

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABDELAHMANE MIRA BEJAIA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires

Mémoire

Présenté par :

Mme DJERMOUNE Lynda Epouse ARKOUB

En vue de l'obtention du Diplôme de magister en Biologie

Option : Sciences Alimentaires

Thème

Etude de l'effet de la conservation et de la cuisson sur l'activité antioxydante de deux variétés de carotte

Devant le jury :

Président : M^r BENALLAOUA S.

Professeur (UAMB)

Rapporteur : M^{lle} LOUAILECHE H.

Professeur (UAMB)

Examineurs : M^{me} BENABDESLAM F.

Maître de conférences (UAMB)

M^r IGUER-OUADA M.

Maître de conférences (UAMB)

Année universitaire : 2007/2008

Remerciements

Tout d'abord, je remercie le bon Dieu tout puissant de m'avoir donné la volonté et la santé pour terminer ce travail.

Mes plus vifs remerciements s'adressent en premier lieu à ma promotrice professeur LOUAILLECHE H. pour avoir accepté de m'encadrer et de m'accueillir au sein de son laboratoire de biochimie alimentaire. Je vous remercie pour tous vos conseils et directives et votre disponibilité. Ses compétences et son efficacité ont fortement contribué à la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont également à Monsieur le professeur BENALLAOUA S. pour avoir accepté de présider le jury et d'évaluer ce travail.

Je remercie Madame le Docteur BENABDESAM F. et Monsieur le Docteur IGUER-OUADA M. pour avoir accepté d'examiner ce travail.

J'adresse mes remerciements également à Monsieur BENABAS, le sous directeur de l'unité PROFERT de m'avoir aidé et orienté afin d'avoir quelques données sur la carotte.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous mes collègues du laboratoire de biochimie alimentaire (Nacira, Soraya, Hayette, Nadia, Yacine, Mustapha, Salim) pour leurs conseils et encouragements.

J'aimerais également remercier vivement tous mes camarades et amis pour leur conseils, encouragements et soutien. Je tiens à remercier particulièrement Farida B., Aida M., Nabila B., Salima A. et Amina R. pour leur amitié manifestées tout au long de ce travail.

Je n'oublierais pas non plus de remercier chaleureusement mon mari et tous les membres de ma famille et de ma belle famille qui m'ont aidé et soutenu chacun à sa manière.

Mes remerciements vont également à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

A mes parents qui m'ont permis de prendre les voies que je désirais dans ma vie

A mes sœurs (Fazia, Lamia, Hanane et Lydia) et mon frère (Faouzi)

A mon mari qui m'a soutenu quotidiennement et mon fils zakaria

A ma belle famille

A toutes les mains qui m'ont été tendues...

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
I	Composition et valeur nutritive de la carotte	5
II	Composition de la carotte en caroténoïdes et en vitamines	6
III	Teneur en caroténoïdes de la carotte	8
IV	Caractéristiques des variétés de carotte	21

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
1	Coupe longitudinale d'une carotte	4
2	Structure des principaux caroténoïdes de la carotte	8
3	Structures chimiques des acides cinnamiques	12
4	Structures chimiques des isocoumarines de la carotte	12
5	Structure de base des flavonoïdes	14
6	Structures chimiques des flavonoïdes	14
7	Les flavonoïdes et leurs sites proposés pour la chélation des ions métalliques (Me ⁿ⁺)	15
8	Piégeage des espèces oxygénées réactives (R [•]) par les flavonoïdes	16
9	Photographie des variétés de carottes analysées	22
10	Procédure de cuisson et d'extraction des différents antioxydants	24
11	Evolution de la teneur en caroténoïdes totaux au cours de stockage à 4°C	27
12	Teneurs en caroténoïdes de carottes fraîches et de carottes cuites	29
13	Teneurs en caroténoïdes des eaux de cuisson de la carotte	30
14	Evolution de la teneur en composés phénoliques des extraits aqueux au cours de stockage à 4°C	31
15	Teneurs en polyphénols totaux des extraits de carottes fraîches et de carottes cuites	33
16	Teneur en composés phénoliques des eaux de cuisson	34
17	Evolution de la teneur en flavonoïdes des extraits de carotte cours du stockage à 4 °C	36
18	Teneurs en flavonoïdes des extraits de carottes fraîches et de carottes cuites	37
19	Les teneurs en flavonoïdes des eaux de cuisson de la carotte	38
20	Evolution de l'activité antiradicalaire des extraits de carotte au cours de stockage à 4 °C	39

21	Activité antiradicalaire des extraits de carottes fraîches et de carottes cuites	41
22	Evolution du pouvoir réducteur des extraits de carotte au cours de stockage à 4 °C	42
23	Pouvoir réducteur des extraits de carottes fraîches et de carottes cuites	43
24	Activité antiradicalaire des eaux de cuisson	44
25	Pouvoir réducteur des eaux de cuisson	44
26	Corrélations entre la teneur en caroténoïdes et l'activité antiradicalaire (A), le pouvoir réducteur (B)	46
27	Corrélations entre l'activité antiradicalaire, le pouvoir réducteur et la teneur en composés phénoliques (A et B) et en flavonoïdes (C et D) des extraits aqueux de carotte	47
28	Corrélations entre l'activité antiradicalaire, le pouvoir réducteur et la teneur en composés phénoliques (A et B) et en flavonoïdes (C et D) des eaux de cuisson	48

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES
LISTE DES TABLEAUX

Introduction.....	1
-------------------	---

Revue bibliographique La carotte

I. Classification.....	3
II. Morphologie.....	3
III. Les Variétés.....	3
3.1. Les carottes rouges ou carottes à forcer.....	4
3.2. Les Carottes demi-longues.....	4
3.3. Les carottes longues.....	5
IV. Composition.....	5
V. Les substances à activité anti-oxydante de la carotte.....	7
5.1. Les caroténoïdes.....	7
5.1.1. Définition et Structure.....	7
5.1.2. Facteurs influençant la composition des aliments en caroténoïdes....	8
5.1.3. Les propriétés antioxydantes.....	10
5.2. Les polyphénols.....	11
5.2.1. Définition et structure.....	11
5.2.1.1. Les acides phénoliques.....	11
5.2.1.2. Les coumarines.....	11
5.2.2. Les propriétés antioxydantes.....	13
5.2.3. Les flavonoïdes.....	13
5.2.3.1. Définition et Structure.....	13
5.2.3.2. Propriétés antioxydantes.....	14
5.2.4. Facteurs influençant la composition des aliments en polyphénols....	16

VI. Les effets protecteurs de la carotte.....	18
6.1. Protection contre le cancer.....	18
6.2. Protection contre les maladies cardiovasculaires.....	19
6.3. Protection contre la cataracte.....	20

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

1. Echantillonnage.....	21
2. Dosage des antioxydants.....	21
2.1. Préparation des extraits.....	21
2.2. Dosage des polyphénols.....	22
2.3. Dosage des flavonoïdes.....	22
2.4. Extraction et dosage des caroténoïdes.....	23
3. Détermination de l'activité antioxydante.....	23
3.1. Pouvoir réducteur.....	23
3.2. Activité antiradicalaire.....	23
4. Effet de la conservation.....	24
5. Effet de la cuisson.....	24
6. Analyse statistique.....	25

Résultats et discussion

1. Les antioxydants.....	26
1.1. Les caroténoïdes.....	26
1.1.1. Effet de la conservation.....	26
1.1.2. Effet de la cuisson.....	29
1.1.3. Eaux de cuisson.....	29
1.2. Les polyphénols.....	30
1.2.1. Effet de la conservation.....	31
1.2.2. Effet de la cuisson.....	32
1.2.3. Eaux de cuisson.....	34
1.3. Les flavonoïdes.....	35

1.3.1. Effet de la conservation.....	35
1.3.2. Effet de la cuisson.....	36
1.3.3. Eaux de cuisson.....	37
2. Activité antioxydante.....	38
2.1. Activité antiradicalaire.....	38
2.1.1. Effet de la conservation.....	39
2.1.2. Effet de la cuisson.....	40
2.2. Le pouvoir réducteur.....	40
2.2.1. Effet de la conservation.....	40
2.2.2. Effet de la cuisson.....	41
2.2.3. Eaux de cuisson.....	42
Conclusion.....	48
Références bibliographiques.....	50
Annexes.....	65

INTRODUCTION

Les radicaux libres sont des atomes ou un groupe d'atomes avec un nombre impair d'électrons, produits dans l'organisme au cours d'un métabolisme normal. Ils sont reconnus par leur grande réactivité et font partie des espèces oxygénées réactives (EOR) (Lecerf, 1999 ; Pelli et Lyly, 2000).

Les EOR regroupent non seulement les radicaux libres tels que l'anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$) et le radical hydroxyle ($\cdot OH$) mais également des dérivés non radicalaires comme le peroxyde d'hydrogène et les hydroperoxydes (ROOH) (Deby et Goutier, 1990 ; Koechlin-Romantxo, 2006).

