire (DPPH) de deux variétés de la courge.	37
Figure 16 : Effet de la cuisson sur la chélation du fer ferreux de deux variétés de la courge.	39
Figures en annexe I	
Figure 1: Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux.	50
Figure 2: Courbe d'étalonnage des flavonoïdes.	50
Figure 3: Courbe d'étalonnage des caroténoïdes.	51
Figure 4: Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur.	51

Figures en annexe II

- Figure 17 :** Corrélation entre le pouvoir réducteur et les polyphénols des deux variétés de la courge traitées à la vapeur. 52
- Figure 18 :** Corrélation entre le pouvoir réducteur et les polyphénols des deux variétés de courge à l'état frais. 52
- Figure 19 :** Corrélation entre le pouvoir réducteur et les flavonoïdes des deux variétés de la courge traitées à la vapeur. 52
- Figure 20 :** Corrélation entre le pouvoir réducteur et les flavonoïdes des deux variétés de la courge à l'état frais. 53
- Figure 21 :** Corrélation entre le DPPH (pourcentage d'inhibition) et les polyphénols des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie. 53
- Figure 22 :** Corrélation entre le DPPH (pourcentage d'inhibition) et les flavonoïdes des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie. 53
- Figure 23 :** Corrélation entre le DPPH (pourcentage d'inhibition) et les flavonoïdes des deux variétés de la courge à l'état frais. 54
- Figure 24:** Corrélation entre le DPPH (pourcentage d'inhibition) et les caroténoïdes des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie. 54
- Figure 25 :** Corrélation entre la chélation du fer ferreux (%) et les polyphénols des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie. 54
- Figure 26 :** Corrélation entre la chélation du fer ferreux (%) et les flavonoïdes des deux variétés de la courge traitées au micro onde. 55
- Figure 27:** Corrélation entre la chélation du fer ferreux (%) et les flavonoïdes des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie. 55
- Figure 28 :** Corrélation entre la chélation du fer ferreux (%) et les caroténoïdes des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie. 55

Tableau I : Classifications classique et phylogénétique de la courge.	4
Tableau II: Les principales espèces et variétés de la courge.	5
Tableau III : Les caractères distinctifs entre les deux espèces (<i>Cucurbita moschata</i> et <i>Cucurbita pepo</i>).	7
Tableau IV: Composition de la courge dans 100g.	8
Tableau V: Les caractéristiques morphologiques de deux variétés de la courge.	20
Tableau VI : Les coefficients de corrélations entre le pouvoir réducteur des extraits (cru et cuit) de courges et leurs antioxydants.	36
Tableau VII : Les coefficients de corrélations entre les activités antiradicalaires des extraits (cru et cuit) et leurs antioxydants.	38
Tableau VIII : Les coefficients de corrélations entre la chélation du fer ferreux des extraits (cru et cuit) et leurs antioxydants.	40

Introduction.....	1
Chapitre I : La courge	
I.1. Origine et présentation générale.....	2
I.2. Caractères botaniques et aspects descriptifs.....	2
I.3. Classification.....	3
I.4. La composition et valeur nutritionnelle	7
I.5. Utilisation.....	8
Chapitre II : Les antioxydants de la courge	
II.1. Les composés phénoliques.....	9
II.1.1. Les acides phénoliques.....	9
II.1.1.1. Les acides hydroxybenzoïques.....	9
II.1.1.2. Les acides hydroxycinnamiques.....	9
II.1.2. Les flavonoïdes.....	10
II.1.3. Les tanins.....	11
II.1.3.1. Les tannins hydrolysables.....	11
II.1.3.2. Les tannins condensés (proanthocyanidines).....	12
II.2. Propriétés antioxydantes des polyphénols.....	12
II.2.1. Propriétés antioxydantes des acides phénoliques.....	12
II.2.2. Propriétés antioxydantes des flavonoïdes.....	12
II.2.3. Propriétés antioxydantes des tanins.....	13
II.3. Les caroténoïdes.....	13
II.3.1. Les propriétés antioxydantes des caroténoïdes.....	14
II.4. La vitamine C.....	15
II.6. Les propriétés antioxydantes de la vitamine C.....	15
Chapitre III : Effet de la cuisson sur les antioxydants	
III.1. La cuisson.....	17
III.2. Les effets de la cuisson sur les aliments	17
III.3. Les effets de la cuisson sur les antioxydants.....	17
III.3.1. Les composés phénoliques.....	17
III.3.1.1. Les flavonoïdes.....	18
III.3.1.2. Les tanins.....	18
III.3.2. Les caroténoïdes.....	18

III.3.3. La vitamine C.....	19
Partie expérimentale	
I. Matériels et méthodes	
1. Echantillonnage.....	20
2. Détermination du taux humidité.....	21
3. Préparation des échantillons.....	21
4. Détermination de quelques paramètres physico-chimiques.....	22
4.1. Détermination du brix.....	22
4.2. Mesure du potentiel d'hydrogène (pH).....	22
5. Extraction des polyphénols totaux.....	22
6. Dosages des antioxydants de la courge.....	23
6.1. Dosage des composés phénoliques totaux.....	23
6.1.1. Dosage des flavonoïdes.....	23
6.2. Dosage des caroténoïdes totaux.....	23
7. Détermination de l'activité antioxydante.....	24
7.1. Evaluation du pouvoir réducteur.....	24
7.2. Activité antiradicalaire du radical DPPH.....	24
7.3. Chélation du fer ferreux.....	24
8. Etude statistique.....	25
II. Résultats et discussion	
1. Taux d'humidité.....	26
2. Paramètres physico-chimiques.....	27
2.1. Taux de brix.....	27
2.2. Potentiel d'hydrogène (pH).....	28
3. Les antioxydants de la courge.....	29
3.1. Les composés phénoliques totaux.....	29
3.1.1. Flavonoïdes.....	31
3.2. Caroténoïdes.....	32
4. Les activités antioxydantes.....	34
4.1. Pouvoir réducteur.....	34
4.2. Activité antiradicalaire (DPPH).....	36
4.3. Chélation du fer ferreux.....	38
Conclusion.....	41

Références bibliographiques.....	43
Annexes.....	49

Introduction

Radicaux libres, espèces réactives de l'oxygène, stress oxydant et antioxydants, deviennent des termes de plus en plus familiers pour les professionnels de la santé et même pour le publique.

Une alimentation riche en fruits et légumes est un facteur primordial dans la protection contre diverses pathologies, la richesse de ces aliments en antioxydants (acide ascorbique, tocophérols, caroténoïdes et polyphénols) est à l'origine de leurs effets préventifs contre ces maladies en neutralisant les radicaux libres.

Parmi les aliments associés à cet effet protecteur, les courges jouent un rôle important, elles sont une source de plusieurs molécules fonctionnelles et contiennent des substances dotées d'activités antioxydantes, qui protègent l'organisme des maladies dégénératives, pouvant réduire le risque de certains cancers et renforcent les défenses immunitaires (Caili *et al.*, 2006).

La cuisson des aliments est indispensable pour obtenir des produits alimentaires avec des propriétés organoleptiques appréciables par les consommateurs. Elle élimine la majorité des germes d'altération mais elle peut affecter certaines molécules bioactives (antioxydants) présents dans ces aliments.

Le travail entrepris dans le présent mémoire est dans le but de doser les polyphénols totaux et caroténoïdes contenus dans la chair de deux espèces du genre *Cucurbita* et d'évaluer leur activité antioxydante à état frais et après cuisson (vapeur, four, micro onde et eau bouillie), pour cela le travail est scindé en deux parties.

Dans une première partie, la synthèse bibliographique, sur laquelle s'est construit le travail, est exposée en trois points: description de la courge, les antioxydants de la courge et l'effet de la cuisson sur les antioxydants.

La deuxième partie du travail a été porté sur l'échantillonnage et la cuisson de ses échantillons par différents modes de cuisson (vapeur, four, micro onde et eau bouillie), suivi de la détermination de quelques paramètres physico-chimiques des purées et de leur jus de cuisson, extraction des polyphénols totaux par acétone 90% (v/v), dosage des antioxydants de la courge (composés phénoliques totaux, flavonoïdes et caroténoïdes) et évaluation de quelques activités antioxydantes (DPPH, pouvoir réducteur et la chélation du fer ferreux).

Chapitre I

La courge

I.1. Origine et présentation générale

La courge regroupe un certain nombre d'espèces du genre *Cucurbita* appartenant à la famille des cucurbitacées. Elles sont toutes originaires des zones tropicales d'Amérique, leur présence et utilisation dans l'alimentation humaine a été décelée au Mexique 7000 ans avant notre ère. Primitivement cueillies par les peuplades itinérantes, elles furent ultérieurement cultivées par les civilisations sédentaires.

Après la découverte du Nouveau Monde, leur durée de conservation (surtout pour les courges d'hiver) et leur effet antiscorbutique, ne tardèrent pas à les faire adopter par les navigateurs, ce qui a facilité leur dissémination sur tous les continents. Leur extension se poursuivit au cours des XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles, de nombreuses variétés apparaissent au XIX^{ème} siècle, ce qui a permis leur classification botanique (Chaux et Foury, 1994).

Les ancêtres communs de toutes les courges contiennent une substance appelée cucurbitacine qui est toxique et responsable de l'amertume (gout amer), cette dernière a pu être éliminée dans les variétés cultivées par des procédés de sélection (Pahud *et al.*, 2006).

I.2. Caractères botaniques et aspects descriptifs

a) La plante

La courge est une plante annuelle à larges feuilles plus ou moins incisées, monoïques et à tiges rampantes ou non. Elle est caractérisée par une fleur à corolle jaune largement étalée aux lobes réfléchis ou dressés. Sa longévité est de l'ordre de 6 à 8 ans.

b) Les fruits

Les fruits ont des formes très variables selon les variétés, certains sont arrondis ou ovoïdes, d'autres sont aplatis. Ils sont généralement volumineux à nombreuses graines. La chair est de couleur jaune ou orange, ferme et comestible après cuisson.

Les graines sont blanches ivoires à brunes ovales aplaties à tégument coriace. L'écorce est parfois lisse ou faiblement brodée, de couleur verte foncée, jaune ou orange (Laumonnier, 1988; Chaux et Foury, 1994). La figure 1 représente un fruit entier et une coupe transversale d'une courge.

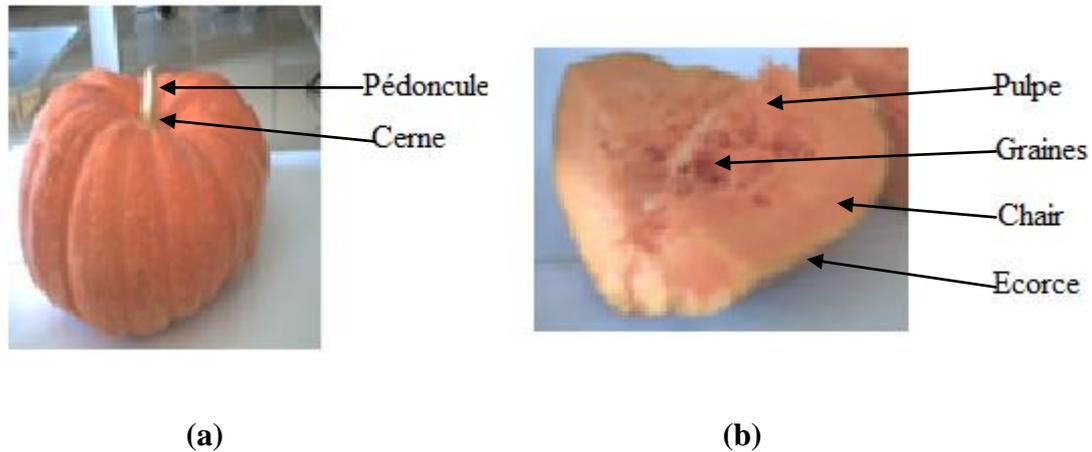


Figure 1 : Fruit entier d'une courge (a), coupe transversale d'une courge (b) (photos originales)

I.3. Classification

Les courges sont regroupées en deux grandes catégories : les courges d'été et les courges d'hiver. Cette classification repose sur la durée de conservation, les courges d'été se conservent peu de temps quant aux courges d'hiver leur durée de conservation est plus longue, ceci est dû à l'épaisseur de leur peau (Pahud *et al.*, 2006).

Les courges appartiennent au genre *Cucurbita*, qui comprend plusieurs espèces d'été et d'hiver. A côté des espèces sauvages, amères et impropres à la consommation, six espèces comestibles ont été identifiées :

- *Cucurbita ficifolia* (courge à feuilles de figuier);
- *Cucurbita argyrosperma* ou *mixa* (chayote);
- *Telfairia occidentalis* Hook ;
- *Cucurbita maxima* (potiron) ;
- *Cucurbita moschata* (courge musquée);
- *Cucurbita pepo* (citrouille) (Caili *et al.*, 2006).

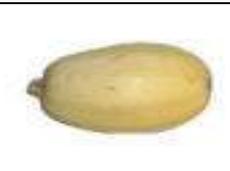
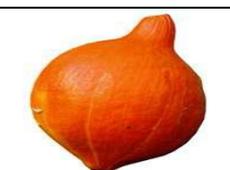
Le tableau I représente les classifications classique et phylogénétique de la courge.

Tableau I : Classifications classique et phylogénétique de la courge (Vanier, 2007).

Classification classique	
Règne	Plantae
Division	Manoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Famille	<i>Cucurbitaceae</i>
Genre	<i>Cucurbita</i>
Espèces	Voir variétés
Classification phylogénétique	
Ordre	Cucurbitales
Famille	<i>Cucurbitaceae</i>

Les trois dernières (*C.moschata*, *C. pepo*, *C. maxima*) représentent les espèce les plus cultivées et abondantes dans le monde (Caili *et al.*, 2006). Le tableau II illustre les principales espèces et variétés de la courge.

Tableau II : Les principales espèces et variétés de la courge (Polese, 2006).

Espèces	Variétés	Images
<i>Cucurbita moschata</i>	Courge musquée (Courge Butternut)	
	Musquée de Provence	
<i>Cucurbita pepo</i>	Citrouille	
	Pâtisson	
	Courge spaghetti	
<i>Cucurbita maxima</i>	Giraumon	
	Potiron	
	Potimarron	

La présence de nombreuses variétés et espèces du genre *Cucurbita* nous a conduit à choisir deux variétés d'espèces différentes (*Cucurbita moschata* et *Cucurbita pepo*), pour réaliser cette présente étude.

❖ *Cucurbita pepo* (citrouille)

Cucurbita pepo est une espèce très répandue, elle renferme plusieurs variétés voir la courgette, la citrouille, le pâtisson, etc. La plante entière porte des piquants et les feuilles sont de couleur verte unie ou tachetées de clair, découpées en 5 lobes aigus. Ces courges peuvent être coureuses ou non.

Le pédoncule devient très dur à maturité, mais il est marqué de cinq côtes longitudinales. Souvent, ces côtes se prolongent sur le fruit ou continuent sur ce dernier avec une couleur différente (Polese, 2006).

❖ *Cucurbita moschata*

Cucurbita moschata ou courge musquée renferme de nombreuses variétés (La courge longue de Nice, la courge Butternut,...), son pédoncule est dur et marqué de côtes comme *Cucurbita pepo* mais contrairement à cette espèce, il s'élargit nettement au contact du fruit.

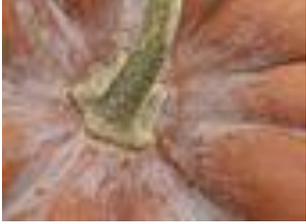
Le fruit est souvent aplati et côtelé, ou bien cylindrique et allongé. Ce sont, en général, des variétés coureuses. Les feuilles sont vertes marbrées de blanc, entières ou avec des lobes peu prononcés et présentent des zones décolorées argentées sur les nervures, ce qui les protègent contre le soleil. Ce groupe est subdivisé en deux catégories :

- Les courges en forme de poire plus au moins allongées jusqu'à un mètre de long (Butternut). Les graines se trouvent dans la partie renflée.
- Les courges en forme de potiron, très côtelées et légèrement aplaties dont la chair est d'une couleur orange saturée (courge musquée de Provence) (Polese, 2006).

Pour distinguer entre les espèces de courges, des critères d'identification ont été établis voir la forme et la couleur des feuilles, pédoncule et graines (nombre et couleur) (Gagnon *et al.*, 2007).

Le tableau III présente les caractères distinctifs entre les deux espèces : *Cucurbita moschata* et *Cucurbita pepo*.

Tableau III: Les caractères distinctifs entre les deux espèces (*Cucurbita moschata* et *Cucurbita pepo*) (Gagnon *et al.*, 2007).

Espèces	Feuilles	Pédoncules	Graines
<p><i>Cucurbita moschata</i> (Courge musquée)</p>	 <p>Entières, cordiformes marbrées de blanc veloutées.</p>	 <p>Anguleux à cinq côtes nettement élargi au point d'insertion sur le fruit</p>	<p>Petites (10 à 12 mm), aplaties, ovales, grises brunes à ocre foncé pelliculeuses, marges fortement marquées et ondulées</p>
<p><i>Cucurbita pepo</i> (Citrouille)</p>	 <p>Profondément découpées marbrées de blanc</p>	 <p>Anguleux à cinq côtes ne s'élargit pas au point d'insertion</p>	<p>Petites (7 à 20 mm) beiges et lisses</p>

Certaines espèces de courges sont identifiées et cultivées en Algérie en se basant sur les critères cités précédemment (pédoncule, feuille et graines). En plus, leur culture est favorisée par les conditions climatiques et la nature des sols.

Les principales variétés de courges caractérisées et répondues en Kabylie sont : Avouchekouf, Temdewarth et Taankikth appartenant aux espèces, *C. maxima*, *C. pepo* et *C.moschata* respectivement.

1.4. La composition et valeur nutritionnelle

La courge est un fruit pauvre en calories, riche en vitamines (notamment vitamines A, B, C), phosphore, fer, calcium, sodium et contient également une petite quantité de zinc,

civre et magnésium (Rakcejeva *et al.*, 2011). Le tableau IV représente la composition chimique de la courge.

Tableau IV : Composition de la courge dans 100g (Adrian *et al.*, 1995).

Composition	Quantité
Eau (g)	91,5
Protéines (g)	1
Lipides	Traces
Glucides totaux (g)	6,5
Cendres (g)	0,8
Energie (K cal)	25

I.5. Utilisation

Les courges sont consommées généralement cuites à l'exception des courges vraies (*Cucurbita pepo*) qui peuvent être ingérées crues, leurs graines (rôties ou salées) et fleurs sont également comestibles.

Dans toutes les anciennes civilisations avant l'emploi de la poterie, les courges sont utilisées pour la fabrication des vases, récipients et cuillères ainsi pour les instruments de musique (Polese, 2006).

Dans le domaine agroalimentaire, de nombreux produits et préparations à base de courge sont commercialisés tels que les confitures, sirops et gelées et aussi utilisées comme additif dans divers produits destinés pour notre alimentation (Nawirska, 2009; Tamer *et al.*, 2010).

Sur le plan thérapeutique, plusieurs études ont montré que la courge présente de nombreuses propriétés biologiques : activité antidiabétique, antioxydantes, antihypertensive, antitumorale, immunomodulation, antibactérienne, antihypocholestérolémiante, et activité antiparasitaire intestinale (Caili *et al.*, 2006).

Les graines sont consommées frais ou rôti pour le soulagement des crampes abdominales et distensions dues aux vers intestinaux et l'huile extraite de ces dernières est utilisée pour soulager les troubles bénins de la prostate (Xanthopoulou *et al.*, 2009).

Chapitre II

Les antioxydants de la courge

Les antioxydants sont des substances qui protègent notre organisme des dommages causés par les radicaux libres. Ces derniers sont des composés très réactifs, impliqués dans le développement de diverses maladies, notamment les maladies cardiovasculaires, certains cancers et d'autres maladies liées au vieillissement.

Les principales molécules antioxydantes présentes dans la courge sont les caroténoïdes, vitamine C et flavonoïdes (Chanwitheesuk *et al.*, 2005).

II.1. Les composés phénoliques

Les polyphénols sont très nombreux, plus de 8000 molécules sont identifiées, repartis en une dizaine de classes chimiques qui présentent en commun dans leur structure au moins un cycle aromatique à six carbones, ce dernier est lié à un nombre variable de fonctions hydroxyles (OH) (Hennebelle *et al.*, 2004).

Les polyphénols sont des molécules organiques hydrosolubles, ils sont classés selon le nombre d'arrangement des atomes de carbone, la nature de leur squelette carboné et la longueur de la chaîne aliphatique liée au noyau benzénique. Les composés phénoliques sont capables de se conjuguer à des oses ou à des acides organiques (Chira *et al.*, 2008).

II.1.1. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des composés organiques possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique, subdivisés en deux groupes: les acides hydroxybenzoïques et hydroxycinnamiques (Bruneton, 1999).

II.1.1.1. Acides hydroxybenzoïques

Les acides hydroxybenzoïques présentent une structure en C6-C1, composés d'un noyau benzénique lié à une chaîne aliphatique avec un carbone, ils regroupent les acides vanillique, syringique, gentisique et gallique (Chira *et al.*, 2008).

II.1.1.2. Acides hydroxycinnamiques

L'acide cinnamique est un composé (C6-C3) obtenu par une désamination de la phénylalanine quant à l'acide paracoumarique (ρ -coumarique) est produit par hydroxylation de l'acide cinnamique (Chira *et al.*, 2008).

Les acides phénoliques identifiés chez *Cucurbita pepo* de la courge sont représentés par les acides ρ -hydroxybenzoïque, ρ -hydroxybenzaldehyde, vanillique, trans- ρ -coumarique et ferulique dans l'écorce tandis que pour la chair (purée), elle contient les acides chlorogéniques, syringique et caféique (Pericin *et al.*, 2009).

La figure 2 représente les acides phénoliques identifiés chez *Cucurbita pepo*.

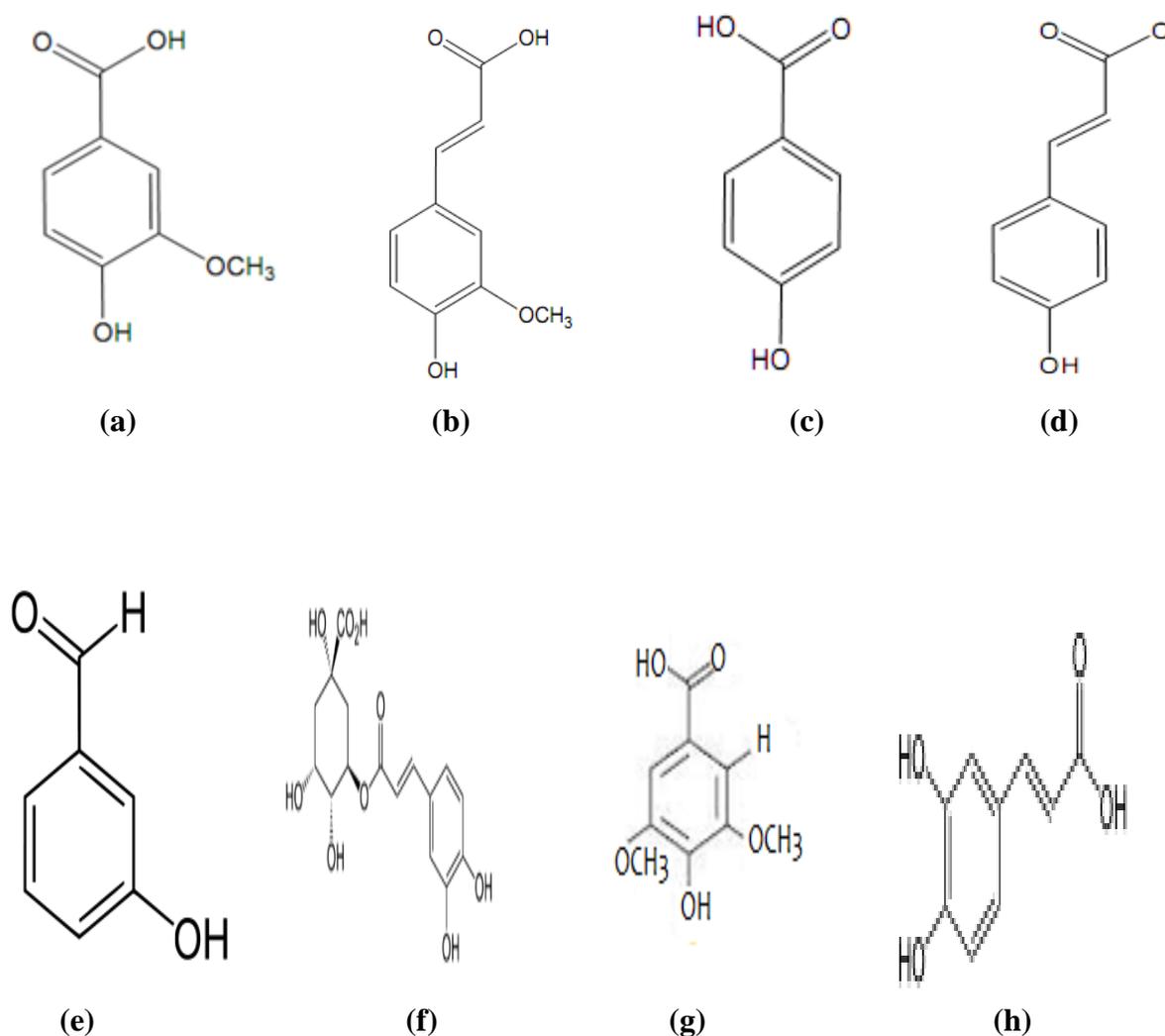


Figure 2 : Structures des acides vanillique (a), ferulique (b), hydroxybenzoïques (c), p-coumarique (d), p-hydroxybenzaldehyde (e) chlorogénique (f), syringique (g) et caféique (h), identifiés chez la courge (Vermerris et Nicholson, 2006).

II.1.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés très répandus et importants parmi tous les composés phénoliques, ils renferment 15 atomes de carbone formant une structure C6-C3-C6 (deux noyaux aromatiques reliés par un pont de 3 carbones).

Les flavonoïdes sont considérés comme les principaux pigments des végétaux, responsables de la coloration des fleurs, fruits et parfois des feuilles, repartis en plusieurs classes dont les principales sont : les flavones, flavonols, flavan-3-ols, isoflavones, flavanones et anthocyanidines (Bruneton, 1999; Chira *et al.*, 2008).

Selon Lako *et al.* (2007), les flavonoïdes identifiés à partir de la chair traitée par la vapeur pour *Cucurbita maxima* récoltée en Australie sont représentés par la myricétine et morine, ces deux composés appartiennent à la classe des flavonols et d'après les travaux réalisés par Miean et Mohamed. (2000), le flavonoïde retrouvé chez *Cucurbita maxima* récolté en Malaisie est le kaempférol (flavonols).

La figure 3 illustre les structures de kaempférol, myricétine et morine, identifiés dans la courge.

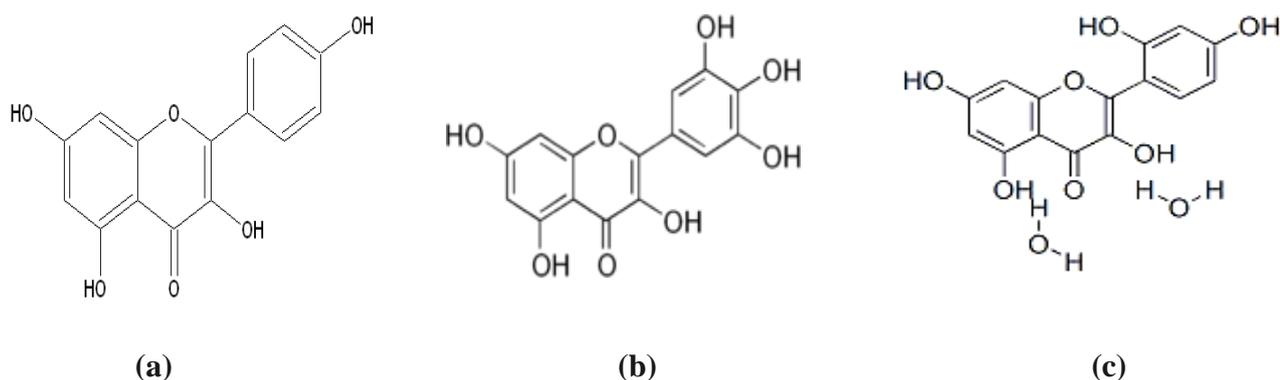


Figure 3: Structures de kaempférol (a), myricétine (b) et morine (c) identifiés chez *Cucurbita maxima* (Miean et Mohamed, 2000; Lako *et al.*, 2007)

II.1.3. Les tanins

Les tanins sont des métabolites secondaires présents dans de nombreuses plantes ligneuses et herbacées, localisés dans les tiges, feuilles, fruits ou graines et dans les vacuoles cytoplasmiques des cellules périphériques qui sont situées au niveau de l'épiderme (Zimmer et Cordesse, 1996).

Chez les végétaux supérieurs, deux groupes de tanins sont distingués (tanins hydrolysables et tanins condensés), ces deux groupes se différencient par leurs structures (Bruneton, 1999).

II.1.3.1. Les tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables sont des esters (oligo ou polyesters) de sucres (généralement le glucose) et d'acides phénoliques (acide gallique pour les tanins galliques ou acide hexahydroxydiphénique (HHDP) et ses dérivés d'oxydation pour les tanins ellagiques), ils ont un poids moléculaire compris entre 500 et 3000 Dalton (Bruneton, 1999; Adrian *et al.*, 2003).

II.1.3.2. Les tanins condensés

Les tanins condensés ou proanthocyanidols sont des polymères flavaniques, constitués d'unités de flavan-3-ols avec un poids moléculaire très élevé (Amory et Schubert, 1987; Adrian *et al.*, 2003; Vermerris et Nicholson, 2006; Bruneton, 2008).

Selon les travaux réalisés par Chanwitheesuk *et al.* (2005), la teneur en tanins des feuilles de *Cucurbita moschata* récoltée en Thaïlande est égale à 4.48mg EAT/100g, elle est égale à 0,228g EC/100g, pour la farine des graines de *Telfiria occidentalis Hook* cultivée au Sudan, d'après Hamed *et al.* (2008) quant Okwu et Ukanwa (2007), ont observé que la teneur des tanins totaux de la chair de *Telfaria Occidentalis Hook* récoltée au Niger est faible (0,83 mg EAT/100g après huit semaines de plantation). Selon ces résultats les graines de la courge sont riches en tanins par rapport aux feuilles et la chair.

II.2. Propriétés antioxydantes des polyphénols

L'intérêt des polyphénols réside dans leurs propriétés antioxydantes, ils sont capables de piéger les radicaux libres générés en permanence par notre organisme ou formés par notre environnement (Barkat et Kadri, 2011).

II.2.1. Propriétés antioxydantes des acides phénoliques

Les acides phénoliques possèdent un pouvoir antioxydant important, ils neutralisent les radicaux libres qui endommagent les cellules, ce qui à pour effet de renforcer les défenses immunitaires (Bastian, 2006).

II.2.2. Propriétés antioxydantes des flavonoïdes

Les flavonoïdes sont capables de réduire les radicaux libres comme le superoxyde (O_2^{\cdot}), peroxyde (ROO^{\cdot}), alkoxyde (RO^{\cdot}) et hydroxyle (OH^{\cdot}) par transfert d'hydrogène (Ghedira, 2005).



(Ou R^{\cdot} représente : O_2^{\cdot} , ROO^{\cdot} , RO^{\cdot} , OH^{\cdot}) (Marfak, 2003).

Les flavonoïdes sont susceptibles de réagir avec la plupart des espèces réactives oxygénées. En effet, leur activité antiradicalaire nécessite:

- La structure ortho-diphénolique du cycle B, qui est essentielle à l'activité des flavonoïdes possédant un hétérocycle saturé ;

- La double liaison 2-3 conjuguée avec la fonction 4-oxo-, qui est responsable de la délocalisation d'électrons stabilisant le radical aroxyyl ;
- Les hydroxyles en positions 3 et 5 qui permettent une activité antiradicalaire maximale (Hadi, 2004).

II.2.3. Propriétés antioxydantes des tanins

Les radicaux libres tels que le fer et le cuivre sous forme libre sont des espèces chimiques instables et très réactives, ils s'attaquent à l'ADN et perturbent le processus de réplication, induisant des mutations suivies des processus tumoraux.

De nombreux tanins présentent des propriétés antioxydantes par la neutralisation des radicaux libres ou par inactivation des ions prooxydants par le biais de leurs fonctions phénoliques, qui ont un fort caractère nucléophile.

Des activités antimutagènes et anticancéreuses sont attribuées à certains tanins en raison de leur propriété antioxydante (Brunet, 2008).

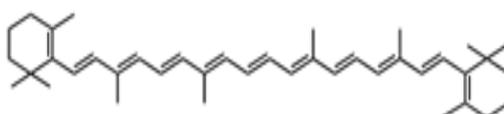
II.3. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments de couleur jaune, orange et rouge des végétaux, plus de 600 caroténoïdes sont présents dans la nature (Otty, 2010).

Les caroténoïdes sont des tétraterpènes avec huit doubles liaisons non conjuguées et comprennent 40 atomes de carbone. Selon l'arrangement des doubles liaisons, les caroténoïdes sont répartis en deux classes, représentés par les carotènes et xanthophylles (contiennent des groupements hydroxyle, méthoxyl, carboxylique, cétonique ou epoxy) (Basu *et al.*, 2001).

La courge est une bonne source de caroténoïdes, quelques espèces et variétés sont riches en provitamine A, principalement le β -carotène et α -carotène (Garcia *et al.*, 2007).

Selon les travaux de Rodriguez-Amaya *et al.* (2001), les caroténoïdes identifiés à partir de la chair pour *Cucurbita pepo* sont représentés par le lutéine et α -carotène alors que pour *Cucurbita moschata*, ils ont observé la présence du β -carotène, α -carotène, lutéine et violaxanthine (figure 4).