Afin de lutter contre ces radicaux nocifs qui sont impliqués dans l'apparition de certains types de cancers, des maladies cardio-vasculaires et des maladies liées aux vieillissements telle que la cataracte, notre organisme utilise des systèmes de défense antioxydants, endogènes et exogènes apportés par l'alimentation. Le système endogène est représenté par des enzymes qui réagissent en synergie : la glutathion peroxydase, la catalase et la superoxyde dismutase (SOD) (Berger, 2006).

Les radicaux libres peuvent être produits en excès lors d'une exposition à des agressions de l'environnement comme les agents infectieux, la pollution, les UV, la fumée de cigarette et les rayonnements. De ce fait, notre système endogène de défense se trouve incapable d'inhiber toutes les espèces réactives et l'organisme humain a donc besoin d'une alimentation riche en antioxydants exogènes tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les caroténoïdes et les vitamines A, C et E (Marfak, 2003).

En général, les fruits et légumes sont riches en antioxydants et la carotte en particulier est une source de vitamine A et de caroténoïdes ; le β -carotène constitue 60 à 80 % des caroténoïdes de la carotte suivi de l' α -carotène (10-40 %), de la lutéine (1-5 %) et les autres caroténoïdes en quantités mineures (0,1-1 %) (Sun et Temelli, 2006).

La carotte est un légume consommé régulièrement à l'état cru, cuit ou sous forme de jus grâce à sa richesse en caroténoïdes. Ces derniers sont des molécules très réactives ayant une activité provitamine A et antioxydante c'est-à-dire capables de neutraliser les radicaux libres.

La présente étude a trois objectifs :

Le premier est de comparer les teneurs en constituants antioxydants (caroténoïdes, polyphénols, flavonoïdes) et l'activité antioxydante de deux variétés de carotte.

Le deuxième est d'évaluer l'effet du stockage à 4 °C sur le taux des constituants antioxydants et l'activité antioxydante.

Le troisième est de déterminer l'impact de la cuisson sur les antioxydants et l'activité antioxydante de la carotte.

La carotte

I. Classification

La carotte (*Daucus carota L.*) est originaire d'Asie ; elle présentait auparavant une couleur mauve voire noire et suite aux sélections agronomiques, elle revêt cette couleur orange.

La carotte est une plante annuelle ou bisannuelle (Crété, 1965; Balasubramaniam *et al.*, 1998). Elle est classée dans le règne: *Plantae*, la division: *Magnoliophyta*, la classe: *Magnoliopsida*, la sous classe: *Rosidae*, l'ordre: *Apiales*, la famille : *Apiaceae*, le genre: *Daucus* et son nom binomial: *Daucus carota L.1753* . Cette famille comprend d'autres légumes tels que le céleri, le cerfeuil et le persil (Crété, 1965; Mazza, 1989). Elle offre par sa richesse, de multiples qualités nutritionnelles et diététiques (Mazza, 1989).

II. Morphologie

La partie comestible de la carotte est en fait, la racine principale de la plante. Il est possible de différencier, à l'intérieur d'une racine mature, plusieurs zones (figure 1).

- a) **Le périderme:** une zone très mince à l'extérieur, véritable épiderme de la racine (Mazza, 1989);
- b) **Le phloème:** une zone intermédiaire où les sucres sont stockés (Mazza, 1989), dénommée dans le langage courant « chair de la carotte » (Villeneuve, 1999);
- c) **Le cambium vasculaire :** c'est un anneau mince constitué de cellules génératrices;
- d) **Le xylème:** correspond à la zone centrale de la racine (Villeneuve, 1999).

III. Les Variétés

Le monde des carottes est extrêmement diversifié tant au niveau des couleurs, des formes que des durées de cycles végétatifs. La classification de la carotte fait intervenir principalement la forme et la couleur, mais il existe de nombreux cas intermédiaires. Actuellement, le principal critère permettant de distinguer les variétés est la longueur de la racine:

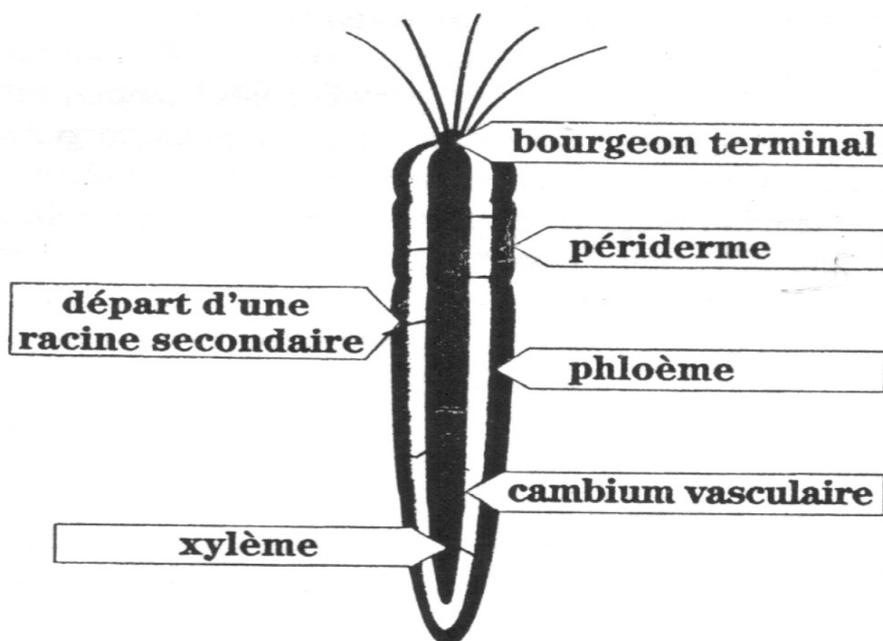


Figure 1: Coupe longitudinale d'une carotte (Villeneuve, 1999).

3.1. Les carottes rouges ou carottes à forcer : ce sont des carottes rondes, lisses, tendres, pointues de couleur rouge et récoltées du début du mois de mai jusqu'à la fin du mois de juin avec une taille qui ne dépasse pas 10 cm (Crété, 1965). Ce groupe comprend les variétés primeurs: carotte Parisienne, carotte Grelot, carotte Daventure, carotte de Hollande, carotte Amsterdam et carotte Saint Facre (Villeneuve, 1999).

3. 2. Les Carottes demi-longues: ce groupe est subdivisé en deux catégories:

- Les carottes précoces d'été.
- Les carottes demi longues principales

Ce groupe reste le plus représenté en cultures maraîchères. Les racines sont de forme cylindrique, droites, lisses et de taille moyenne 10 à 20 cm (Crété, 1965). Ces variétés récoltées en été ou en automne, sont très tendres et présentent un goût doux. La première variété rentrant dans ce groupe semble être la carotte "Early Half long Harn". Carotte demi-longue Nantaise, carotte Croissy, carotte Touchon, carotte demi-longue de Carentan, carotte demi-longue Deluc, carotte demi-longue Chantenay (Villeneuve, 1999).

3.3. Les carottes longues: elles sont cylindriques, lisses, moins tendres et moins sucrées que les carottes demi-longues (Mazza, 1989). Ce groupe, plus rustique, comprend les carottes tardives et de conservation hivernale telles que la carotte rouge longue de Saint-Valery, la carotte Calmar, la carotte Berlikum, la carotte Flakkée et la carotte de Meaux. Le type initial est la variété longue orange à racine longue, de 25 à 30 cm (Villeneuve, 1999).

IV. Composition

La carotte présente une teneur relativement élevée en caroténoïdes, en particulier, en β carotène (Chen *et al.*, 1996 ; Sulaeman *et al.*, 2001) et fournit environ 17 % de la vitamine A totale. Cette pro-vitamine A, outre le fait qu'elle contribue à la couleur orange si typique, protège de troubles de la vision et maintient en bon état les tissus de l'organisme, notamment la peau et les bronches (Northolt *et al.*, 2004).

Par ailleurs, la carotte constitue une importante source de fibres (Villeneuve, 1999) (tableau I), de vitamines A, B et C (Louret, 2006 ; Singh *et al.*, 2007) (tableau II) protégeant ainsi contre de nombreuses maladies.

Tableau I: Composition et valeur nutritive de la carotte (Souci *et al.*, 1994).

Composants (g)	Moyenne*	Intervalle
Eau	88,20	87,50 - 92,10
Protéines	0,98	0,70 - 1,20
Lipides	0,20	0,10 - 0,30
Sucres	4,80	-
Fibres	3,63	3,34 - 3,76
Acides organiques	0,26	-
Minéraux	0,86	0,66 - 1,02

(*): Valeur moyenne par 100g de matière comestible

Tableau II: Composition de la carotte en caroténoïdes et en vitamines
(Souci *et al.*, 1994).

Vitamine	Moyenne*	Intervalle
Equivalent rétinol (mg)	1,57	1,17 - 2,08
Caroténoïdes (mg)	11,10	7,30 - 14,42
α-carotène (mg)	3,31	0,53 - 3,92
β-carotène (mg)	7,79	6,77 - 10,50
Cryptoxanthine	Traces	Traces
Activité vitamine E (μg)	465,00	384,00 - 627,00
Tocophérols totaux (μg)	513,33	430,00 - 680,00
α-Tocophérol (μg)	440,00	360,00 - 600,00
β-Tocophérol (μg)	30,00	-
α-Tocotriénol (μg)	43,33	40,00 - 50,00
Vitamine k (μg)	16,86	5,00 - 80,00
Vitamine B₁ (μg)	69,00	50,00 - 100,00
Vitamine B₂ (μg)	53,00	30,00 - 80,00
Nicotinamide (μg)	580,00	400,00 - 1000,00
Acide pantothénique (μg)	270,00	200,00 - 1000,00
Vitamine B₆ (μg)	270,00	101,00 - 437,00
Biotine (μg)	5,00	2,00 - 7,00
Acide folique (μg)	55,00	-
Vitamine C (μg)	7,00	-

(*): Valeur moyenne par 100g de matière comestible

V. Les substances à activité anti-oxydante de la carotte

5.1. Les caroténoïdes

5.1.1. Définition et structure

Les caroténoïdes sont des pigments lipophiles ayant des propriétés anti-oxydantes y compris d'autres activités (Murkovic *et al.*, 2002). Ces pigments appartiennent à la famille des tétraterpénoïdes (C₄₀) formés de huit unités isoprènes liées et forment une molécule symétrique (Pichter, 1993).

La structure de base des caroténoïdes est formée d'une longue chaîne hydrocarbonée en C₁₈ contenant les simples et les doubles liaisons, portant quatre groupements méthyles et deux cycles en C₆ (β-inone) situés à chacune des extrémités de cette chaîne. Les cycles β-inone portent un nombre variable de groupement méthyles, éventuellement des groupements hydroxyles et souvent une ou deux doubles liaisons ; la position et le nombre de ces groupements déterminent le type de caroténoïdes. Les doubles liaisons de la chaîne en C₁₈ déterminent une série d'isomères *Cis-Trans* (Linden et Lorient, 1999; Borel *et al.*, 2005).

Plus de 650 caroténoïdes ont été décrits et isolés à partir des sources naturelles ; seul 60 caroténoïdes sont présents dans le régime alimentaire (Hornero-Méndez et Mínguez-Mosquera, 2007) permettant de distinguer :

1) Les carotènes

Les carotènes dont le lycopène, les α- et β- carotène, le phytofluène et le phytoène contiennent une chaîne hydrocarbonées donc extrêmement apolaires (Crété, 1965 ; Rodriguez-Amaya, 2001).

2) Les xanthophylles

Les xanthophylles comme la lutéine, la zéaxantine, le β-Crypthoxanthine et la canthaxanthine sont moins apolaires que les carotènes car ils portent des fonctions oxygénées dans leur structure (Crété, 1965 ; Pichter, 1993 et Dionne, 2002).

Les caroténoïdes sont largement distribués dans les racines de la carotte où l'α-carotène, le β-carotène et la lutéine (figure 2) se trouvent en quantité prédominante (Rodriguez-Amaya, 2001 ; Sun et Temelli, 2006) (tableau III).

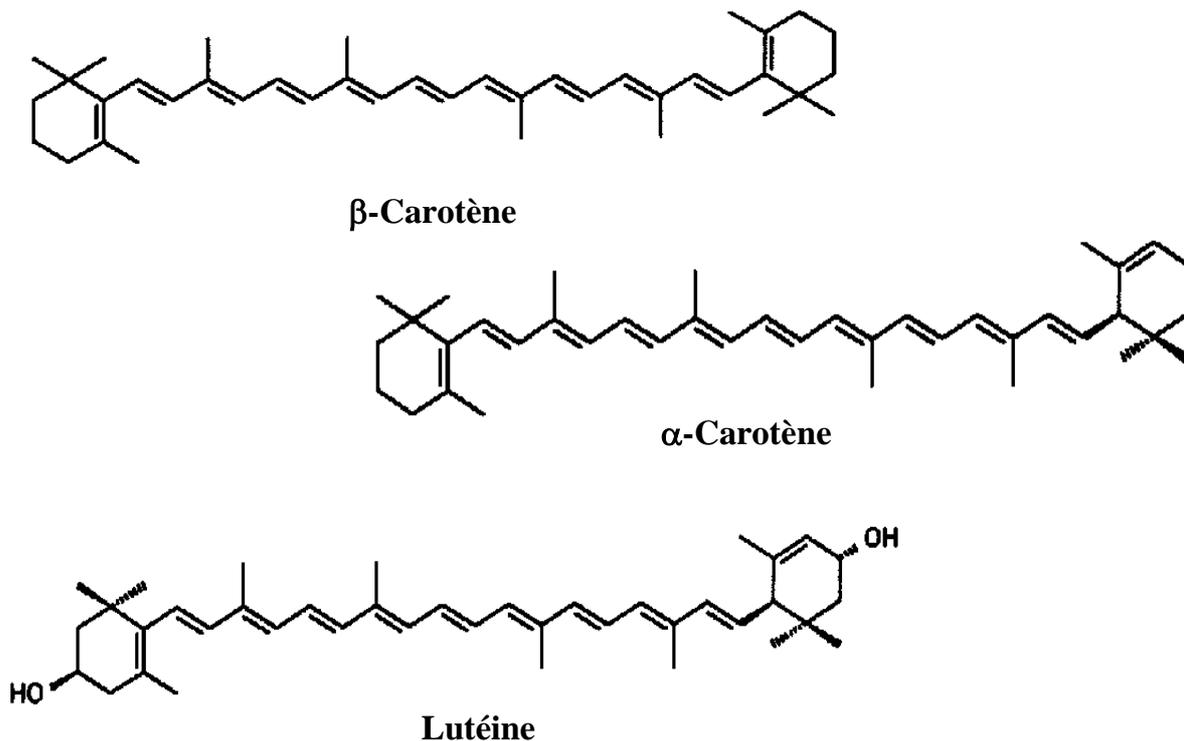


Figure 2: Structure des principaux caroténoïdes de la carotte (Stahl et Sies, 1999 ; McLaren et Frigg,2000).

Tableau III: Teneur en caroténoïdes de la carotte (Beltiz *et al.*, 2004).

Caroténoïdes	Teneurs ($\mu\text{g}/100\text{g}$)
β -Carotène	7900
α -Carotène	3600
Lutéine	260

5.1.2. Facteurs influençant la composition des aliments en caroténoïdes

- **La variété :** des études expérimentales ont montré des différences qualitatives et/ou quantitative entre les variétés d'un même aliment (Rodriguez-Amaya, 2001). Bachir Bey (2006) a montré que la teneur en caroténoïdes de la tomate varie d'une variété à l'autre : 5,7 (Nattih) à 9,59 mg/100g (Marmande).

- ***Le stade de maturité:*** le stade de maturité est l'un des facteurs qui affecte la composition en caroténoïdes. Généralement, la maturation des fruits (mango) et légumes (poivre vert) est accompagnée d'une synthèse de caroténoïdes (Rodriguez-Amaya et Kimura, 2004) parallèlement à la dégradation de la chlorophylle et à la transformation des chloroplastes en chromoplastes (Rodriguez-Amaya, 2001).

Lisiwska *et al.* (2006) ont constaté que la teneur en caroténoïdes augmente pendant la maturation de l'aneth.

- ***Le climat et l'origine géographique:*** l'élévation de la température et une exposition au soleil peuvent avoir un effet sur la caroténogenèse dans les fruits tels que la tomate. Un climat tropical favorise la biosynthèse des caroténoïdes (Rodriguez-Amaya et Kimura, 2004). Toor *et al.* (2006) ont rapporté qu'une température de 16 à 21 °C favorise la synthèse du lycopène dans la tomate alors qu'à 30 °C, cette synthèse est inhibée.

- ***La partie de la plante:*** dans la plupart des fruits et légumes, l'épiderme contient plus de caroténoïdes que les pulpes (Rodriguez-Amaya et Kimura, 2004). Toor et Savage (2005) ont constaté que l'épiderme de la tomate contient plus de lycopène que la pulpe.

- ***Les conditions de culture:*** l'utilisation d'engrais peut aussi influencer la composition en caroténoïdes. La comparaison de la même variété de Kale et à un même stade de maturité cultivé dans une ferme conventionnelle utilisant des engrais avec celle non traitée a révélé une augmentation significative de la teneur en caroténoïdes dans les échantillons traités (Rodriguez-Amaya et Kimura, 2004).

- ***Les conditions de stockage et le processus de fabrication:*** l'altération ou la perte en caroténoïdes pendant le processus technologique et au cours du stockage peut avoir lieu à travers l'élimination des cellules protectrices (épluchage...), l'isomérisation géométrique et l'oxydation enzymatique ou non enzymatique. Afin d'assurer le maximum de rétention des caroténoïdes, des précautions doivent être prises par l'optimisation de la prévention ou la réduction de la dégradation (Rodriguez-

Amaya, 2001). Chen *et al.* (1995) ont rapporté qu'un blanchiment peut causer une dégradation et/ou une isomérisation des caroténoïdes.