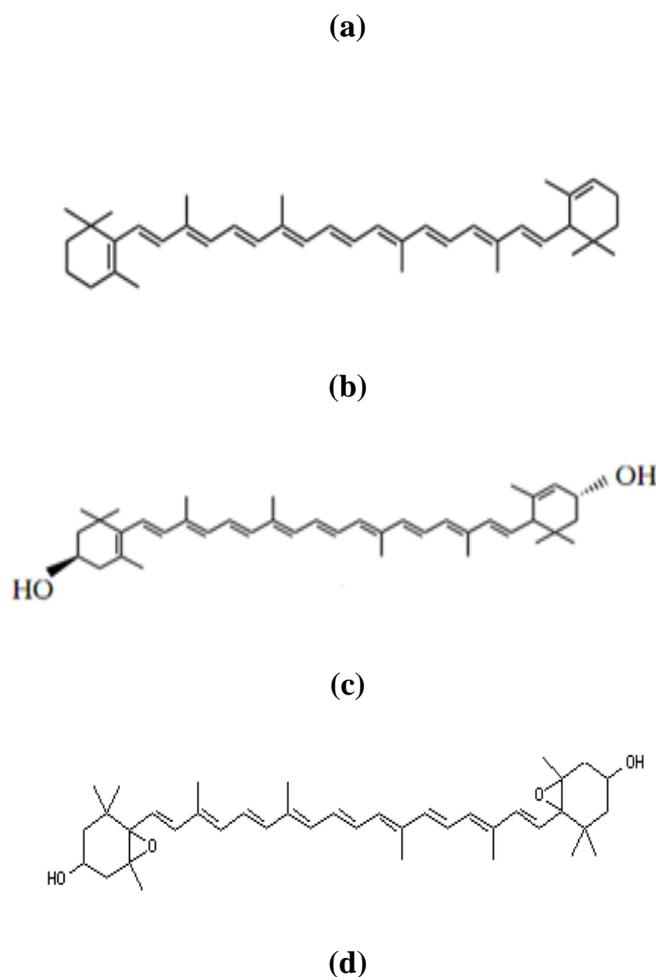
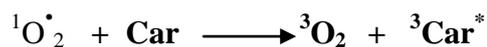


Figure 4 : Structures chimiques de caroténoïdes identifiés chez *Cucurbita pepo* (b et c) et *Cucurbita moschata* (a, b, c et d) : β carotène (a), α carotène (b), lutéine (c), Violaxanthine (d) (Rodriguez-Amaya *et al.*, 2001).

II.3.1. Les propriétés antioxydantes des caroténoïdes

L'activité antioxydante des caroténoïdes est basée sur l'inactivation de l'oxygène singulet, impliquant un transfert d'énergie à partir de $^1\text{O}_2$ aux caroténoïdes, ce qui conduit à la formation de caroténoïdes triplets instables ($^3\text{Car}^*$) et l'oxygène à l'état fondamental ($^3\text{O}_2$).



Le caroténoïde formé peut revenir à son état fondamental en absorbant son énergie par des interactions de rotations et vibrations du milieu (Krinsky et Johnson, 2005).



II.4. La vitamine C

L'acide ascorbique est abondant dans les cellules végétales (Hernandez *et al.*, 2005), c'est une substance incolore qui donne une couleur jaune à la maturité du végétal (surtout en atmosphère humide), très soluble dans l'eau et moins dans l'alcool. Etant un réducteur puissant, il est très sensible à l'oxygène, aux oxydants et catalyseurs de l'oxydation (Adrian *et al.*, 2003).

La vitamine C contribue à la formation du tissu conjonctif (collagène) et de la matrice protidique du tissu osseux (synthèse de l'hydroxyproline), elle stimule les réactions de défenses de l'organisme face aux attaques infectieuses (Adrian *et al.*, 2003).

La courge est un fruit très riche en vitamine C, selon les travaux de Mawamba *et al.* (2009), les concentrations en vitamine C obtenues à partir de la chair de *Cucurbita moschata*, *Cucurbita maxima* et *Cucurbita pepo* sont à raison de 9,31 mg/100g, 17,51 mg/100g et 19,13 mg/100g respectivement.

La figure 5 représente la structure chimique de la vitamine C identifiée dans la courge.

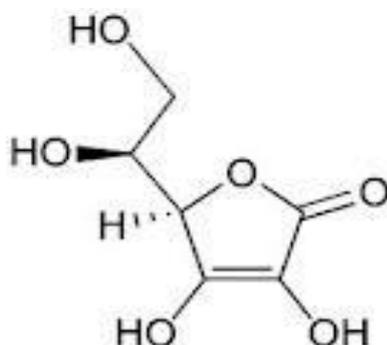


Figure 5 : Structure chimique de la vitamine C identifiée dans la courge.

II.4.1. Les propriétés antioxydantes de la vitamine C

L'acide ascorbique est un antioxydant fort, il a la capacité d'éliminer plusieurs espèces réactives oxygénés (Hernandez *et al.*, 2005).

Le mode d'action de la vitamine C est très controversé par rapport à son effet protecteur ou activateur pour la toxicité de l'oxygène.

Selon le pH et la présence des métaux de transition, la vitamine C peut prendre une forme réduite ou oxydée. Le passage d'une forme à l'autre se fait par l'intermédiaire d'un radical libre, le radical ascorbyle et en présence de glutathion/glutathion-réductase.

La vitamine C forme donc un couple redox avec une forme intermédiaire radicalaire capable de capter l'oxygène singulet et certaines espèces radicalaires, ce qui conduit à une protection de la peau contre les rayons ultraviolets, mais à forte concentration, la vitamine C peut se comporter comme un prooxydant générateur de radicaux libres (Hadi, 2004).

Chapitre III

**Effet de la cuisson sur les
antioxydants**

III.1. La cuisson

La cuisson est un traitement à la chaleur appliqué aux aliments pour améliorer les propriétés organoleptiques par la transformation de leur aspect, gout, couleur et aussi elle contribue dans la conservation par élimination des microorganismes pathogènes et les germes d'altération (Dutta *et al.*, 2006).

Elle est réalisée par diverses méthodes la chélation du fer ferreux es:

- * Blanchiment ;
- * Pasteurisation ;
- * Stérilisation ;
- * Par une eau bouillie à 100 °C ;
- * Dans l'huile (friture) à une température qui varie entre 150 à 190 °C ;
- * Dans un four classique à une température qui varie entre 100 à 275 °C ;
- * Dans un micro onde ;
- * À la vapeur (Seignalet, 2004).

III.2. Les effets de la cuisson sur les aliments

Au cours de la cuisson (élévation de la température) et sous l'effet d'agitation, les molécules subissent un choc, elles se brisent et se recombinaient au hasard à d'autres molécules pour former de nouvelles structures très complexes, dont certaines n'existent pas dans la nature et leurs propriétés sont inconnues comme la polymérisation des sucres, oxydation, polymérisation et cyclisation des huiles (Seignalet, 2004).

III.3. Les effets de la cuisson sur les antioxydants

La cuisson peut dégrader certaines molécules fonctionnelles utiles pour notre organisme, notamment les antioxydants contenus dans notre alimentation. Ces substances protectrices peuvent être inactivées par la chaleur ou s'échapper pour être empruntées par l'eau de cuisson.

III.3.1. Les composés phénoliques

La teneur et la nature des polyphénols présents dans les légumes varient en fonction de nombreux facteurs tels que les facteurs externes (biotiques et abiotiques), facteurs génétiques (variété et espèce), âge des organes, stades de maturation et les transformations de la matière première végétale réalisées par l'homme (Barkat et Kadri, 2011).

D'après Barkat et Kadri. (2011), la teneur en composés phénoliques de quelques légumes (céleri vert, épinard, choux vert, fenouil, laitue et haricot vert) augmente après cuisson à la vapeur, quant après cuisson à eau bouillie, elle diminue. Ces variations peuvent s'expliquer par la nature et la teneur des polyphénols solubles présents dans les légumes analysés.

III.3.2. Les flavonoïdes

Selon Perla *et al.* (2012), la teneur en flavonoïdes de quelques variétés de la pomme de terre (Majesté pourpre, Reinette de mesa, Silverton Russet,..) diminue après cuisson au four, micro onde et eau bouillie, cette perte est importante, après cuisson au four et micro onde quant aux variétés CO97222-1R/R et CO97226-2R/R, la concentration en flavonoïdes reste élevée après traitement (four, micro onde et eau bouillie).

Pour la tomate et oignon, la teneur en quercétine diminue après cuisson au micro onde, eau bouillie et friture, une réduction importante a été constatée pour la cuisson au micro onde (Miean et Mohamed, 2000).

III.3.3. Les tanins

Selon Somsu *et al.*, (2008), la teneur en tanins des feuilles et fleurs de plusieurs légumes (feuilles *Acacia pennata*, feuilles bittercucumber, fleur de banane,...), diminue après cuisson à eau bouillie et à l'huile (friture).

III.3.4. Les caroténoïdes

Selon les travaux réalisés par Chuah *et al.* (2008), la concentration en caroténoïdes de quelques variétés de poivron (Poivron vert, Paprika vert, Paprika orange,...), diminue après cuisson au micro onde, eau bouillie et friture; une diminution importante est enregistrée pour le poivron vert et le paprika orange par la cuisson à ébullition quant autres variétés du poivron (Paprika rouge), l'effet de la cuisson n'a provoqué aucun changement sur la teneur en caroténoïdes par rapport aux autres variétés du poivron.

D'après Ferracane *et al.* (2008), la teneur en caroténoïdes dans les artichauts augmente après cuisson à la vapeur, eau bouillie et friture, particulièrement la cuisson à eau bouillie, cette augmentation est due à la rupture des liaisons non covalentes entre les caroténoïdes et protéines présents dans les chloroplastes des cellules.

III.3.6. La vitamine C

La vitamine C est facilement détruite par oxydation pendant le stockage et la cuisson (Heldman, 1995).

La cuisson par eau bouillie et séchage diminue la concentration en acide ascorbique dans les feuilles de six légumes (*Telfairia occidentalis*, *TalinumTriangulare*, *Amaranthus tricolor*, *Gnetum africanum*, *Veronia amygdalina* et *Pterocarpussoyanki*) comestibles en Niger (Onyeike *et al.*, 2003).

D'après Lyimo *et al.* (1991), la perte en acide ascorbique est de 80% quand des feuilles de *Cucurbita moschata*, *Manhot esculentus*, et *Sesbania spp* sont cuites dans l'eau bouillie.

Selon les travaux de Mawamba *et al.* (2009), la concentration en vitamine C diminue après traitement à la vapeur (T= 90°C et t= 30 min). Une diminution de 63,91% (3,36 mg/100g), 49,06% (8,92 mg/100g) et 54,42% (8,72 mg/100g), a été observée, pour les espèces *Cucurbita moschata*, *Cucurbita maxima* et *Cucurbita pepo* respectivement.

***Matériel
et
méthodes***

1. Echantillonnage

Les variétés Taankikth et Temdewarth de la courge appartenant aux espèces *Cucurbita moschata* et *Cucurbita pepo* respectivement, ont été récoltée durant le mois d'Octobre 2011 à Timezrit. Les caractéristiques de ces deux variétés (fruit sain, maturation complète, couleur uniforme, nombre de graine, etc.), sont représentées dans le tableau V et la figure 6 et 7.

Tableau V: Les caractéristiques morphologiques de deux variétés de la courge

Espèces de la courge	Variétés	forme et Couleur	Largeur (cm)	Longueur (cm)	Epaisseur (cm)	Poids (kg)	Nombre de graines	origines
<i>Cucurbita moschata</i>	Taankikth	allongée et Crème	27,75	43,7	2,7	3,520	274	Timezrit
<i>Cucurbita pepo</i>	Temdewarth	ronde et Orange	27	60	3	2,350	340	Timezrit



(a)



(b)

Figure 6 : Photos des deux variétés de la courge: Taankikth (a) et Temdewarth (b).

La chair est séparée des graines pour les deux variétés, puis la chair est coupée en morceaux, ces derniers sont directement conservés dans un réfrigérateur (+4°C). La figure a et b représente une coupe longitudinale pour les deux variétés de la courge.



(a)



(b)

Figure 7: Une coupe longitudinale des deux variétés de la courge: Taankikth (a) et Temdewarth (b).

2. Détermination du taux d'humidité

Un poids de 5g de la chair de chaque variété est placé dans une étuve à une température de $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 24 à 48 heures (Pinelo *et al.*, 2004). Le taux d'humidité de la courge pour les deux variétés est exprimé en pourcentage (%).

3. Préparation des échantillons

Un poids de 250g de la chair coupée en petits morceaux égaux puis divisés en 5 parties (50 g pour chaque application) pour les deux variétés de la courge. 50g sont maintenus à l'état frais tandis que les quatre autres pesées ont subi des traitements de cuissons différents (Turkmen *et al.*, 2005). Les traitements de cuissons effectués sont:

- **Ebullition**

Un poids de 50g de la chair pour les deux variétés est additionné de 250ml d'eau, bouillir (100°C) pendant 15 minutes dans une casserole d'acier inoxydable.

- **Cuisson par micro onde**

Un poids de 50g de la chair est placé dans un plat en verre sans couvercle, additionné de 250ml d'eau puis traité dans un micro onde pendant 25 minutes avec une puissance de 500 watt.

- **Cuisson à la vapeur**

Un poids de 50g de la chair placé dans un couscoussier avec couvercle en verre et traité à la vapeur pendant 20 minutes produite par l'eau (une eau devient vapeur à une température de 100°C et la courge est en contact direct avec la chaleur mais pas avec celle du feu).

- **Cuisson au four**

Un poids de 50g de la chair est placé dans un plat d'acier inoxydable sans couvercle, additionné de 250ml d'eau, traité au four à une température de 100°C pendant 25 minutes (McDougall *et al.*, 2010).

❖ **Obtention d'une purée :**

Après les traitements de cuisson réalisés, la courge traitée (vapeur, micro onde, four et eau bouillie) est broyée manuellement dans le but d'obtenir une purée alors que pour l'état frais, cette dernière est mixée à l'aide d'un broyeur.

4. Détermination de quelques paramètres physico-chimiques

4-1. Détermination du brix

Le Brix correspond à la teneur en matières sèches solubles dans l'eau (jus, purée de fruits,...), il consiste à la mesure du taux de sucres, il est exprimé en pourcentage.

Après étalonnage du réfractomètre avec de l'eau distillée, une quantité du filtrat de la purée des deux variétés de la courge à l'état frais et traité est déposée sur la lame du réfractomètre. Le résultat est lu sur l'échelle graduée en pourcentage du réfractomètre (Marek *et al.*, 2008).

4-2. Mesure du potentiel d'hydrogène (pH)

La mesure du pH est réalisée à l'aide d'un pH mètre pour les deux variétés de la courge à l'état frais et traité.

La sonde du pH mètre est plongée dans un bécher contenant la purée et la valeur du pH est indiquée sur l'afficheur (Dutta *et al.*, 2006).

5. Extraction des polyphénols totaux

Un poids de 4g de la chair (purée) pour les deux variétés de la courge à l'état frais et traité (vapeur, micro onde, four et ébullition) est additionné de 40ml d'acétone 90% (v/v), le

mélange est broyé, suivi d'une agitation pendant une heure et demie. Après centrifugation (3000g/20 minutes) et filtration, les extraits obtenus sont conservés à -20°C .

6. Dosages des antioxydants de la courge

6-1. Dosage des composés phénoliques totaux

La teneur des composés phénoliques dans les extraits acétoniques de la chair des deux variétés de la courge à l'état frais et traité est déterminée selon la méthode d'Adedapo *et al.* (2008). Un volume d'extrait est additionné de 5 ml de Folin Ciocalteu et 4 ml de carbonate de sodium, suivi d'une incubation de 30 minutes à une température de 40°C . L'absorbance est mesurée à 765 nm. La concentration en polyphénols totaux des extraits de la courge est exprimée en milligramme d'acide gallique par 100 gramme de matière fraîche (mg EAG/100g MF), elle est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage (annexe I, figure 1).

6-1-1. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes est déterminée selon la méthode de Luximon-Ramma *et al.* (2005). Un volume de 1ml d'extrait de la chair des deux variétés de la courge à l'état frais et traité est additionné de 1ml de chlorure d'aluminium, l'absorbance est mesurée à 420nm, après 15 minutes d'incubation. Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent quercitine par 100 gramme de matière fraîche (mg EQ/100g MF) à partir de la courbe d'étalonnage (annexe I, figure 2).

6-2. Dosage des caroténoïdes totaux

L'extraction des caroténoïdes est réalisée selon la méthode décrite par Zamora *et al.* (2005), avec quelques modifications. Un poids de 5g de la chair des deux variétés de la courge à l'état frais et traité est agité pendant 30 minutes avec un mélange de solvant (hexane: acétone: éthanol) à un rapport de 2:1:1 (v/v), après centrifugation à 3000g pendant 20 minutes, la phase supérieure est récupérée et l'absorbance est mesurée à 450nm. La concentration en caroténoïdes est exprimée en milligramme de β carotène par 100 gramme de matière fraîche en se référant à la courbe d'étalonnage (annexe I, figure 3).

7. Détermination de l'activité antioxydante

7-1. Evaluation du pouvoir réducteur

La capacité des antioxydants présents dans la courge à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}) est déterminé par la méthode décrite par Jayaprakasha *et al.* (2008). Un volume de 2.5ml d'extrait de la chair des deux variétés de la courge à l'état frais et traité est additionné de 2.5ml du tampon phosphate (0.2M, pH=6.6) et 2.5ml de ferricyanure de potassium (1%). Après incubation à une température de 50°C pendant 20 minutes, 2.5ml d'acide trichloracétique (10%) sont ajoutés au mélange avant centrifugation (20 minutes à 3000g).