5.1.3. Les propriétés antioxydantes

Les propriétés antioxydantes des caroténoïdes sont attribuées à leur capacité de piéger l'oxygène singulet et les radicaux libres.

a) Piégeage de l'oxygène singulet

Le mécanisme principal de la photoprotection des caroténoïdes contre l'oxygène singulet ($^1\text{O}_2$) est le transfert d'énergie électronique malgré que des réactions chimiques peuvent avoir lieu conduisant à une destruction des caroténoïdes (Dutta *et al.*, 2005).



Le $^3\text{CAR}^*$ produit peut revenir à l'état initial en libérant de l'énergie sous forme de chaleur. Dans ce cas, les caroténoïdes agissent comme des catalyseurs désactivant l'oxygène singulet ($^1\text{O}_2$) (Dutta *et al.*, 2005).



b) Piégeage des radicaux libres

Les caroténoïdes peuvent également réagir avec les radicaux libres par l'intervention des mécanismes suivants :

- ✓ **Transfert d'électrons** : l'oxydation du radical avec un grand potentiel redox peut libérer un électron à partir d'une molécule de caroténoïde pour donner un radical cation (CAR^+).
- ✓ **Formation d'adduits** : les caroténoïdes réagissent avec les radicaux libres et donnent des complexes radicalaires stables.
- ✓ **Transfert d'hydrogène** : les caroténoïdes peuvent inhiber les radicaux libres par transfert d'hydrogène formant ainsi un radical CAR^* (Dutta *et al.*, 2005; Krinsky et Johnson, 2005).



5.2. Les polyphénols

5.2.1. Définition et structure

Les composés phénoliques sont un groupe important de métabolites secondaires synthétisés durant un développement normal de la plante et lors de la réponse aux conditions de stress tels que les infections, les blessures et l'exposition aux radiations UV. Ces composés sont très diversifiés et dérivent de la phénylalanine et de la tyrosine (Rhodes, 1996).

Les plantes peuvent contenir les phénols simples, les acides phénoliques, les coumarines, les stilbenes, les tannins condensés et hydrolysables (proanthocyanidines), les lignanes, les lignines et les flavonoïdes. En général, les fruits et légumes sont une source de composés phénoliques ; la carotte est riche en acides phénoliques, en isocoumarines (Naczk et Shahidi, 2006) et en flavonoïdes (Maroniva *et al.*, 2005)

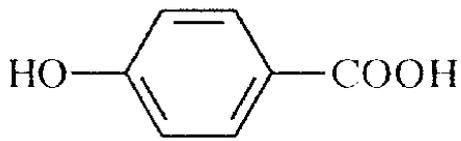
5.2.1.1. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des dérivés formés à partir de l'acide cinnamique grâce à des substitutions au niveau du cycle aromatique. Ces dérivés sont de type phényle propane ou acides phénolcarboxyliques (acides cinnamiques). Dans la cellule, ces composés se trouvent souvent liés aux glucides sous forme de glucosides (Pichter, 1993).

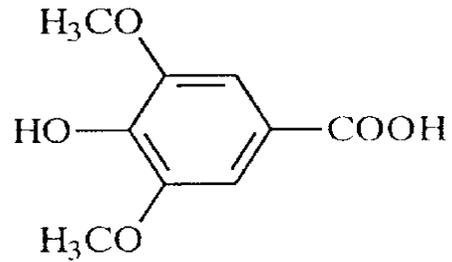
Les acides phénoliques de la carotte sont les acides *p*-hydroxy-benzoïque, syringique, 3'-cafféoyl-quinique "acide néochlorogénique", 5'-cafféoyl-quinique "acide chlorogénique", 3'-5' *p*-coumaroylquinique, 3', 4' et 3', 5'-diféruoyl-quinique et 3', 4' et 5' féruoylquinique (Naczk et Shahidi, 2006) (figure 3).

5.2.1.2. Les coumarines

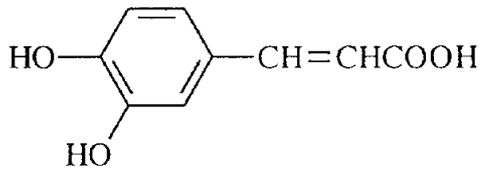
Les coumarines sont des composés phénoliques cyclisés qui dérivent des acides cinnamique et coumarique. Cependant, leur voie de biosynthèse peut varier d'une plante à l'autre. Dans la cellule, les coumarines sont principalement présentes sous forme glycosylée. Cette glycosylation serait une forme de stockage permettant d'éviter les effets toxiques des coumarines sur la cellule et la croissance des plantes (Hoffmann, 2003). La carotte est un légume riche en coumarines : 6-méthoxymélléine et 6-hydroxymélléine (figure 4) (Naczk et Shahidi, 2006).



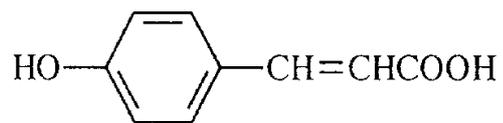
Acide *p*-hydroxybenzoïque



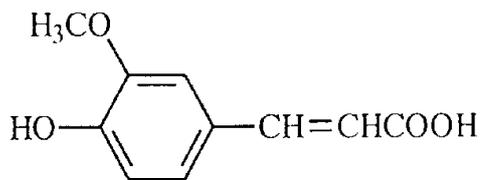
Acide syringique



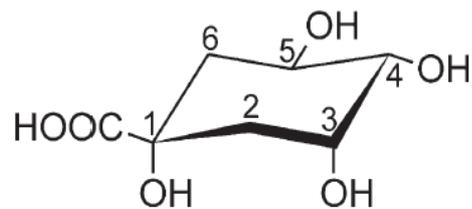
Acide caféique



Acide *p*-coumarique

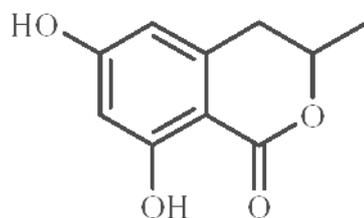


Acide férulique

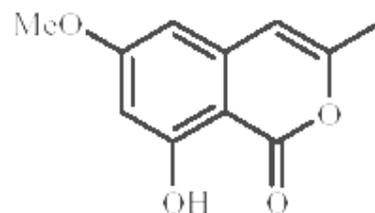


Acide quinique

Figure 3: Structures chimiques des acides cinnamiques (Yanishlieva-Maslarova *et al.*, 2001 ; Karmmerer *et al.*, 2004).



6-Hydroxymélléine



6-Méthoxymélléine

Figure 4: Structures chimiques des isocoumarines de la carotte (Tiouabi, 2005).

V.2.2. Propriétés antioxydantes

Les acides phénoliques en particulier possèdent une forte activité antiradicalaire due à leur capacité d'agir comme donneurs d'électrons ou de protons et de chélater les métaux de transition (Blokhina *et al.*, 2003). Ces composés, grâce à leurs propriétés, ont un rôle important dans la réduction des risques des maladies chroniques tels que les maladies cardiovasculaires et le cancer (Teon *et al.*, 2006). L'activité antioxydante des acides phénoliques est classée dans l'ordre suivant : acide caffeique > acide férulique > acide coumarique (Clifford, 2001).

5.2.3. Les flavonoïdes

5.2.3.1. Définition et structure

Le terme flavonoïdes désigne une très large gamme de dérivés naturels de benzo- γ -pyrane appartenant à la famille des polyphénols et très répandu dans les cellules photosynthétiques (Šhergert *et al.*, 2005). Cette dénomination vient du mot latin *flavus* : jaune incluant les différents groupes dont les flavones, les flavonones, les isoflavones, les flavonols, les catéchines et les pigments roses, rouges, pourpres et bleus nommés anthocyanines (Alsalvar *et al.*, 2005). Ces substances se rencontrent à la fois sous forme libre ou sous forme de glycosides. Le squelette de base à quinze atomes de carbone, est constitué de deux unités aromatiques (A et B), reliées par une chaîne de trois atomes de carbone (figure 5). Environ 9000 structures ont été identifiées (Martens et Mithöfer, 2005). Les composés de chaque sous classe se distinguent par le nombre, la position et la nature des substituants (groupements hydroxyles, méthoxyles et autres) sur les deux cycles A et B et la chaîne intermédiaire illustré dans la figure 6 (Pietta, 2000).

Les flavonoïdes présents dans la carotte sont les flavonols (quercétine, kaempférol, rutine ou quercétine 3-rutinoside) et les flavones (apigénine, lutéoline) (Poulin *et al.*, 1993).

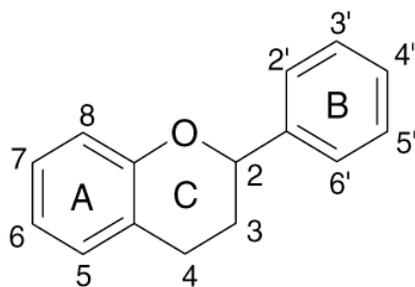
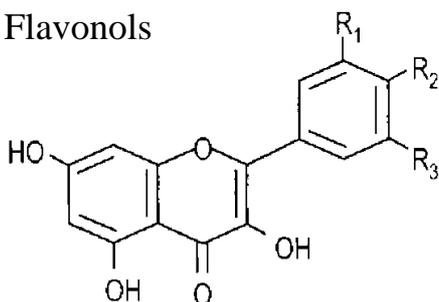


Figure 5 : Structure de base des flavonoïdes (Rice-Evans, 1999).

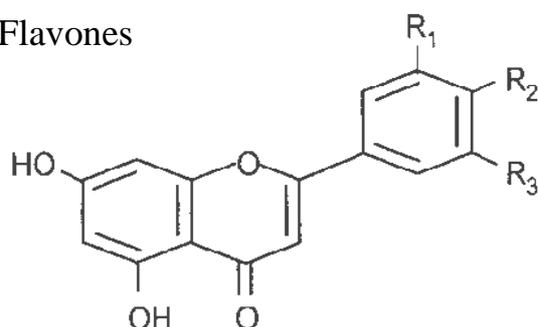
Flavonols



$R_2 = OH; R_1 = R_3 = H$: Kaempférole

$R_1 = R_2 = OH; R_3 = H$: Quercétine

Flavones



$R_1 = H; R_2 = OH$: Apigénine

$R_1 = R_2 = OH$: Lutéoline

Figure 6: Structures chimiques des flavonoïdes (Rice-Evans, 1999)

5.2.3.2. Propriétés antioxydantes

Les flavonoïdes sont connus par leurs activités anti-inflammatoires et anti-cancéreuses (Halliwell *et al.*, 2005). Ces activités sont attribuées en partie à leurs propriétés antioxydantes :

1) Inhibition enzymatique

Les flavonoïdes peuvent inhiber les réactions enzymatiques impliquées dans le stress oxydant tout en agissant sur leurs enzymes dont la xanthine oxydase qui catalyse l'oxydation de l'hapoxathine et de la xanthine en acide urique (Marfak, 2003), la phospholipase, la cyclooxygénase et la lipoxygénase (Ghedira, 2005).

2) Chélation des ions métalliques

Les flavonoïdes sont de bons chélateurs des ions métalliques (figure 7) qui amplifient la formation des espèces oxygénées réactives. Les ions Fe^{2+} et Cu^{2+} sont essentiels pour certaines fonctions physiologiques. Ils peuvent être, soit des constituants des hémoprotéines, soit des cofacteurs des différentes enzymes du système de défense antioxydant: le fer pour la catalase, le cuivre et le zinc pour la superoxyde dismutase (Brown *et al.*, 1998).

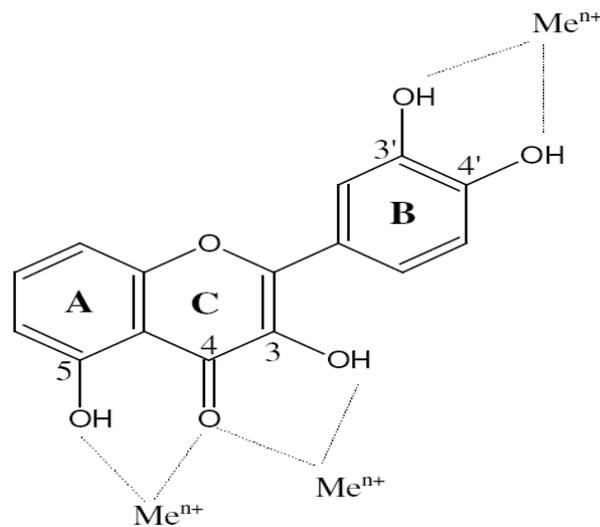
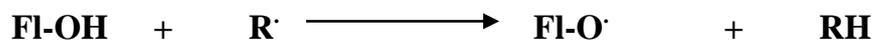


Figure 7: Les flavonoïdes et leurs sites proposés pour la chélation des ions métalliques (Me^{n+}) (Van Acker, 1996, Rice-Evans, 1999).

3) Piégeage des radicaux libres

Les flavonoïdes sont capables de réduire les radicaux libres comme le superoxyde, le peroxyde et l'hydroxyle par transfert d'hydrogène:



R^{\cdot} : représente l'anion superoxyde, le peroxyde et l'hydroxyle.

Le radical flavonoxy (Fl-O^{\cdot}) peut réagir avec un autre radical pour former une structure quinone stable (Pietta, 2000) (figure 8).

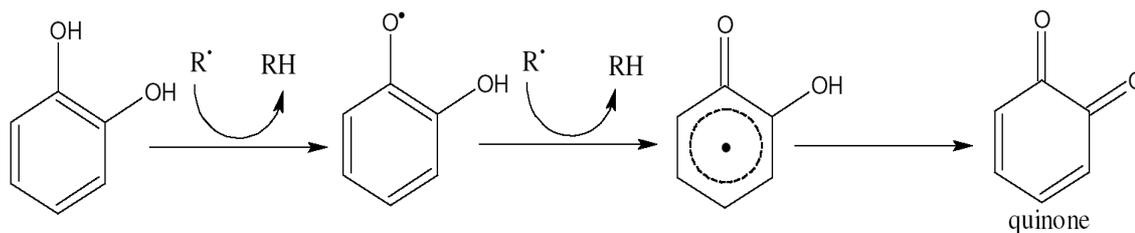


Figure 8: Piégeage des espèces oxygénées réactives (R') par les flavonoïdes (Marfak, 2003).

5.2.4. Facteurs influençant la composition des aliments en polyphénols

Lauthria *et al.* (2006) ont rapporté que la teneur et la composition des aliments en polyphénols sont influencées par plusieurs facteurs :

- **La variété :** plusieurs études expérimentales ont montré que la quantité et le type de composés phénoliques détectés dans les fruits tel que la tomate dépend des facteurs génotypiques (Croziar *et al.*, 1997 ; Raffo *et al.*, 2002 et Authonen et Karjalainen, 2005). Une variation considérable de la teneur en polyphénols a été constatée entre les variétés de tomate (Bachir Bey, 2005) et d'orange (Khaled-Khodja, 2008).

- **Le stade de maturité :** de manière similaire à l'effet de la variété, le stade de maturité peut également influencer la quantité et la composition des aliments en polyphénols. Selon Roff *et al.* (2002), la maturation de la tomate s'accompagne d'une augmentation de la synthèse de composés phénoliques. Toor *et al.* (2006) ont rapporté que la maturation cause une accumulation des composés phénoliques dans la tomate par la stimulation d'enzymes favorisant la synthèse d'acides phénoliques et de flavonoïdes pendant la croissance.

- **Les conditions climatiques :** les conditions climatiques comme la température et l'intensité de la lumière peuvent influencer la composition des aliments en polyphénols (Caldwell *et al.*, 2005). Généralement, l'exposition à la lumière

augmente la biosynthèse des polyphénols par l'augmentation de l'activité des enzymes spécialement la Phénylalanine Amonia Lyase (PAL), ayant un rôle important dans la conversion de la phénylalanine en acide coumarique qui est un précurseur de molécules impliquées dans la synthèse de composés phénoliques dans les plantes. Hertog *et al.* (1992) ont constaté une variation de la teneur en flavonols dans certains légumes tel que la laitue en fonction des saisons; les taux les plus élevés sont enregistrés en été. Selon Howard *et al.* (2003); Toor *et al.* (2006) la teneur en composés phénoliques varie selon les saison. Les variétés de tomates récoltées en été contiennent plus de polyphénols (62 %) que celles récoltées au printemps.

Brandt *et al.* (1995) ont montré que la teneur en polyphénols de la tomate cultivée sous serre avec une forte exposition à la lumière est deux fois supérieure à celle qui reçoit une lumière à intensité faible.

- **La partie de la plante :** les composés phénoliques tendent à être accumulés dans les tissus de l'épiderme des plantes à cause de leurs rôles dans la protection contre les radiations UV et la lutte contre les invasions microbiennes en particulier les pathogènes. Toor et Savage, 2005 ont noté que la teneur en polyphénols dans l'épiderme de la tomate (29 à 30 mg/100g) est supérieure à celle de la pulpe (8,7 à 15 mg/100g).

- **Les conditions de stockage et le processus de fabrication :** le stockage et le processus technologique peuvent avoir un effet sur la teneur en composés phénoliques dans les aliments. Généralement, le stockage engendre une augmentation de la teneur en composés phénoliques (Pantelifis *et al.*, 2006). Cette augmentation est constatée par plusieurs auteurs dont Alsalvar *et al.* (2005) dans la carotte, Tavarini *et al.* (2008) dans le kiwi ; cette évolution est expliquée par la stimulation de l'activité des enzymes impliquées dans la biosynthèse des polyphénols au cours du stockage.

Plusieurs études ont également démontré qu'un traitement thermique (blanchiment) peut influencer la teneur en polyphénols des fruits et légumes. En général, un traitement thermique cause une augmentation de la teneur en polyphénols. Huang *et al.* (2006) ont observé qu'un blanchiment de la patate douce augmente la teneur en composés phénoliques.