Le surnageant est additionné de 2.5ml d'eau distillée et 0.5ml du chlorure ferrique (1%). L'absorbance est mesurée à 700nm. Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent acide ascorbique par 100 gramme de matière fraîche (mg EAA/100g MF) à partir de la courbe d'étalonnage (annexe, I figure 4).

7-2. Activité antiradicalaire du radical DPPH

L'activité antiradicalaire du radical DPPH est estimée par la méthode décrite par Milardović *et al.* (2006). Un volume de 0.1ml d'extrait de la chair des deux variétés de la courge à l'état frais et traité est additionnée de 2.9ml de 2,2-diphényl 1-picryl-hydrazy (DPPH) (0.02mg/ml). Après 30 minutes d'incubation, l'absorbance est mesurée à 515nm.

Le pouvoir antiradicalaire des extraits acétoniques de la courge est exprimé en pourcentage d'inhibition (%) du radical DPPH, il est calculé comme suit:

$$\text{Pourcentage d'inhibition du radical DPPH (\%)} = [(A_C - A_E) / A_C] * 100$$

D'où:

A_C : Absorbance du contrôle.

A_E : Absorbance d'échantillon.

7-3. Chélation du fer ferreux

La chélation de l'ion ferreux est déterminé selon la méthode décrite par Su *et al.* (2008) avec quelques modifications, dont laquelle la ferrozine peut former un complexe avec le fer ferreux (Fe^{2+}).

Un volume (2ml) des extraits acétoniques de la chair des deux variétés de la courge à l'état frais et traité est additionné de 0.2ml de la ferrozine et 0.05ml de chlorure de fer II, suivi d'une incubation de 10 minutes. L'absorbance est mesurée à 562nm.

Le pourcentage d'inhibition de la formation du complexe de ferrozine – Fe (II) est calculé comme suit:

$$\text{Pourcentage d'inhibition (\%)} = [(A_C - A_E) / A_C] * 100$$

D'où:

A_C : Absorbance de contrôle.

A_E : Absorbance de l'échantillon

8. Etude statistique

Les extraits acétoniques de la chair des deux variétés de la courge à l'état frais et traité analysés et les paramètres rapportés sont évalués en trois essais. Une analyse de la variance à un facteur (ANOVA) et à deux facteurs (MANOVA) suivie du test LSD (Lest Significant Difference) est appliquée à l'aide d'un logiciel (STATISTICA 5.5).

Le degré de signification des résultats est pris à la probabilité $p < 0.05$, afin de mettre en évidence les différences significatives entre les deux variétés de la courge analysées à l'état frais et l'effet de la cuisson (vapeur, micro onde, four et eau bouillie) pour chaque paramètre.

Résultats
et
discussion

1. Taux d'humidité

Les résultats du taux d'humidité pour les deux variétés analysées (Taankikth et Temdewarth) de la courge révèlent des différences significatives ($p < 0,05$). La variété Temdewarth présente une humidité importante ($97,9 \pm 0,14$) par rapport à Taankikth ($96,34 \pm 0,122$) (figure 8).

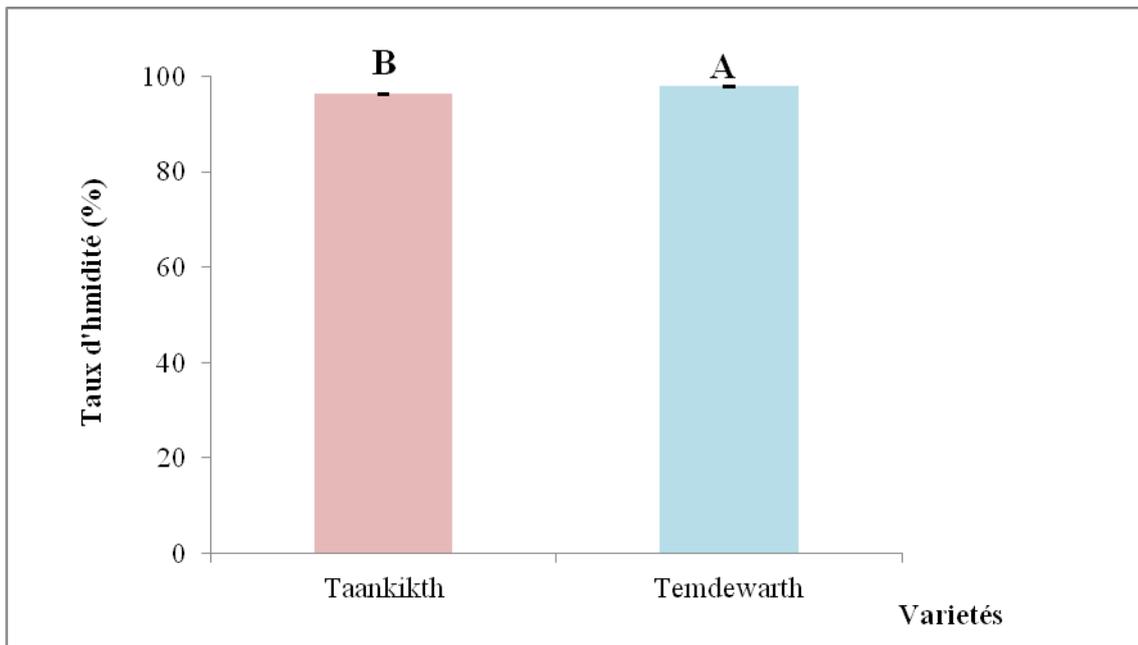


Figure 8: Taux d'humidité des deux variétés de la courge.

Les résultats qui portent des lettres distinctes sont significativement différents ($A > B$).

Selon Mawamba *et al.* (2009), les résultats du taux d'humidité pour *Cucurbita moschata* (Dickinson), *Cucurbita pepo* (Sacred Indian Rattle) et *Cucurbita maxima* (Hangarian Blue) récoltées au Cameroun sont égaux à $85,89 \pm 0,02$ %, $84,51 \pm 0,23$ % et $96,58 \pm 0,22$ % respectivement et d'après les travaux de Wangcharoen et Morasuk (2007), la teneur en eau pour *Cucurbita moschata* (Decne) récoltée en Thaïlande est égale à $86,21 \pm 2,15$ %. Ces pourcentages sont inférieurs à ceux obtenus dans cette présente étude, excepté le taux d'humidité obtenu pour *Cucurbita maxima*, ce dernier concorde avec celui de *Cucurbita pepo* (Temdewarth) étudiée. Ces variations sont probablement expliquées par les différentes variétés et les espèces analysées, l'origine géographique et le stockage, car une conservation prolongée provoque la déshydratation du fruit (courge).

2. Paramètres physico-chimiques

2-1. Taux de brix

La figure 9 illustre l'effet de la cuisson sur le taux de brix de deux espèces de la courge, l'étude statistique a révélée des différences significatives ($p < 0,05$), selon le mode de cuisson et les espèces analysées. Le taux de brix le plus élevé est représenté par Taankikth crue et cuite à la vapeur. Une diminution du brix est constatée, après les différents modes de cuissons pour les deux espèces étudiées, excepté Taankikth cuite à la vapeur.

Pour Taankikth crue et cuite à la vapeur, le taux de brix est égal à $4,333 \pm 0,072\%$, une diminution de 40,39% ($2,583 \pm 0,072\%$), 40,39% ($2,583 \pm 0,191\%$) et 22,11% ($3,375 \pm 0,125\%$), après cuisson au micro onde, four et eau bouillie respectivement est observée.

Pour Temdewarth crue, le taux de brix est de $2,736 \pm 0,105\%$, une diminution de 10,16% ($2,458 \pm 0,072\%$), 43,64% ($1,542 \pm 0,072\%$), 42,14% ($1,583 \pm 0,072\%$) et 42,14% ($1,583 \pm 0,144\%$) est enregistrée, après cuisson à la vapeur, micro onde, four et eau bouillie respectivement.

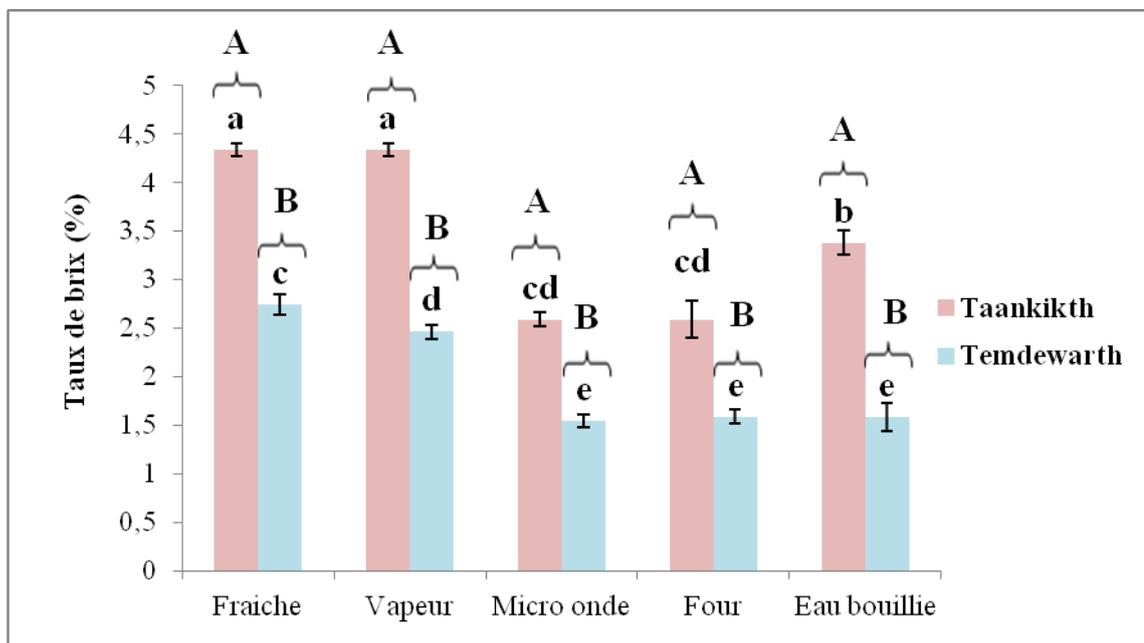


Figure 9 : Effet de la cuisson sur le taux de brix de deux variétés de la courge.

Les résultats qui portent des lettres distinctes sont significativement différents: $a > b > c > d > e$ pour l'effet de la cuisson et $A > B$ pour les variétés.

D'après une étude menée par Jacobo-Valenzuela *et al.* (2011), le taux de brix de 88 courges fraîches appartenant à *Cucurbita moschata* récoltées au Mexique varie de 1 à 15%. Les valeurs obtenues dans cette présente étude sont comprises dans cet intervalle [1-15%] pour la courge fraîche et même après cuisson.

Les résultats obtenus indiquent que la cuisson a un impact sur le taux de brix pour les courges étudiées. Cet impact est négatif (diminution du taux de brix), excepté pour Taankikth cuite à la vapeur, ceci est dû probablement à la dégradation et dissolution des sucres dans les jus de cuisson, à la variation de la température et la durée de cuisson, les différents modes de cuisson appliqués et aux espèces analysées.

2-2. Potentiel d'hydrogène (pH)

La figure 10 illustre l'effet de la cuisson sur le potentiel d'hydrogène de deux espèces de la courge, l'étude statistique a révélée des différences significatives ($p < 0,05$), selon le mode de cuisson et les espèces analysées.

Le potentiel d'hydrogène le plus élevé est représenté par Taankikth cuite au four, par rapport à l'état frais ($6,677 \pm 0,006$), une augmentation de 5,63% ($7,053 \pm 0,048$) et 0,45% ($6,707 \pm 0,093$), après cuisson au four et eau bouillie respectivement, ainsi qu'une diminution de 8,45% ($6,113 \pm 0,038$) et 0,15% ($6,667 \pm 0,042$) à la vapeur et micro onde respectivement, sont observées.

Pour Temdewarth crue, le potentiel d'hydrogène obtenu est égal à $6,663 \pm 0,021$, une augmentation de 1,41% ($6,757 \pm 0,031$), 1,6% ($6,770 \pm 0,035$) et 2,06% ($6,800 \pm 0,026$), après cuisson au micro onde, four et eau bouillie respectivement, ainsi qu'une diminution de 3,54% ($6,427 \pm 0,015$) à la vapeur sont enregistrées.

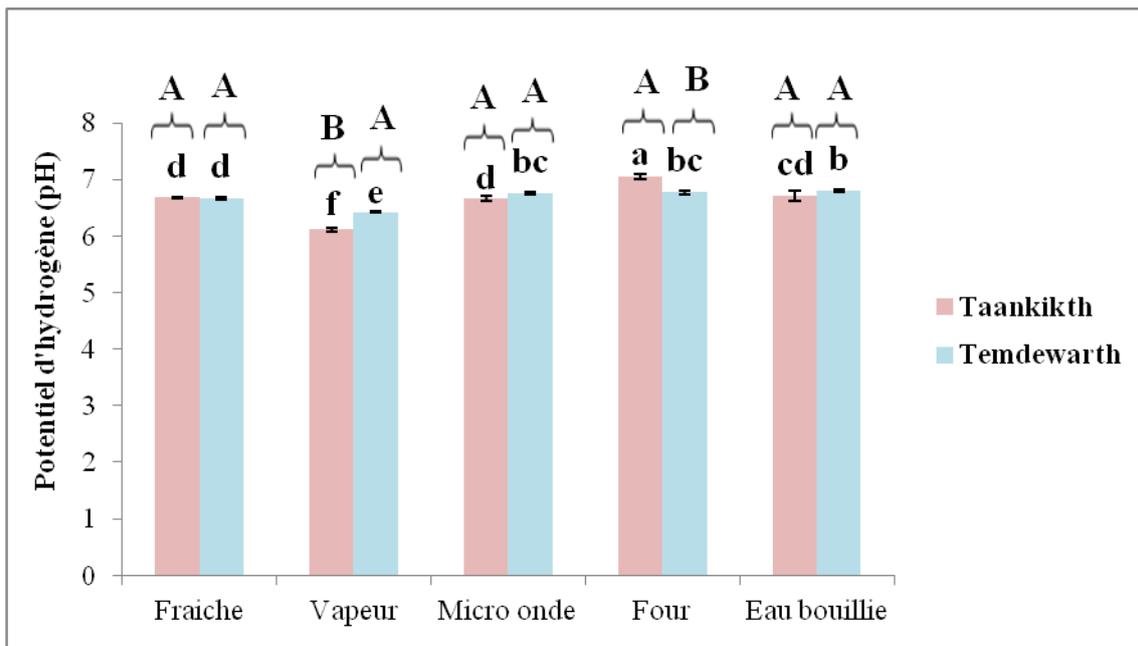


Figure 10 : Effet de la cuisson sur le pH de deux variétés de la courge.

Les résultats qui portent des lettres distinctes sont significativement différents : a>b>c>d>e>f pour l'effet de la cuisson et A>B pour les variétés.

Au cours de la maturation du fruit, le taux des sucres augmente quant aux acides, leur concentration diminue (acidité) ce qui conduit à une augmentation du potentiel d'hydrogène.

D'après une étude menée par Jacobo-Valenzuela *et al.* (2011), le potentiel d'hydrogène de 95 courges crues appartenant à *Cucurbita moschata* récoltées au Mexique varie de 4,27 à 7,79. Ces résultats concordent avec ceux obtenus dans cette présente étude, ils sont compris dans cet intervalle [4,27-7,79], pour la courge fraîche et après cuisson.

Les résultats obtenus indiquent que la cuisson a un impact sur le potentiel d'hydrogène des courges étudiées. Cet impact est positif (augmentation du potentiel d'hydrogène), excepté pour Taankikth cuite à la vapeur, au micro onde et Temdewarth cuite à la vapeur, ceci est dû probablement au mode de cuisson appliqué et la composition de chaque variété en acides.

3. Les antioxydants de la courge

3-1. Les composés phénoliques totaux

La figure 11 illustre l'effet de la cuisson sur la teneur des polyphénols totaux de deux espèces de la courge, l'étude statistique a révélée des différences significatives ($p < 0,05$), selon le mode de cuisson et les espèces analysées.

La meilleure teneur est présentée par Taankikth crue avec une valeur égale à $40,521 \pm 2,124$ mg EAG/100g MF, une diminution de 1,20% ($40,038 \pm 1,622$ mg EAG/100g MF), 66,94% ($13,396 \pm 1,967$ mg EAG/ 100g MF), 31,5% ($27,756 \pm 1,460$ mg EAG/100g MF) et 10,17% ($36,402 \pm 0,571$ EAG/100g MF) est enregistrée, après cuisson (vapeur, micro onde, four et eau bouillie respectivement).

Pour Temdewarth crue, la teneur en polyphénols totaux est égale à $33,73 \pm 0,62$ mg EAG/100g MF, une diminution de 28,72% ($24,045 \pm 0,401$ mg EAG/100g MF), 63,37% ($12,357 \pm 0,779$ mg EAG/ 100g MF), 68,76% ($10,538 \pm 0,232$ mg EAG/100g MF) et 59,08% ($13,804 \pm 0,779$ EAG/100g MF) est observée, après cuisson à la vapeur, micro onde, four et eau bouillie respectivement.