VI. Les effets protecteurs de la carotte

Plusieurs études épidémiologiques ont montré une corrélation négative entre la consommation des fruits et légumes et l'apparition de certains cancers, certaines maladies cardiovasculaires et les maladies liées au vieillissement comme la cataracte (Cao *et al.*, 1998 ; Koca *et al.*, 2007). L'effet bénéfique des fruits et légumes est dû à leur richesse en antioxydants tels que les caroténoïdes, les polyphénols et les vitamines (ascorbate et tocophérols) (Ou *et al.*, 2002 ; Alsalvar *et al.*, 2005).

La carotte est l'un des légumes le plus consommé régulièrement à l'état cru, cuit ou sous forme de jus pour sa richesse en caroténoïdes (α - et β -carotène) ayant une activité provitamine A et un rôle important dans la protection contre ces maladies (Zhang et Hamauzu, 2004a). Les fibres contenues dans la carotte sont particulièrement bien acceptés par l'organisme et moins agressives que celles des céréales. Ce qui fait que la consommation des carottes est favorable dans le cas des gastrites et d'ulcères permettant de combattre les acidoses aiguës ou chroniques (Villeneuve, 1999).

6.1. Protection contre le cancer

De nombreux travaux scientifiques ont montré que les caroténoïdes participent dans la lutte contre le cancer des poumons, du sein et de la prostate, mais aussi des tumeurs de l'estomac, de l'intestin ou de l'œsophage (De Groot, 1998). Cette protection se fait par plusieurs mécanismes :

- Protection de l'ADN contre les dommages causés par les radicaux libres, grâce à leurs propriétés antioxydantes.
- Effet immunomodulateur c'est à dire renforcent le système immunitaire en cas de tumeur et facilitent la communication cellulaire (Krinsky et Johnson, 2005).
- Effet inhibiteur de la différenciation et de la prolifération cellulaire dû à leur activité provitamine A. De nombreux caroténoïdes incluant l' α -carotène, le β -carotène et le β -cryptoxanthine ont la capacité d'être converti en vitamine A (Barth *et al.*, 1995 ; Gayanthari, 2004 ; Hornero-Méndez et Mínguez-Mosquera, 2007).

La conversion des caroténoïdes provitamine A en rétinol se fait principalement dans la muqueuse intestinale par l'intervention d'enzymes. L'activité de ces

enzymes de conversion dépend du taux de protéines dans le régime alimentaire. Le rétinol formé est traité de la même façon que la vitamine A alimentaire (1µg de β-carotène est équivalent à 1µg rétinol). Cependant, la cuisson des légumes peut causer une isomérisation des caroténoïdes *All-Trans* en forme *Cis* et les isomères *Cis* possèdent une faible activité provitamine A (Scott et Rodriguez-Amaya, 2000).

Longnecker *et al.* (1997) dans leur étude ont constaté que les femmes qui consomment de la carotte ou d'épinards deux fois ou plus par semaine avaient 44 % moins de risque d'avoir un cancer du sein que celles qui n'en consomment pas. De même, Nkordjock et Ghadirian (2004) ont montré qu'une consommation d'aliments riches en caroténoïdes (carotte) et en acides gras essentiels réduit le risque d'apparition du cancer du sein.

Slattery *et al.* (2000) ont constaté une relation inverse entre la consommation d'aliments riches en lutéine (carotte) et le risque de développer le cancer de colon.

6.2. Protection contre les maladies cardiovasculaires

Les maladies cardiovasculaires sont la principale cause de mortalité dans les pays occidentaux. L'athérosclérose est une maladie inflammatoire de la paroi artérielle, d'origine lipidique. Elle est due à l'oxydation des LDL (Low Density Lipoprotein) au niveau des espaces sous endothéliales. Les LDL oxydées ne sont plus reconnues par les récepteurs des LDL natives, mais reconnues par les récepteurs scavenger des macrophages, qui une fois accumulées entraînent la formation d'athéromes responsables des maladies cardiovasculaires (Lecerf, 1999).

Plusieurs composants sont présents dans les fruits et légumes impliqués dans la protection contre cette maladie comme la vitamine C, les flavonoïdes (Pool-Zobel *et al.*, 1997; Van Den Berg et Van Vliet, 1998) et les caroténoïdes (Bub *et al.*, 2000; Voutilainen *et al.*, 2006). Ces substances influencent le développement d'une maladie cardiovasculaire par la prévention de l'oxydation des LDL riches en cholestérol dans les artères (Osganian *et al.*, 2003).

De très nombreuses études épidémiologiques ont établi une corrélation inverse entre la consommation des fruits et légumes et la survenue des maladies cardiovasculaires. Deux études récentes ont montré que la consommation de la carotte chez

l'animal augmentait la capacité antioxydante et le taux de la vitamine E dans le sang (Nicolle *et al.*, 2003) ; en plus, elle diminue le taux de cholestérol et de triglycérides dans le foie et dans le sang (Nicolle *et al.*, 2004).

Nicolle *et al.* (2004) ont également rapporté qu'une consommation simultanée de fibres et de caroténoïdes, tous les deux présents dans la carotte pourrait optimiser l'effet protecteur de ce légume car il a été démontré que certains types de fibres pouvaient exercer un effet hypocholestérolémiant et prévenir le processus d'athérosclérose chez l'animal et chez l'homme.

6.3. Protection contre la cataracte

La cataracte est une opacité du cristallin ou de sa membrane entraînant une diminution de la vision et peut même conduire à une cécité (Brown *et al.*, 1999). Le cristallin est un organe exposé à tous les troubles du métabolisme au cours du vieillissement. C'est l'accumulation des dommages sur l'ADN qui rend inutilisables les cellules épithéliales agressées par les agents chimiques (tabac) ou physiques (Ultra-Violets). La réparation des dommages causés sur l'ADN des cellules épithéliales dépendra en partie de facteurs nutritionnels parmi lesquels figurent les antioxydants (Lecerf, 1999).

Chasan-Taber *et al.* (1999) ont remarqué une réduction de 22 % du risque de la cataracte chez les femmes consommant les aliments riches en lutéine et en zéaxanthine que celles qui n'en consomment pas.

De même, Brown *et al.* (1999) ont constaté que le risque de la cataracte diminue avec un taux de 19 % chez les hommes ayant consommé les aliments riches en lutéine et en zéaxanthine.

Une autre étude entreprise par Mozaffarieh *et al.* (2003) a montré qu'un régime riche en caroténoïdes particulièrement en lutéine et zéaxanthine apparaît avoir un effet bénéfique dans la protection des tissus de la rétine.

1. Echantillonnage

Deux variétés de carotte ont été procurées du marché de manière aléatoire. Ces variétés sélectionnées sont mûres, fraîches et ne présentent pas de blessure ou d'infection. Les échantillons prélevés mesurent environ 1 kg chacun.

Chaque variété présente des spécificités qui la distinguent de l'autre. L'origine, la date de prélèvement et les caractéristiques de chaque variété sont indiquées dans le tableau IV.

Tableau IV : Caractéristiques des variétés de carotte

Variété	Dates des prélèvements	Origine	Caractéristiques
Supermuscade « 1 » Supermuscade « 2 »	Avril 2007 Avril 2007	Boumerdes Biskra	Forme cylindrique, lisses, uniformes de couleur orange clair, de taille moyenne 14 cm contient un cœur et un collet vert.
Touchon	Mai 2007	Boussaâda	Variété hâtive produisant des racines longues de taille moyenne 18 cm pointue, de très belle coloration orange foncé absolument sans cœur et sans collet vert

2. Dosage des antioxydants

2. 1. Préparation des extraits

Les échantillons de carotte sont lavés à l'eau de robinet puis avec l'eau distillée avant l'extraction. 10 g de broyat de carotte sont homogénéisés avec 50 ml d'eau distillée. Après agitation pendant 30 min, le mélange est centrifugé à 4500×g pendant 15 min à 5 °C et le surnageant est récupéré. Cette étape est répétée pour une deuxième fois. Les deux surnageants sont mélangés et concentrés au rotavapeur, l'extrait ainsi obtenu est désigné comme extrait aqueux.

2.2. Dosage des polyphénols

La teneur en composés phénoliques des extraits aqueux est estimée par la méthode de Naithani *et al.*, (2006). A 100 μ l d'extrait sont ajoutés 2,2 ml de carbonate de sodium à 2%. Après 3 min, 100 μ l du réactif Folin-Ciocalteu sont additionnés. Après 30 min, l'absorbance est mesurée à 750 nm.

La teneur en composés phénoliques est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique. Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent d'acide gallique (EAG) par 100 grammes d'échantillon.

2.3. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes totaux est déterminée par spectrophotométrie selon la méthode de Djeridane *et al.* (2006). 1,5 ml d'extrait est mélangé avec 1,5 ml de chlorure d'aluminium à 2 %. Après 10 min d'incubation à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 410 nm et la teneur en flavonoïdes est exprimée en milligramme équivalent quercétine (EQ) par 100g de matière fraîche.

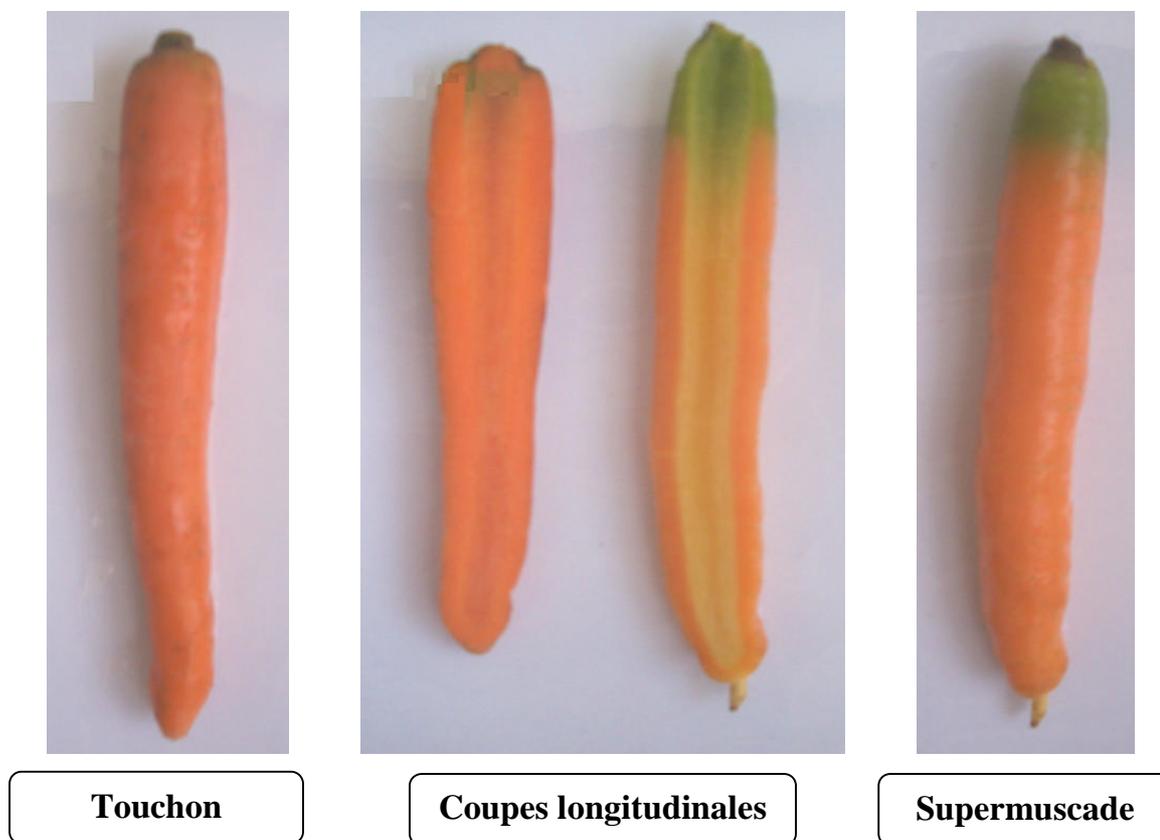


Figure 9: Photographie des variétés de carottes analysées

2.4. Extraction et dosage des caroténoïdes

Les caroténoïdes sont extraits par la méthode de Sass-Kiss *et al.*, (2005). 20 ml du mélange hexane/acétone/éthanol (2:1:1) sont ajoutés à 0,5 g du broyat de carotte. Après agitation pendant 30 min, la phase supérieure est récupérée. 10 ml d'hexane sont ajoutés pour une deuxième extraction. Le mélange des deux phases est utilisé pour le dosage des caroténoïdes totaux par spectrophotométrie à 450 nm.

Les concentrations des caroténoïdes sont estimées en se référant à la courbe d'étalonnage utilisant le β -carotène et les résultats sont exprimés en mg/100g de matière fraîche.

3. Détermination de l'activité antioxydante

3.1. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur est estimé par la méthode de Bahandari et Kawabata (2004). Dans un tube à essai, sont mélangés 1 ml d'extrait, 0,5 ml de tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 2,5 ml d'hexacyanoferrate de potassium (1 %); 0,5 ml d'acide trichloracétique (TCA) à 10 % sont additionnés au mélange après incubation à 50 °C pendant 20 min et refroidissement suivi d'une centrifugation à 3000×g pendant 10 min. 1 ml de surnageant est mélangé avec 1 ml d'eau distillée et 0,1 ml chlorure ferrique (0,1 %). L'absorbance est mesurée à 700 nm.

3.2. Activité antiradicalaire

A 2 ml de diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) sont ajoutés 500 μ l d'extrait. La décoloration est mesurée à 517 nm contre un témoin contenant le DPPH et le solvant (Peschel *et al.*, 2006). Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH est donné par l'équation:

$$\% \text{ d'inhibition du DPPH} = 100 (A_t - A_e) / A_t$$

A_t : Absorbance du témoin

A_e : Absorbance de l'échantillon

4. Effet de la conservation

Les teneurs en caroténoïdes, composés phénoliques et en flavonoïdes, et l'activité antioxydante ont été déterminées après 3, 6, 9 et 12 jours de conservation (4 °C) des échantillons de carotte.

5. Effet de la cuisson

L'effet de la cuisson à la vapeur et dans l'eau sur le pouvoir anti-oxydant de la carotte a été évalué sur une aliquote d'environ 100 g dans 500 ml d'eau distillée pendant 30 min.

Le dosage des caroténoïdes a été réalisé sur les carottes cuites et l'eau de cuisson. Les carottes cuites à la vapeur et les carottes bouillies subissent des extractions avec l'eau ; les extraits sont utilisés pour le dosage des polyphénols, flavonoïdes et la détermination de l'activité anti-oxydante (figure 10).

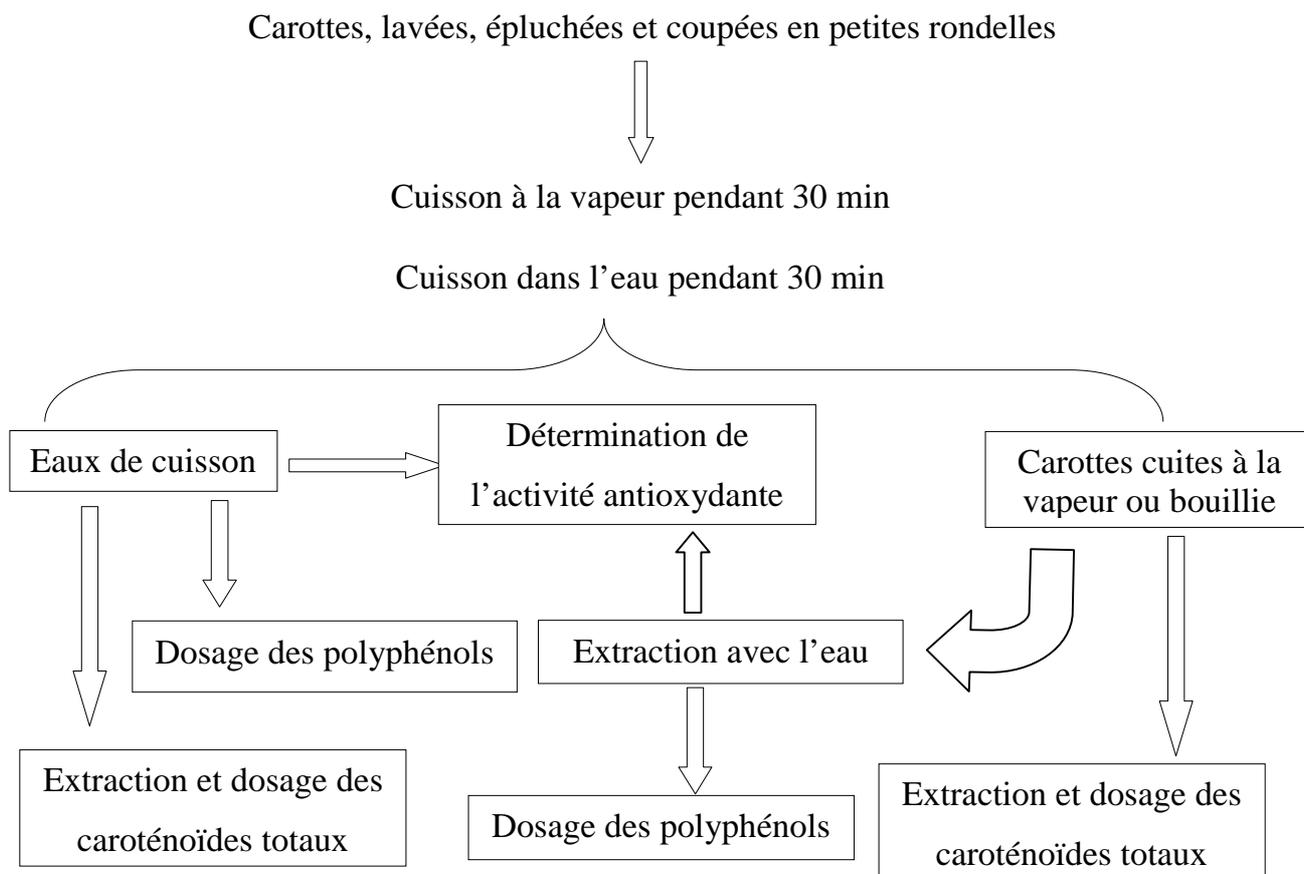


Figure 10 : Procédure de cuisson et d'extraction des différents antioxydants

6. Analyse statistique

Une analyse descriptive des résultats est réalisée à l'aide du logiciel Microsoft Office Excel 2003, afin de déterminer les moyennes, les écartypes et les coefficients de corrélation.