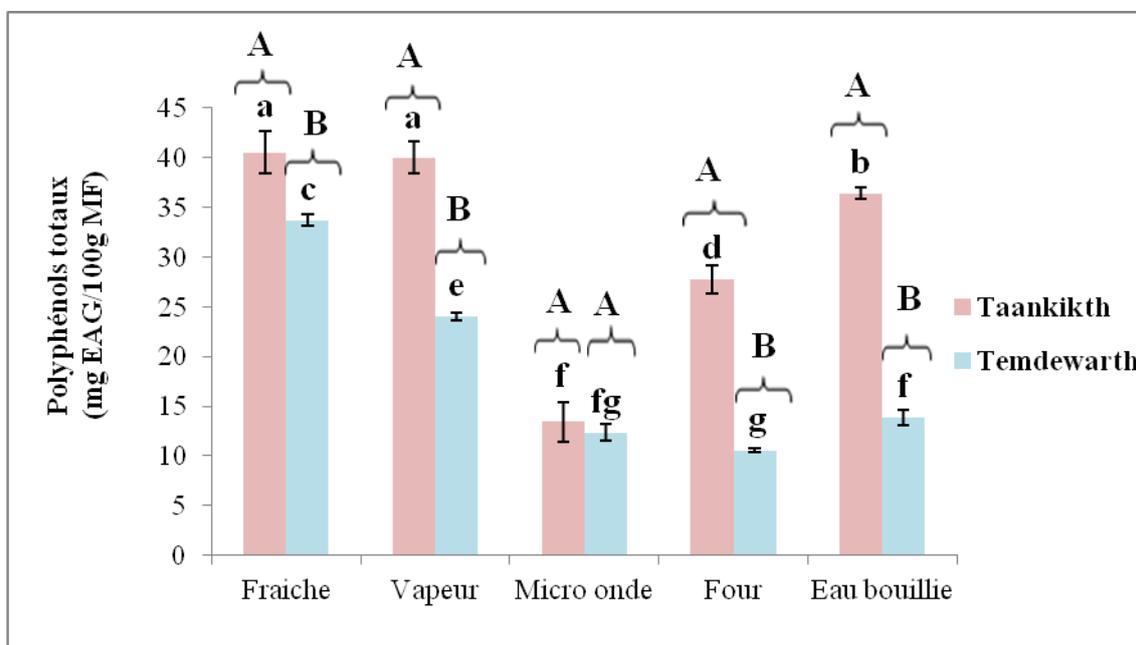


Figure 11 : Effet de la cuisson sur la teneur des polyphénols totaux de deux variétés de la courge.

Les résultats qui portent des lettres distinctes sont significativement différents: $a > b > c > d > e > f > g$ pour l'effet de la cuisson et $A > B$ pour les variétés.

D'après une étude menée par Turkmen *et al.* (2005), la teneur en polyphénols totaux de la courge est de $833 \pm 37,79$ mg EAG/100g MF, en utilisant comme solvant d'extraction le méthanol 80%. Après cuisson la teneur en polyphénols totaux de la courge, diminue à raison de 59,7% ($497,3 \pm 9,72$ mg EAG/100g MF), 69,83% ($581,7 \pm 27,02$ mg EAG/100g MF) et 66,7% ($555,6 \pm 26,75$ mg EAG/100g MF), après cuisson à eau bouillie (5 minutes), vapeur

(7,5 minutes) et micro onde (1000W pendant 1 minute) respectivement. Ces valeurs sont supérieures aux résultats obtenus dans cette présente étude, ceci est probablement dû à la nature des différents composés phénoliques présents dans la courge (variétés et espèces), la durée de cuisson, solvant et le temps appliqué pour l'extraction.

La diminution de la teneur en polyphénols totaux, après cuisson (eau bouillie, vapeur et micro onde) dans l'étude de Turkmen *et al.* (2005), concorde avec notre présente étude

3-1-1. Flavonoïdes

La figure 12 illustre l'effet de la cuisson sur la teneur des flavonoïdes de deux espèces de la courge, l'étude statistique a révélée des différences significatives ($p < 0,05$), selon le mode de cuisson et les espèces analysées.

La meilleure teneur est présentée par Taankikth cuite à eau bouillie quant à l'état frais, elle est de $36,244 \pm 0,641$ mg EQ/100g MF, une augmentation de 6,01% ($38,422 \pm 2,683$ EQ/100g MF), après cuisson à eau bouillie ainsi qu'une diminution de 4,13% ($34,747 \pm 0,875$ mg EQ/100g MF), 19,16% ($29,3 \pm 2,254$ mg EQ/ 100g MF) et 17,41% ($29,934 \pm 0,918$ mg EQ/100g MF) à la vapeur, micro onde et four respectivement, sont observées.

Pour Temdewarth crue, la concentration en flavonoïdes est égale à $13,221 \pm 0,235$ mg EQ/100g MF, une augmentation de 81,53% ($24 \pm 0,627$ mg EQ/100g MF), 76,13% ($23,286 \pm 0,260$ mg EQ/ 100g MF), 40,62% ($18,592 \pm 2,262$ mg EQ/100g MF) et 84,65% ($24,413 \pm 2,600$ EQ/100g MF) est enregistrée, après cuisson à la vapeur, micro onde, four et eau bouillie respectivement.

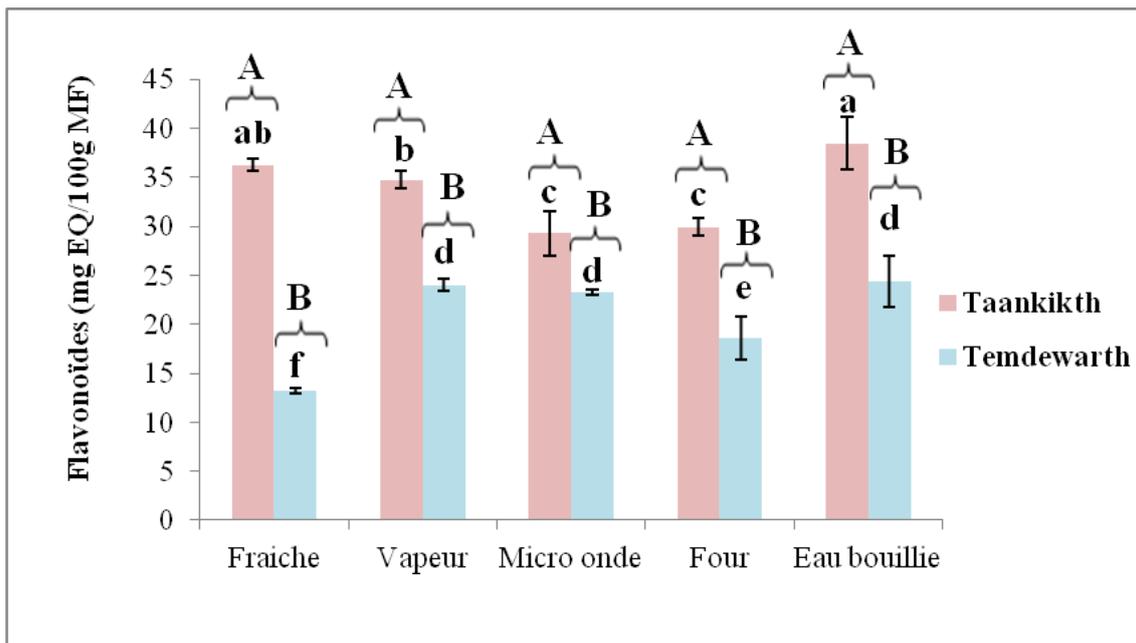


Figure 12: Effet de la cuisson sur la teneur des flavonoïdes de deux variétés de la courge.

Les résultats qui portent des lettres distinctes sont significativement différents: a>b>c>d>e>f pour l'effet de la cuisson et A>B pour les variétés.

D'après Chun *et al.* (2005), la teneur en flavonoïdes de deux courges à l'état cru est égale à $0,84 \pm 0,07$ mg EC/ 100g et $0,42 \pm 0,05$ mg EC /100g de matière fraîche, en utilisant comme solvant d'extraction le méthanol 90%. Ces valeurs sont inférieures à nos résultats ceci est probablement dû aux espèces et variétés analysées, stade de maturité origine géographique et solvant d'extraction.

Les résultats obtenus indiquent que la cuisson a un impact sur la teneur en flavonoïdes des courges étudiées. Cet impact est positif (augmentation de la teneur en flavonoïdes), excepté pour Taankikth cuite à la vapeur, au micro onde et four, ceci est probablement dû à la durée de cuisson et à la nature des flavonoïdes présents dans la courge.

3-2. Caroténoïdes

La figure 13 illustre l'effet de la cuisson sur la teneur en caroténoïdes de deux espèces de la courge, l'étude statistique a révélée des différences significatives ($p < 0,05$), selon le mode de cuisson et les espèces analysées.

La meilleure teneur est représentée par Taankikth cuite à eau bouillie quant à l'état cru, elle est égale à $0,474 \pm 0,071$ g EBC/100g MF, une augmentation de 21,94% ($0,578 \pm 0,034$ g EBC /100g MF), 52,53% ($0,723 \pm 0,060$ g EBC / 100g MF), après cuisson au four et eau

bouillie respectivement, ainsi qu'une diminution de 13,92% ($0,408 \pm 0,077$ g E β C /100g MF) et 22,15% ($0,369 \pm 0,077$ g E β C /100g MF) à la vapeur et au micro onde respectivement, sont observées.

Pour Temdewarth à l'état cru, la teneur en caroténoïdes est égale à $0,414 \pm 0,017$ g E β C /100g MF, une diminution de 31,88% ($0,282 \pm 0,017$ g E β C /100g MF), 44,93% ($0,228 \pm 0,018$ g E β C / 100g MF), 25,12% ($0,310 \pm 0,054$ g E β C /100g MF) et 36,72% ($0,262 \pm 0,020$ g E β C /100g MF) est enregistrée, après cuisson à la vapeur, micro onde, four et eau bouillie respectivement.

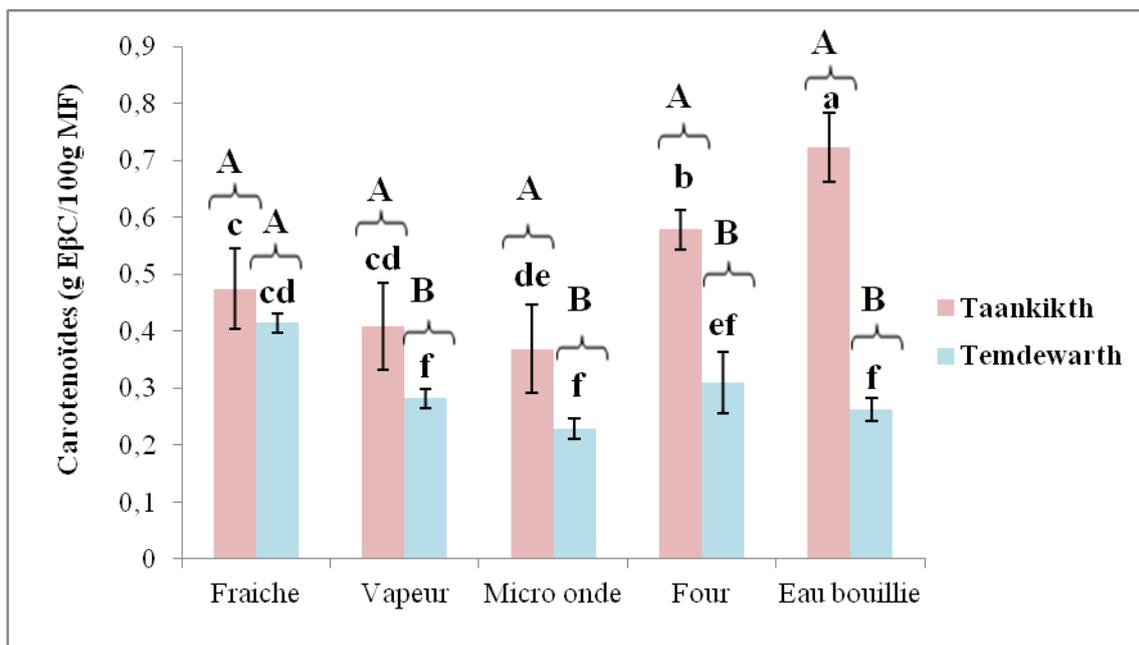


Figure 13: Effet de la cuisson sur la teneur des caroténoïdes de deux variétés de la courge.

Les résultats qui portent des lettres distinctes sont significativement différents: $a > b > c > d > e > f$ pour l'effet de la cuisson et $A > B$ pour les variétés.

D'après les travaux réalisés par Nawirska-Olsanzaka *et al.* (2011), la teneur en caroténoïdes pour *Cucurbita maxima* crue, récoltée en Japon est égale à $0,0074$ g /100g MF et d'après une étude menée par Jacobo-Valenzuela *et al.* (2011), la teneur en caroténoïdes de 12 courges à l'état frais appartenant à *Cucurbita moschata* (Duchense) récoltées au Mexique varie de $0,13$ à $0,5$ mg E β C/g. Ces concentrations sont inférieures à nos résultats, ceci est dû probablement aux conditions de culture, climat, stade de maturité, espèces et variétés analysées.

Selon Dutta *et al.* (2006), la teneur en β -carotène d'une courge fraîche est égale à 0,0109 g/100g, une augmentation a été constaté lors du blanchiment (chlorure de sodium à 1%) à raison de 13,76% (0,0124g/100g) et 28,44% (0,014g/100g) pour la courge blanchie (chlorure de sodium à 1%) et traitée à 60°C pendant 2 heures, une diminution proportionnelle de la quantité du β -carotène est observée, après élévation de la température à raison de 25,69% (0,0081g/100g), 29,36% (0,0077g/100g), 33,95% (0,0072g/100g), 45,87% (0,0059g/100g), 55,96% (0,0048g/100g), 62,39% (0,0041g/100g) pour les températures 70, 75, 80, 85, 90, 100°C respectivement, ces diminutions sont dues à l'isomérisation des caroténoïdes de la forme *Cis* en *Trans* et formation d'époxyde. D'après ces auteurs, la courge renferme d'autres caroténoïdes mais le β -carotène est le plus abondant.

Les résultats obtenus indiquent que la cuisson a un impact sur la teneur en caroténoïdes des courges étudiées. Cet impact est négatif (diminution de la teneur en caroténoïdes), excepté pour Taankikth cuite au four et à eau bouillie.

4. Les activités antioxydantes

4-1. Pouvoir réducteur

La figure 14 illustre l'effet de la cuisson sur le pouvoir réducteur développé par les deux espèces de la courge, l'étude statistique a révélée des différences significatives ($p < 0,05$), selon le mode de cuisson et les espèces analysées.

Le meilleur pouvoir est représenté par Taankikth crue avec une concentration de $45,215 \pm 0,780$ mg EAA/100g MF. Une diminution de 4,23% ($43,310 \pm 0,198$ mg EAA/100g MF), 27,78% ($32,656 \pm 2,100$ mg EAA/100g MF), 24,7% ($34,046 \pm 1,870$ mg EAA/100g MF) et 41,57% ($26,419 \pm 0,835$ mg EAA/100g MF) est observée, après cuisson à la vapeur, micro onde, four et eau bouillie respectivement.

Le pouvoir réducteur développée par Temdewarth à l'état frais est égal à $20,312 \pm 3,573$ mg EAA/100g MF, une augmentation de 63,33% ($33,175 \pm 3,318$ mg EAA/100g MF), 75,27% ($35,601 \pm 1,375$ mg EAA/100g MF), 62,9% ($33,089 \pm 3,122$ mg EAA/100g MF), après cuisson au micro onde, four et à eau bouillie respectivement est enregistrée quant à la vapeur aucun changement n'est constaté ($20,312 \pm 3,573$).

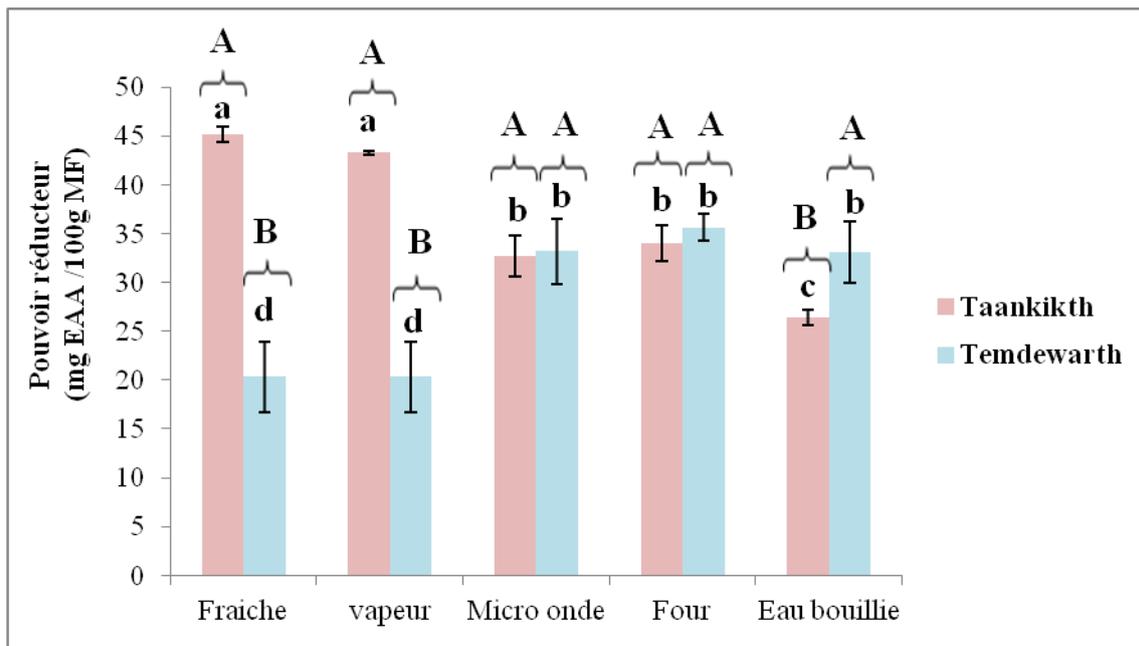


Figure 14 : Effet de la cuisson sur le pouvoir réducteur de deux variétés de la courge.

Les résultats qui portent des lettres distinctes sont significativement différents: $a > b > c > d$ pour l'effet de la cuisson et $A > B$ pour les variétés.

D'après Ghalmi et Ait Amara (2011), le pouvoir réducteur développé à 60°C par les espèces *Cucurbita moschata* (Taankikth) et *Cucurbita maxima* (Avouchekouf) récoltée à Azefoune et Bouzeguene respectivement sont égaux à $3,14 \pm 0,10$ mg EAA/100g de MF avec acétone 100% (v/v) pour *Cucurbita moschata*, $1,71 \pm 0,70$ mg EAA/100g de MF et $0,53 \pm 0,37$ mg EAA/100g de MF avec acétone 50 et 25% (v/v) pour *Cucurbita maxima*. Les valeurs obtenues dans notre présente étude sont largement supérieures à ces résultats. Ces différences sont probablement dues à la nature et teneur des antioxydants présents dans la chair des variétés et espèces de courge, ainsi leur capacité de réduire le fer ferrique du complexe ferricyanure- Fe^{3+} en fer ferreux (Fe^{2+}) et aux traitements appliqués.

Des corrélations entre le pouvoir réducteur des extraits (cru et cuit) de la chair de la courge et leurs antioxydants ont été étudiées (tableau VI).

Tableau VI : Les coefficients de corrélation entre le pouvoir réducteur des extraits (cru et cuit) de la courge et leurs antioxydants.

Paramètres	Coefficients de corrélations (r)
Pouvoir réducteur / polyphénols totaux (frais)	0,93
Pouvoir réducteur / polyphénols totaux (cuit à la vapeur)	0,97
Pouvoir réducteur / flavonoïdes (frais)	0,98
Pouvoir réducteur / flavonoïdes (cuit à la vapeur)	0,98

Le pouvoir réducteur des extraits acétoniques de la courge montre une corrélation linéaire positive avec les composés phénoliques totaux cuits à la vapeur (annexe II, figure 17) et état frais (annexe II, figure 18).

D'autres corrélations ont été également obtenues entre le pouvoir réducteur développé par les deux variétés de courge et la teneur en flavonoïdes cuits à la vapeur (annexe II, figure 19) et état frais (annexe II, figure 20)

4-2. Activité antiradicalaire (DPPH)

La figure 15 illustre l'effet de la cuisson sur l'activité antiradicalaire (DPPH) de deux espèces de la courge, l'étude statistique a révélée des différences significatives ($p < 0,05$), selon le mode de cuisson et les espèces analysées.

La meilleure activité est développée par Taankikth cuite à eau bouillie quant à l'état frais, elle est égale à $12,234 \pm 0,569\%$. Une diminution de 14,08% ($10,512 \pm 0,332\%$), 22,8% ($9,445 \pm 0,596\%$) et 17,74% ($10,064 \pm 0,782\%$), après cuisson à la vapeur, micro onde et four respectivement, ainsi qu'une augmentation de 21,10% ($14,816 \pm 0,631\%$) à ébullition sont observées.

Pour Temdewarth crue, le pourcentage d'inhibition du radical DPPH est égal à $9,892 \pm 0,391\%$. Une diminution de 2,44% ($9,651 \pm 0,520\%$), 9,05% ($8,997 \pm 0,179\%$), 2,78%

(9,617±0,273%) après cuisson au micro onde, four et eau bouillie respectivement, ainsi qu'une augmentation de 4,53% (10,340±0,745%) à la vapeur sont observées.

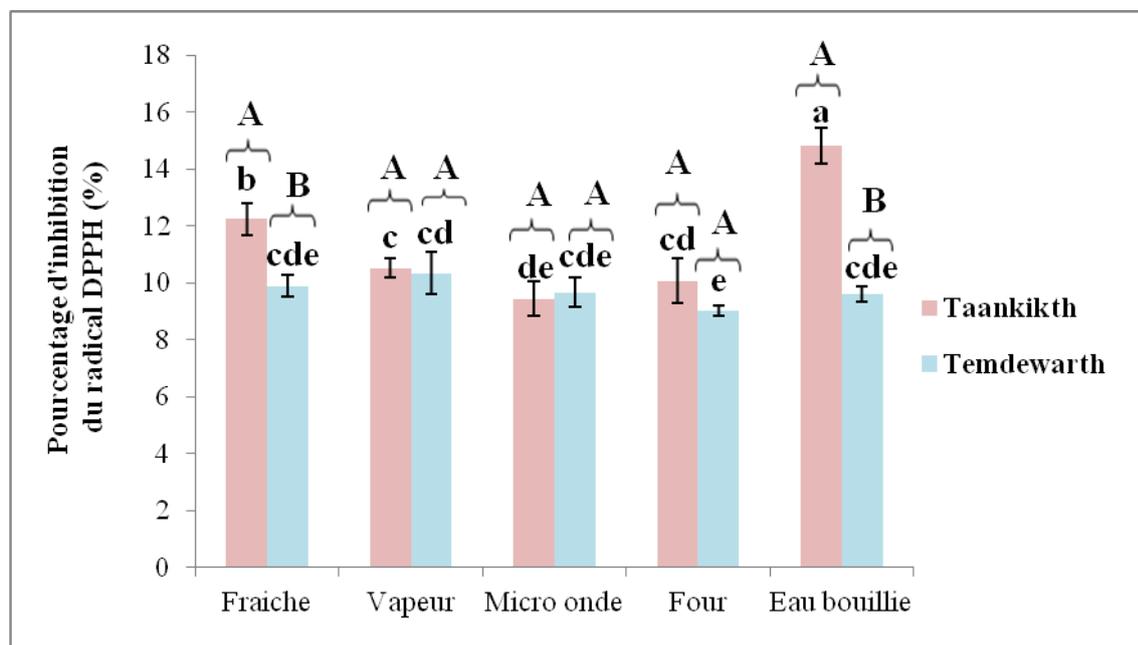


Figure 15: Effet de la cuisson sur l'activité antiradicalaire (DPPH) de deux variétés de la courge.

Les résultats qui portent des lettres distinctes sont significativement différents: a>b>c>d>e pour l'effet de la cuisson et A>B pour les variétés.

D'après Turkmen *et al.* (2005), l'activité antiradicalaire (DPPH) développée par les antioxydants présents dans la courge en utilisant le méthanol 80% est égal à $15,8 \pm 1,68\%$. Après cuisson à eau bouillie (5 minutes), vapeur (7,5 minutes) et micro onde (1000W pendant 1 minute), cette activité augmente à raison de 24,68% ($19,7 \pm 4,25\%$), 64,55% ($26,0 \pm 3,61\%$ mg) et 6,33% ($16,8 \pm 1,03\%$) respectivement. Ces valeurs sont supérieures aux résultats obtenus dans cette étude.

Une augmentation du pourcentage d'inhibition du radical DPPH, après cuisson (eau bouillie, vapeur et micro onde), est constatée par Turkmen *et al.* (2005), ce résultat est contradictoire avec ceux obtenus dans notre présente étude, des diminutions ont été observées, excepté pour Taankikth cuite à eau bouillie et Temdewarth cuite à la vapeur, ceci est peut être expliqué par la concentration et la nature des antioxydants présents dans la courge, pour les différentes espèces et variétés voir leur structure et fonction qui contribuent dans le piégeage des radicaux.

Des corrélations entre le potentiel d'inhibition du radical DPPH des extraits (cru et cuit) de la chair de courge et leurs antioxydants ont été étudiées (tableau VII).

Tableau VII : Les coefficients de corrélation entre l'activité antiradicalaire des extraits (cru et cuit) de la courge et leurs antioxydants.

Paramètres	Coefficients de corrélations (r)
Activité antiradicalaire / polyphénols totaux (eau bouillie)	0,98
Activité antiradicalaire / flavonoïdes (frais)	0,95
Activité antiradicalaire / flavonoïdes (eau bouillie)	0,95
Activité antiradicalaire / caroténoïdes (eau bouillie)	0,98

L'activité antiradicalaire des extraits acétoniques de la courge montre une corrélation linéaire positive avec les composés phénoliques totaux, après cuisson à eau bouillie (annexe II, figure 21).

D'autres corrélations positives ont été également obtenues entre l'activité antiradicalaire des deux variétés de la courge et les flavonoïdes, après cuisson à eau bouillie (annexe II, figure 22) et état frais (annexe II, figure 23) et les caroténoïdes cuits à eau bouillie (annexe II, figure 24).

4-3. Chélation du fer ferreux

La figure 16 illustre l'effet de la cuisson sur le pourcentage d'inhibition de la formation du complexe ferrozine- Fe^{2+} , pour deux espèces de la courge, l'étude statistique a révélée des différences significatives ($p < 0,05$), selon le mode de cuisson et les espèces analysées.

Le pourcentage d'inhibition le plus élevé est représenté par Temdewarth crue avec 27,229±0,357%, une diminution de 52,40% (12,961±0,238%), 71,04% (7,887±0,248%), 43,38% (15,418±0,562%) et 43,23% (15,458±0,662%) est enregistrée, après cuisson à la vapeur, micro onde, four et eau bouillie respectivement.

Pour Taankikth à état frais, le pourcentage de chélation du fer ferreux est de $21,046 \pm 1,134\%$, une diminution de $93,79\%$ ($1,308 \pm 0,429$), $45,76\%$ ($11,415 \pm 0,832\%$) et $45,01\%$ ($11,574 \pm 1,143\%$), après cuisson à la vapeur, micro onde et four respectivement ainsi qu'une augmentation de $1,5\%$ ($21,363 \pm 0,876\%$) à eau bouillie, sont observées.

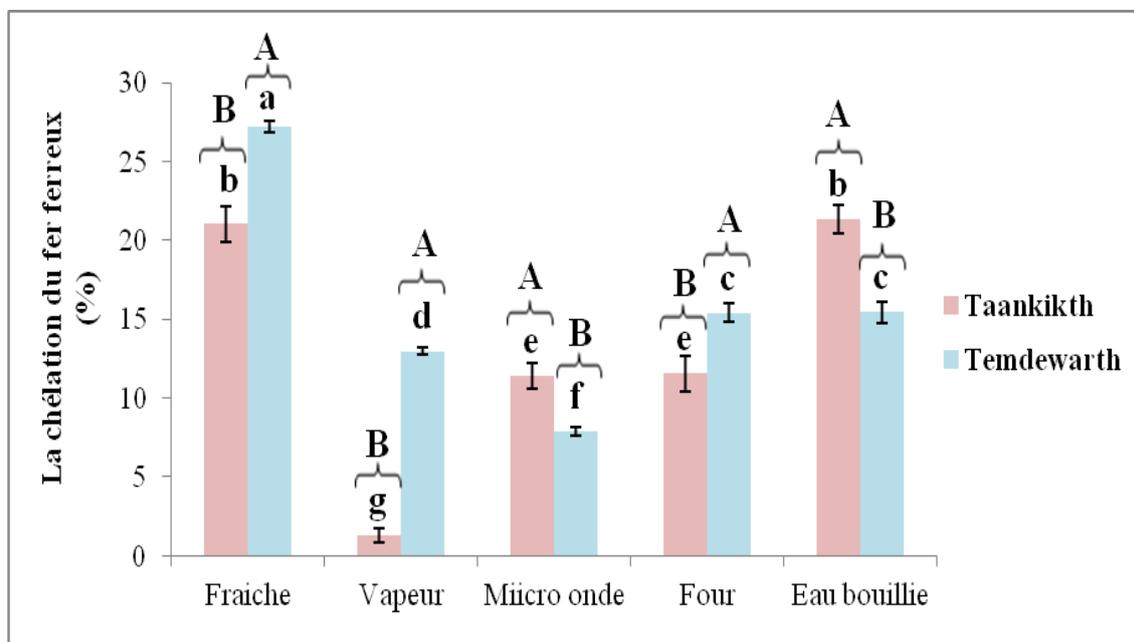


Figure 16: Effet de la cuisson sur la chélation du fer ferreux de deux variétés de la courge.

Les résultats qui portent des lettres distinctes sont significativement différents: $a > b > c > d > e > f > g$ pour l'effet de la cuisson et $A > B$ pour les variétés.

Les résultats obtenus indiquent que la cuisson a un impact sur le pourcentage d'inhibition de la formation du complexe ferrozine-Fe (II) des courges étudiées. Cet impact est négatif excepté pour Taankikth cuite à eau bouillie, ceci est probablement dû à la température, durée de cuisson appliquée, variétés et espèces analysées.

Des corrélations entre la chélation du fer ferreux des extraits (cru et cuit) de la chair de la courge et leurs antioxydants ont été étudiées (tableau VIII).

Tableau VIII : Les coefficients de corrélation entre la chélation de fer ferreux des extraits (cru et cuit) de la courge et leurs antioxydants.

Paramètres	Coefficients de corrélations (r)
Fer ferreux / polyphénols totaux (eau bouillie)	0,97
Fer ferreux / flavonoïdes (micro onde)	0,93
Fer ferreux / flavonoïdes (eau bouillie)	0,93
Fer ferreux /caroténoïdes (eau bouillie)	0,97

Le pourcentage d'inhibition de la formation du complexe ferrozine-Fe (II) des extraits acétoniques de la courge montre une corrélation positive linéaire avec les composés phénoliques totaux cuit à eau bouillie (annexe II, figure 25).

D'autres corrélations positives ont été également obtenues entre le pourcentage d'inhibition de la formation du complexe ferrozine-Fe (II) des deux variétés de la courge et les flavonoïdes cuits au micro onde (annexe II, figure 26) et à eau bouillie (annexe II, figure 27) et les caroténoïdes cuits à eau bouillie (annexe II, figure 28).

Conclusion

La présente étude a permis d'évaluer l'effet de la cuisson (vapeur, eau bouillie, four, micro onde), sur quelques paramètres physico-chimiques et la teneur des différents antioxydants (caroténoïdes, polyphénols, flavonoïdes), ainsi une estimation de l'activité antioxydante (pouvoir réducteur, activité antiradicalaire et test de la ferrozine ou chélation du fer ferreux), de deux variétés de courges Taankikth et Temdewarth appartenant aux espèces *Cucurbita moschata* et *Cucurbita pepo* respectivement.

D'après les résultats obtenus, les paramètres physico-chimiques des courges analysées, varient quantitativement selon les variétés et les modes de cuisson étudiés.

À travers les dosages effectués, nous pouvons conclure que Taankikth fraîche et cuite à la vapeur présentent une concentration élevée en composés phénoliques avec une teneur égale à $40,521 \pm 2,124$ mg EAG/100g MF et $40,038 \pm 1,622$ mg EAG/100g MF respectivement, quant à Temdewarth cuite au four, elle est faible.

La variété Taankikth cuite à eau bouillie est riche en flavonoïdes avec une teneur égale à $38,422 \pm 2,683$ mg EQ/100g MF alors que Temdewarth fraîche a représentée une concentration faible.

La variété Taankikth cuite à eau bouillie est riche en caroténoïdes totaux avec une teneur égale à $0,723 \pm 0,060$ g EBC /100g MF, quant à Temdewarth cuite à la vapeur, à eau bouillie et au four, la concentration en ces derniers est faible.

La mesure du pouvoir réducteur a révélé que Taankikth fraîche et cuite à la vapeur ont développé le pouvoir réducteur le plus élevé avec une valeur égale à $45,215 \pm 0,780$ mg EAA/100g MF et $43,310 \pm 0,198$ mg EAA/100g MF respectivement, pour le pourcentage d'inhibition du radical DPPH, Taankikth cuite à eau bouillie a développé la meilleure activité antiradicalaire avec une valeur égale à $14,816 \pm 0,631\%$ quant à Temdewarth fraîche a représenté un pourcentage d'inhibition de la formation du complexe ferrozine-Fe (II) le plus élevé avec une valeur égale à $27,229 \pm 0,357\%$.

Les résultats obtenus montrent des corrélations positives entre la teneur en antioxydants de la courge (polyphénols totaux, flavonoïdes et caroténoïdes) et les activités antioxydantes étudiées, pour Taankikth et Temdewarth, ce qui nous permet de conclure que ces deux variétés représentent une bonne source en antioxydants naturels, essentiellement la variété Taankikth, d'où leur importance dans notre alimentation.

D'après les résultats obtenus, le meilleur traitement appliqué pour la courge crue est la cuisson à la vapeur, ce traitement permet de minimiser la perte des antioxydants présents dans les aliments.

Il est vivement conseillé d'incorporer ces courges dans les plats cuisinés, pour bénéficier des bienfaits qu'elles peuvent apporter à notre organisme.

En perspectives, il est intéressant :

- D'élargir l'échantillonnage à l'échelle nationale.
- D'identifier les différents antioxydants de la courge.
- D'évaluer l'activité antioxydante avec d'autres méthodes (H_2O_2 ,...).
- D'étudier les effets d'autres traitements (séchage, lyophilisation, friture,...) et de la conservation sur la teneur des antioxydants de la courge.
- Le dosage de la vitamine C, β -carotène.
- D'utiliser d'autres méthodes plus précises qui permettent non seulement de quantifier mais aussi de qualifier les antioxydants présents dans la courge.
- Analyser autres parties de la courge comme les graines, écorce, fleurs et feuilles.
- Extraction des huiles à partir des graines.

Il est aussi souhaitable d'étudier d'autres activités biologiques telles que : les activités antibactérienne, antifongique, etc.

***Références
bibliographiques***

A

- **Adedapo A.A., Jimoh F.O., Afolayan A.J. et Masika P.J.** (2008). Antioxidant activities and phenolic contents of the methanol extracts of the stems of *Acokanthera oppositifolia* and *Adenia gummifera*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*.8:54.
- **Adrian J., Potus J. et Frangne R.** (1995). La science alimentaire de A à Z. 2^{ème} Ed. Tec et Doc. Lavoisier. 477p.
- **Adrian J., Potus J. et Frangne R.** (2003). La science alimentaire de A à Z. 3^{ème} Ed. Tec et Doc. Lavoisier. 405p.
- **Amory A.M. et Schubert C.L.** (1987). A method to determine tannin concentration by the measurement and quantification of protein-tannin interactions. *Oecologia*. 73: 420-424.

B

- **Bastian C.** (2006). Extraction, concentration et caractérisation des composés polyphénoliques du café vert. Thèse de doctorat, spécialité : chimie analytique. Haute école valaisanne). 49p.
- **Basu H.N., Delveccchio A.J., Flider F. et Orthoefer F.T.** (2001). Nutritional and potential disease prevention properties of carotenoids. *JAOCs*. 78:665-675.
- **Barkat M. et Kadri F.** (2011). Impact de deux modes de cuisson sur la teneur en polyphénols solubles de six légumes. *Revue de génie industriel*. 6 : 41-45.
- **Brunet S.** (2008). Analyse des mécanismes d'action antiparasitaire de plantes riches en substances polyphénoliques sur les nématodes du tube digestifs des ruminants. Thèse de doctorat de spécialité : Pathologie et Nutrition. Université Paul Sabatier (Toulouse). P 246.
- **Bruneton J.** (1999). Pharmacognosie : phytochimie plantes médicinales. 3^{ème} éd. Tec et Doc : Paris.1120p.

C

- **Caili F., Huan S. et Quanhong L.** (2006). A review on pharmacological Activities and Utilisation Technologies of pumpkin. *Plant Foods for Human Nutrition*.61:73-80.

- **Chanwitheesuk A., Teerawutgulrag A. et Rakariyatham N.** (2005). Screening of antioxidant activity and antioxidant compounds of some edible plants of Thailand. *Food chemistry*.92:491-497.
- **Chaux C. et Foury C.** (1994). Productions légumières : légumineuses potagères, légumes fruits, Tome 3, Technique et documentation, Paris, 563 p.
- **Chira K., Suh J.H., Saucier C. et Teissedre P.L.** (2008). Les polyphénols du raisin. *Phytothérapie*. 6: 75–82.
- **Chuah A.M., Lee Y.C., Yamaguchi T., Takamura H., Yin L.J. et Matoba T.** (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry* 111: 20–28.
- **Chun O.K., Kim D.O., Smith N., Schroeder D., Han J.T. et Lee C.Y.** (2005). Daily consumption of phenolics and total antioxidant capacity from fruit and vegetables in the American diet. *Journal of the science of Food and Agriculture*. 85:1715-1724.

D

- **Dutta D., Dutta A., Raychaudhuri U. et Chackraborty R.** (2006). Rheological characteristics and thermal degradation Kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. *Journal of Food Engineering*. 76: 538- 546.

F

- **Ferracane R., Pellegrini N., Visconti A., Graziani G., Chiavaro E., Miglio C. et Fogliano V.** (2008). Effects of Different Cooking Methods on Antioxidant Profile, Antioxidant Capacity, and Physical Characteristics of Artichoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 5: 8601–8608.

G

- **Gagnon J., Riopel-Meunier J. et Riverain M.** (2007). Encyclopédie libre: Courge.
- **Garcia C.C., Maria M.A. et Kimura M.** (2007). Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). *Journal of food Engineering*. 82: 284-291.
- **Ghedira K.** (2005). Les flavonoïdes : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*. 4: 162-169.

- **Galmi S. et Ait-Amara K.** (2011). Optimisation de l'extraction des polyphénols totaux et l'activité antioxydante de la courge. (*C. maxima* et *C. moschata*) récoltée en Kabylie. Mémoire de fin de cycle. Bio-procédés, Agro-alimentaire, Nutrition, Toxicologie. Université Abderrahmane Mira de Bejaia. 51p.

H

- **Hadi M.** (2004). La quercétine et ses dérivés : molécules à caractère prooxydant ou capteurs de radicaux libres ; étude et applications thérapeutique. Thèse de doctorat, spécialité : pharmacochimie, Université Louis Pasteurs. 155p.
- **Hamed S.Y., Elhassan N.M., Hassan A.B., Eltayeb M.M. et Babiker E.E.** (2008). Nutritional Evaluation and physiochemical properties of processe pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook) Seed Flour. *Pakistan Journal of Nutrition*. 7(2): 330-334.
- **Heldman D.R.** (1995). Food science. Food science Tests series. 5eme edition. 593 p.
- **Hennebelle T., Sahpaz S. et Bailleul F.** (2004). Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie* .1: 3-6.
- **Hernandez Y., Lobo M.G. et Gonzalez M.** (2006). Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food chemistry* (96): 654-664.

J

- **Jacobo-Vanlenczuela N., Zazueta-Morales J.D.J., Gallegos-Infante J.A., Aguilar-Gutierrez F., Camacho-Hernandez I.L., Rocha-Guzaman N.E. et Gonzalez-Laredo R.F.** (2011). Chemical and physicochemical characterization of winter squash (*C. moschata* D). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 39. (1): 34-40.
- **Jayaprakasha G.K., Girenavar B. et Patil B.S.** (2008). Antioxidant capacity of pummelo and navel oranges: Extraction efficiency of solvents in sequence. *LWT*. 41: 376–384.

K

- **Krinsky N.I. et Johnson E.J.** (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular aspects of medicine*. 26:459-516.

L

- **Lako J., Trenerry V.C., Wahlqvist M., Wattanapenpaiboon N., Sotheeswaran S. et Premier R.** (2007). Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*. 101: 1727-1741.
- **Laumonnier.** (1988). Culture maraîchère, Tome 1, Lavoisier, 232 p.
- **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 Mauritian black teas. *Food Research International*. N°38, p: 357-367.
- **Lyimo M.H., Nyagmegwe S. et Mnkeni A.P.** (1991). Investigation on the effect of traditional food processing, preservation and storage methods on vegetable nutrients: a case study in Tanzania. *Plant Foods for Human Nutrition*. 41: 53-57.

M

- **Marfak A.** (2003). Radiolyse gamma des flavonoides. Etude de leur réactivité avec les radicaux issus des alcools : formation de depsides. Thèse de doctorat, spécialité : biophysique, Université de Limoges. 187p.
- **Marek E., Radzanowska J., Danilcenko H., Jariene E. et Cerniauskiene J.** (2008). Quality of Pumpkin Cultivars in Relation to Sensory Characteristics. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 36 (1): 73-79.
- **Mawamba A.D., Gouado I., Leng M., Touridomon I.S. et Mbiado F.T.** (2009). Steamed-dried squashes (*Cucurbita* sp) can contribute to alleviate vitamin A deficiency. *American Journal of Food Technology*. 4(4): 170-176.
- **McDougall G.J., Dobson P. et Jordan-Mahy N.** (2010). Effect of different cooking regimes on rhubarb polyphenols. *Food Chemistry*. 119: 758-764.
- **Miean K.H. et Mohamed S.** (2000). Flavonoid (Myricetin, Quercetin, Kaempferol, Luteolin, and Apigenin) content of edible tropical plants.

- **Milardović S., Ivekovic D. et Grabarić B.S.** (2006). Anovel ampirometric method for antioxidant activity determination using DPPH free radical. *Bioelectrochemistry*. 68:175-180.

N

- **Nawirska A., Figiel A., Kucharska A.Z., Sokol-tetowska A. et Biesiada A.** (2009). Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. *Journal of food engineering*.94:14-20.
- **Nawirska-Olszannasuk A., Bie Siada A., Sokol-Letowsk A. et Kucharsk A.Z.** (2011). Content of bioactive compounds and antioxidant capacity of pumpkin puree enriched with Japanese quince,cornelian cherry, strawberry and apples. *Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaire*. 10(1):51-60.

O

- **Okwu D.E. et Uknawa N.S.** (2007). Nutritive value and phytochemical contents of fluted pumpkin (*Telfaria Occidentalis Hook F*) vegetable grown with different levels of turkey droppings. *African crop science conference proceedings*. 8:1759-1964.
- **Onyeike E.N., Ihugba A. C. et George C.** (2003). Influence of heat processing on the nutrient composition of vegetable leaves consumed in Nigeria. *Plant Foods for Human Nutrition*. 58: 1–11.
- **Otty C.M.** (2010). Effect on the total antioxidant capacity of substituting water with rooibos herbal teas in popular soup recipes. *Cape Peninsula University of Technology*. 307p.

P

- **Pahud Y., Tardy M. et Meldem M.** (2006). Courge: citrouille et potiron. Edition Cabedita.2-22p.
- **Pericin D., Krimer V., Trivic S. et Radulovic L.** (2009). The distribution of phenolic acids in pumpkin's hull-less seed, skin, oil cake meal,dehulled kernel and hull. *Food Chemistry*. 113: 450–456.

- **Perla V., Holm D.G. et Jayanty S.S.** (2012). Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers. *LWT - Food Science and Technology*.45: 161-171
- **Pinelo M., Rubilar M., Sincero J. et Nunez M.J.** (2004). Extraction of antioxidant phenolics from almond hulls (*Prunus amygdalus*) and pine sawdust (*Pinus pinaster*). *Food chemistry*. 85:267-273.
- **Polèse J.M.** (2006). La culture des courges. Edition Artemis.10-76p.

R

- **Rakcejeva T., Galoburda R., Cude L. et Strautniece E.** (2011).Use of dried pumpkins in wheat bread production. *Procedia food science*.1:441-447.
- **Rodriguez-Amaya D. B et D. PH.** (2001). A guide to carotenoid analysis in foods. In nature of carotenoids in foods.63p

S

- **Seignalet J.** (2004). L'alimentation ou la troisième médecine. 5ème édition. François-Xavier de Guibert 3, rue Jean-François-Gerbillon, 75006 Paris. 617p
- **Somsub W., Kongkachuichai R., Sungpuag P. et Charoensiri R.** (2008). Effects of three conventional cooking methods on vitamin C, tannin, myo-inositol phosphates contents in selected Thai vegetables. *Journal of food composition and analysis*. 21:187-197.
- **Su M.S., Shyu Y.T et Chien P.J.** (2008). Antioxidant activities of citrus herbal product extracts. *Food Chemistry*. 111: 892–896.

T

- **Tamer C.E., Inceday B., Yonel S.P., Yonak S. et Utku copur O.** (2010). Evaluation of several quality criteria of low calorie pumpkin dessert. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 38(1):76-80.
- **Turkmen N., Sari F. et Sedat Velioglu Y.** (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry* .93 :713–718.

V

- **Vanier P.** (2007). La citrouille au fil du temps, Usages culinaires, Conservation, Jardinage biologique, Ecologie et environnement.
- **Vermerris W. et Nicholson R.** (2006). Phenolic compound biochemistry. In families of phenolic compound and means of classification. Ed. Springer. 3-23p.

W

- **Wangcharoen W. et Morasuk W.** (2007). Antioxidant capacity and phénolic content of some thai culinary plants. *Maejo international journal of science and technology*. 01(02): 100-106.

X

- **Xanthopoulou M.N., Nomikos T., Fragopoulou E. et Antonopoulou S.** (2009). Antioxidant and lipoxygenase inhibitory activities of pumpkin seed extracts. *Food Research International* .42: 641–646.

Z

- **Zamora G.S., Yahina E.M., Brecht J.K. et Gardia A.** (2005). Effects of postharvest hot air treatment on the quality and antioxidant levels in tomato fruit. *LWT*.38:657-663.
- **Zimmer N. et Cordesse N.** (1996). Influence des tanins sur la valeur nutritive des aliments des ruminants. *International productions animales*.3 :167-179.

Annexes

Annexe I

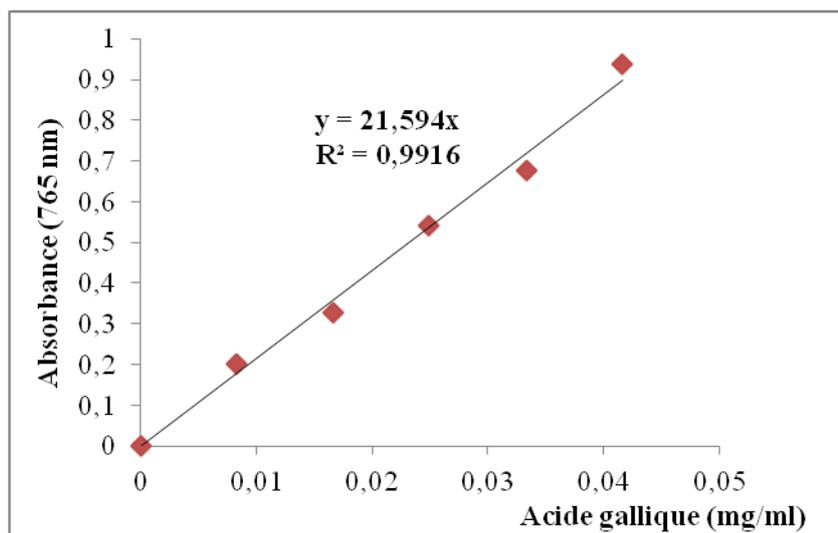


Figure 1: Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux.

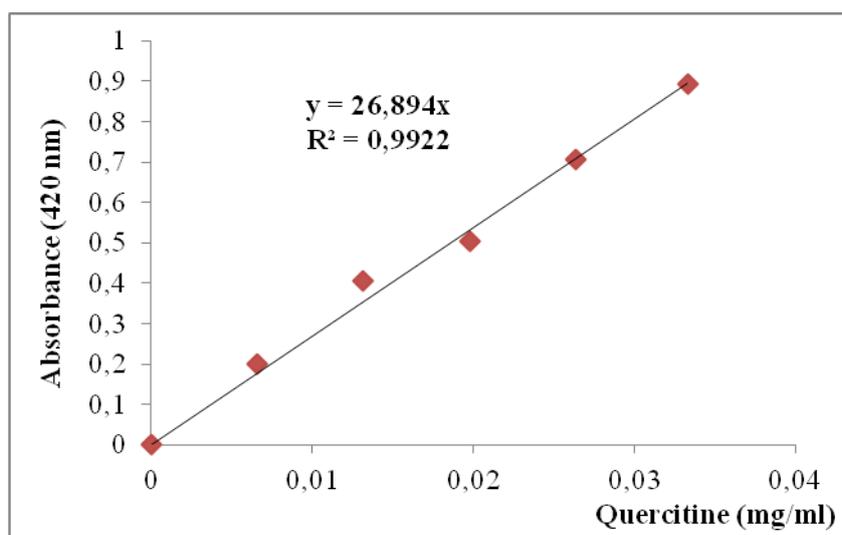


Figure 2: Courbe d'étalonnage des flavonoïdes.

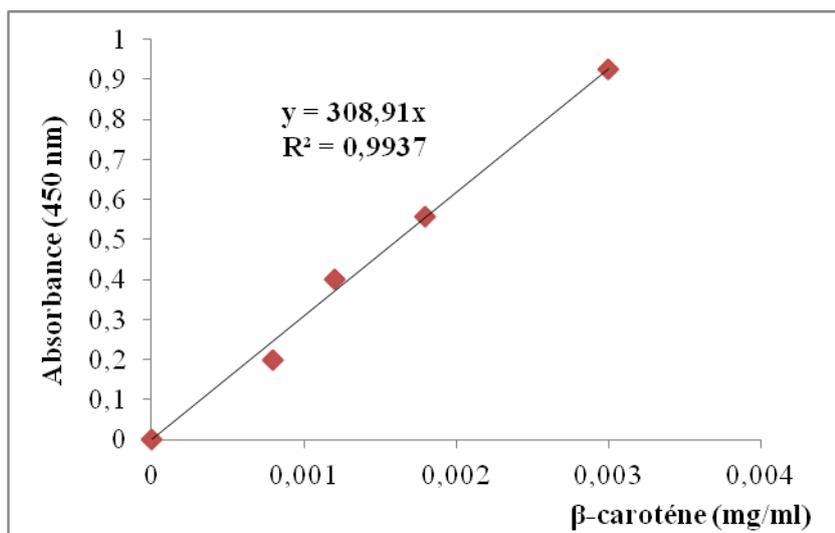


Figure 3: Courbe d'étalonnage des caroténoïdes.

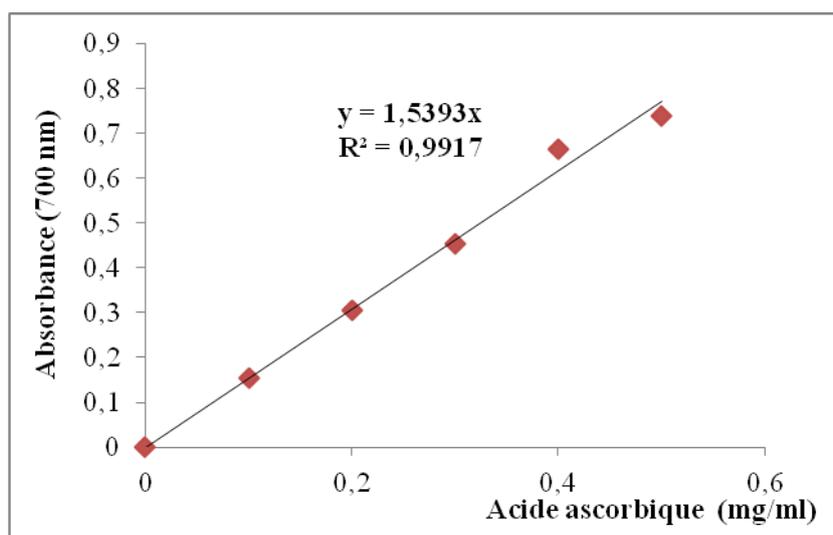


Figure 4: Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur.

Annexe II

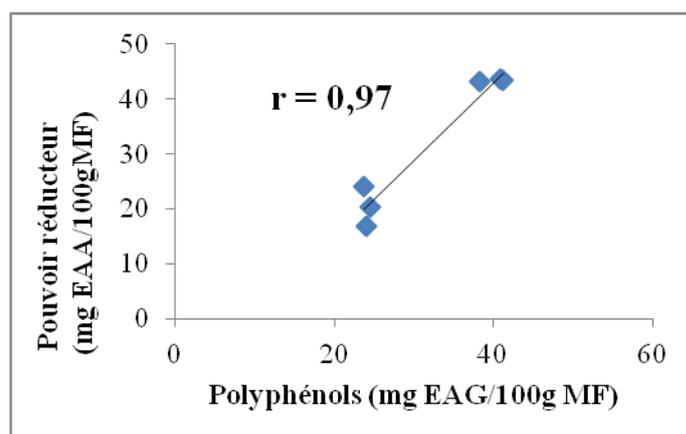


Figure 17 : Corrélation entre le pouvoir réducteur et les polyphénols des deux variétés de la courge traitées à la vapeur.

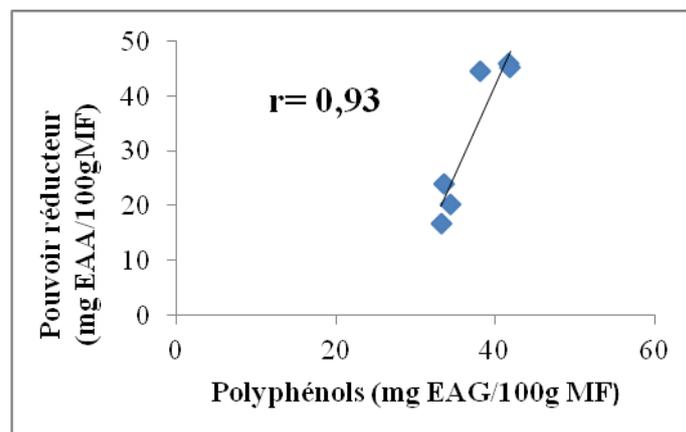


Figure 18 : Corrélation entre le pouvoir réducteur et les polyphénols des deux variétés de la courge à état frais.

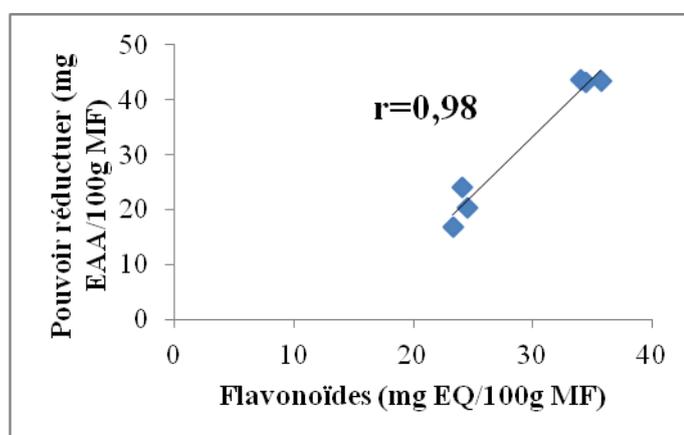


Figure 19 : Corrélation entre le pouvoir réducteur et les flavonoïdes des deux variétés de la courge traitées à la vapeur.

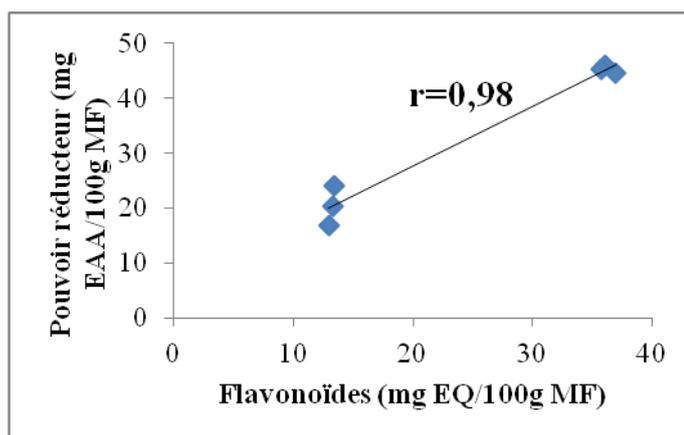


Figure 20 : Corrélation entre le pouvoir réducteur et les flavonoïdes des deux variétés de la courge à état frais.

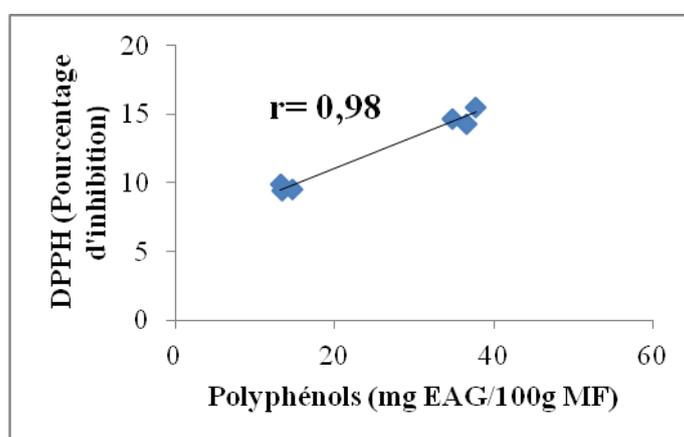


Figure 21 : Corrélation entre le DPPH (pourcentage d'inhibition) et les polyphénols des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie.

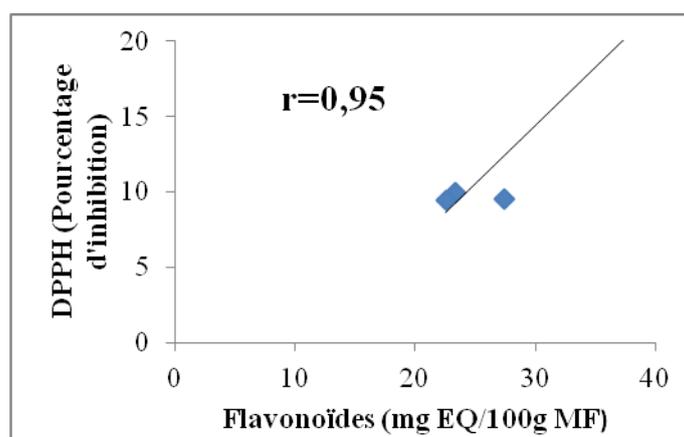


Figure 22: Corrélation entre le DPPH (pourcentage d'inhibition) et les flavonoïdes des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie.

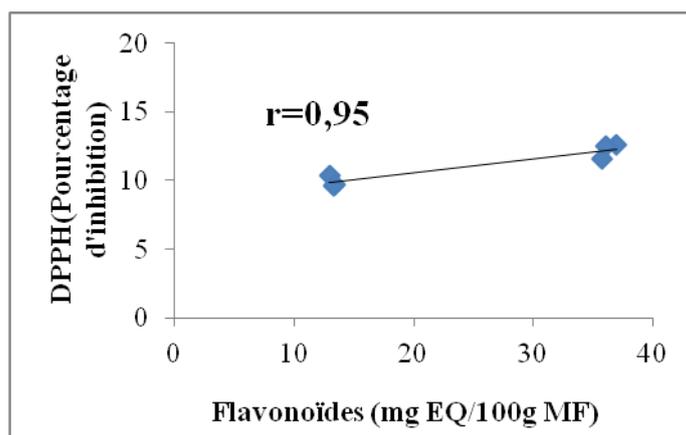


Figure 23 : Corrélation entre le DPPH (pourcentage d'inhibition) et les flavonoïdes des deux variétés de la courge à état frais.

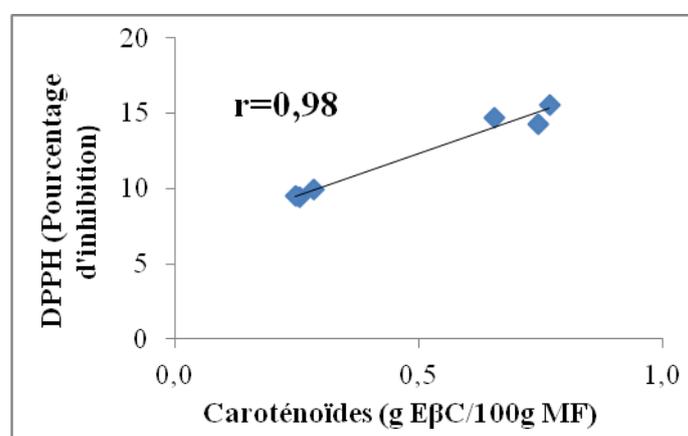


Figure 24: Corrélation entre le DPPH (pourcentage d'inhibition) et les caroténoïdes des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie.

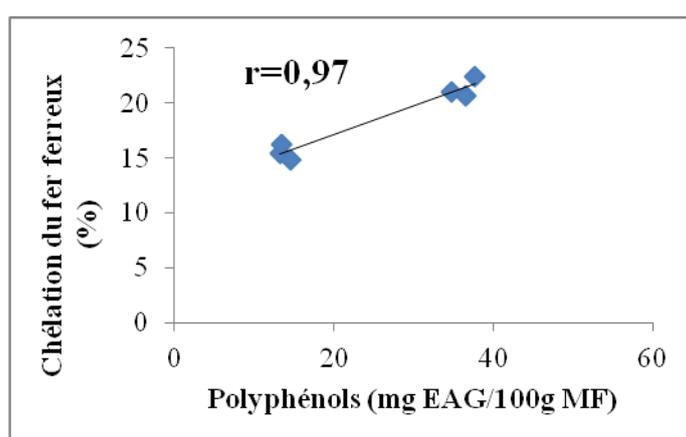


Figure 25 : Corrélation entre la chélation du fer ferreux et les polyphénols des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie.

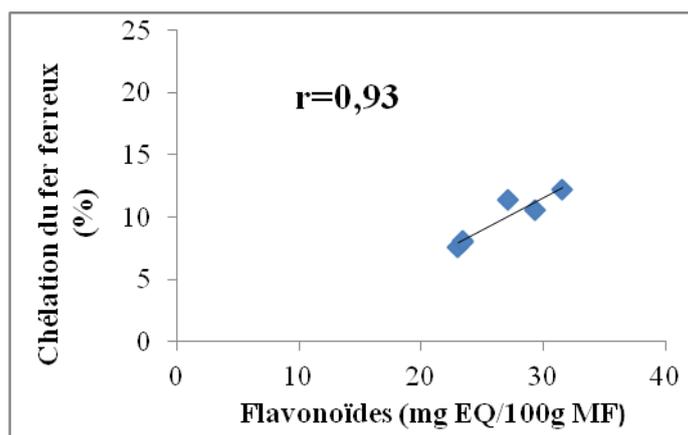


Figure 26 : Corrélation entre la chélation du fer ferreux et les flavonoïdes des deux variétés de la courge traitées au micro onde.

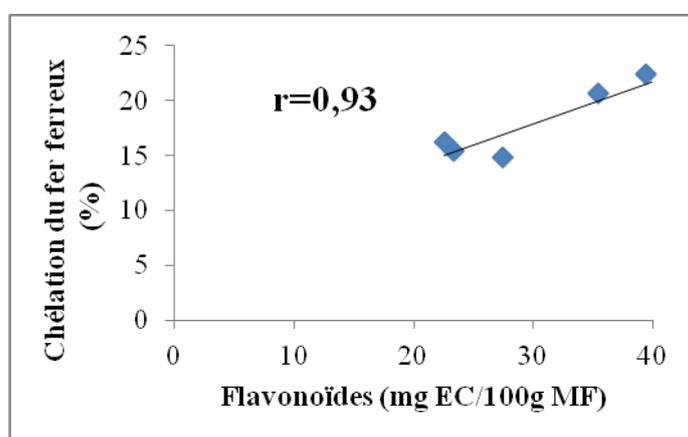


Figure 27 : Corrélation entre la chélation du fer ferreux et les flavonoïdes des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie.

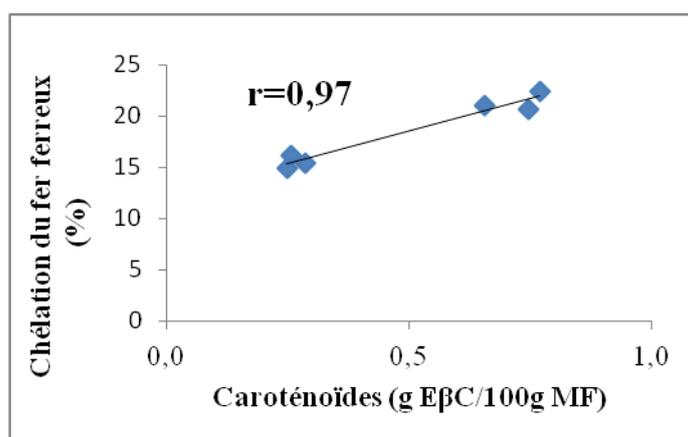


Figure 28 : Corrélation entre la chélation du fer ferreux et les caroténoïdes des deux variétés de la courge traitées à eau bouillie.

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier l'effet de la cuisson sur quelques paramètres physico-chimiques, la teneur en antioxydants ainsi que l'activité antioxydante de la chair de deux variétés de la courge (Taankikth et Temdewarth) appartenant aux espèces *Cucurbita moschata* et *Cucurbita pepo* respectivement sont évalués. Les résultats montrent que Taankikth crue est plus riche en antioxydants (caroténoïdes, composés phénoliques, et flavonoïdes), que Temdewarth crue. La cuisson à la vapeur est le meilleur traitement pour minimiser les pertes des polyphénols. Le pouvoir réducteur de Taankikth est plus élevée que celui de Temdewarth à état frais ; la meilleure valeur obtenue, après cuisson est Taankikth cuite à la vapeur ($43,310 \pm 0,198$ mg EAA/100g MF). Taankikth cuite dans eau bouillie présente la meilleur activité antiradicalaire et la chélation du fer ferreux.

Les résultats de cette étude montrent la variation de la teneur en antioxydants dans la chair de deux courges étudiées.

Mots clés : Courge, Taankikth, Temdewarth, Effet de la cuisson, Vapeur, Four, Micro onde, Eau bouillie, Composés phénoliques, Flavonoïdes, Caroténoïdes, Pouvoir réducteur, Activité antiradicalaire (DPPH), Chélation du fer ferreux.

Abstract

The aim of this work is to study the effect of cooking on several physicochemical parameters, antioxidant content and antioxidant activity of the flesh of two varieties of squash (Taankikth and Temdewarth), belonging to the species *Cucurbita pepo* and *Cucurbita moschata* respectively, collected to Timezrit, are evaluated. The results show that raw Taankikth is richer in antioxidants (carotenoids, phenolics, and flavonoids), that Temdewarth flood. The steaming is the best treatment to minimize the loss of polyphenols. The reducing power of Taankikth is higher than in fresh Temdewarth; the best value obtained after curing is Taankikth steamed (43.310 ± 0.198 mg EAA/100g MF). Taankikth cooked in boiling water has the best antiradical activity and chelation of ferrous iron. The results of this study show the variation in antioxidant content in the flesh of two squash examined.

Keywords: Squash, Taankikth, Temdewarth, Effect of cooking, Steam oven, Microwave, Boiled water, Phenolic compounds, Flavonoids, Carotenoids, Reducing power, antiradical activity (DPPH), Chelation of ferrous iron.