Une analyse statistique est appliquée à l'aide du logiciel STATISTICA 5.5 dans le but de mettre en évidence les différences significatives entre les échantillons.

1. Les antioxydants

1.1. Les caroténoïdes

Les deux variétés de carotte analysées présentent des différences hautement significatives à $p < 0,05$; les teneurs en caroténoïdes des variétés Supermuscade «1» et «2» et Touchon sont de 8,6, 8,9 et 19,1 mg/100g, respectivement. La variété Touchon contient 2,2 fois plus de caroténoïdes que la Supermuscade.

Selon Alsalvar *et al.* (2005), les carottes orange et pourpre contiennent 8,6 et 19,0 mg/100g, respectivement. Edwards *et al.* (2002) ont montré que la teneur en caroténoïdes de la carotte est de 11,45 mg/100g ; pour la variété Apache, Sun et Temelli (2005) ont obtenu une teneur de 15 mg/100g. Dans une autre étude, Berger *et al.* (2008) ont noté que les teneurs en caroténoïdes des variétés Kingston et Nevis sont de 13,6 et 22,5 mg/100g, respectivement.

Les différences des teneurs en caroténoïdes par rapport à celles obtenues dans la présente étude sont probablement dues à la technique d'extraction et/ou à la sensibilité de la méthode de dosage, à des différences variétales et à l'origine géographique des échantillons analysés. Selon Sun et Temelli (2005), les teneurs en caroténoïdes totaux sont influencées par le génotype et les conditions de culture comme la température et l'utilisation des fertilisants.

1.1.1. Effet de la conservation

La conservation à 4 °C pendant 3 jours provoque une augmentation de 50 % de la teneur en caroténoïdes pour la variété Touchon. Mais, la conservation pendant 12 jours n'a aucun effet significatif ($p < 0,05$) sur la quantité de caroténoïdes de cette variété. Après 12 jours de conservation, une augmentation significative est constatée dans les deux échantillons de Supermuscade (Boumerdes et Biskra) avec des taux respectifs de 59 % et de 57 % (figure 11).

Berger *et al.* (2008) ont constaté que la conservation à 4 °C pendant 14 jours augmente significativement le taux de caroténoïdes, 8 % et 23 % pour les variétés Nevis et Kingston, respectivement. Ces auteurs ont expliqué cette évolution par une biosynthèse des caroténoïdes au cours de la conservation et une meilleure extraction de ces pigments après la décomposition enzymatique c'est à dire que la matrice de la

carotte ayant une structure fibreuse peut être dégradée par les cellulases et les hémicellulases favorisant ainsi la libération des caroténoïdes durant l'étape d'extraction.

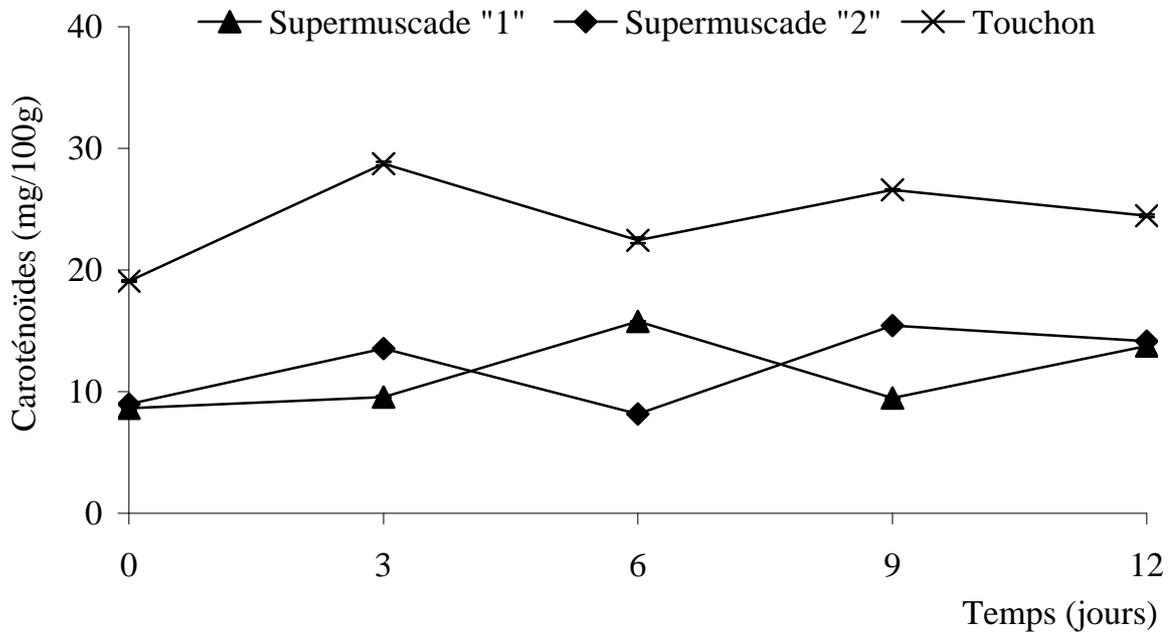


Figure 11 : Evolution de la teneur en caroténoïdes totaux au cours de stockage à 4 °C

Mayer-Miebach et Spieß (2003) ont remarqué une diminution de 30 % dans la variété Kintoki après 9 semaines de stockage à 1 °C. De même, Alsalvar *et al.* (2005) ont observé une diminution de la teneur en caroténoïdes des carottes pourpre et orange après un stockage à 5 ± 2 °C pendant 13 jours.

Selon Rodriguez-Amaya et Kimura (2004), les pourcentages de perte en caroténoïdes au cours de stockage sont différents et difficiles à interpréter car ces pigments peuvent subir des réactions d'isomérisation ou d'oxydation des caroténoïdes au cours de stockage et/ou pendant l'analyse.

L'augmentation de la teneur en caroténoïdes au cours du stockage est probablement due à l'isomérisation de ces pigments et les différences rapportées dans les taux d'augmentation par rapport à celles enregistrées sont probablement dues à des différences variétales et/ou aux conditions de stockage.

1.1.2. Effet de la cuisson

Les résultats obtenus montrent que la cuisson et le mode de cuisson ont un effet très hautement significatif sur la teneur en caroténoïdes des deux variétés de carotte analysées. La cuisson à la vapeur provoque une augmentation significative ($p < 0,05$) des teneurs en caroténoïdes de la Supermuscade «1» et «2» et Touchon avec des taux respectifs de 96 %, 28 % et 26 %, alors que, pour la cuisson dans l'eau, ces taux sont de 89 %, 116 % et 10 % (figure 12). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Berger *et al.* (2008).

Mayer-Miebach et Spieß (2003) ont remarqué qu'un chauffage de la carotte *Kintoki* à 50 °C et 70 °C pendant 15 min prévient la dégradation du lycopène mais pas à 90 °C, alors que la teneur en β -carotène diminue largement après cuisson à 90 °C pendant 15 min. Ces auteurs ont supposé qu'un traitement thermique au delà de 70 °C modifie la matrice de la carotte et augmente la solubilité du lycopène accumulé dans les chloroplastes.

Gayathari *et al.* (2004) ont enregistré que la carotte perd 27 % et 16 % de β -carotène après cuisson pendant 10 min sous pression et dans l'eau, respectivement. Zhang et Hamazu (2004b) ont également constaté une diminution de la teneur en caroténoïdes de brocoli après cuisson dans l'eau. Elle est accompagnée d'une perte en β -carotène et d'une augmentation de 26,7 % de lutéine après cuisson pendant 5 min qui est probablement due à la transformation des isomères *Cis* de lutéine en forme *Trans*.

Rodriguez-Amaya et Kimura (2004) ont rapporté que le traitement thermique entraîne particulièrement une isomérisation des caroténoïdes *Trans* en caroténoïdes *Cis* altérant ainsi leurs activités biologiques et décolore l'aliment mais ce n'est pas au même degré que l'oxydation. En plus, l'augmentation de la teneur en caroténoïdes après cuisson ou traitement thermique n'est pas juste mais c'est un défaut des méthodes analytiques et de calculs associé à une perte de caroténoïdes dans les aliments frais due à:

- l'activité enzymatique durant la préparation des échantillons pour l'analyse.
- une meilleure extraction des caroténoïdes dans les échantillons traités.
- perte en eau pendant la cuisson entraînant les composants solides solubles.

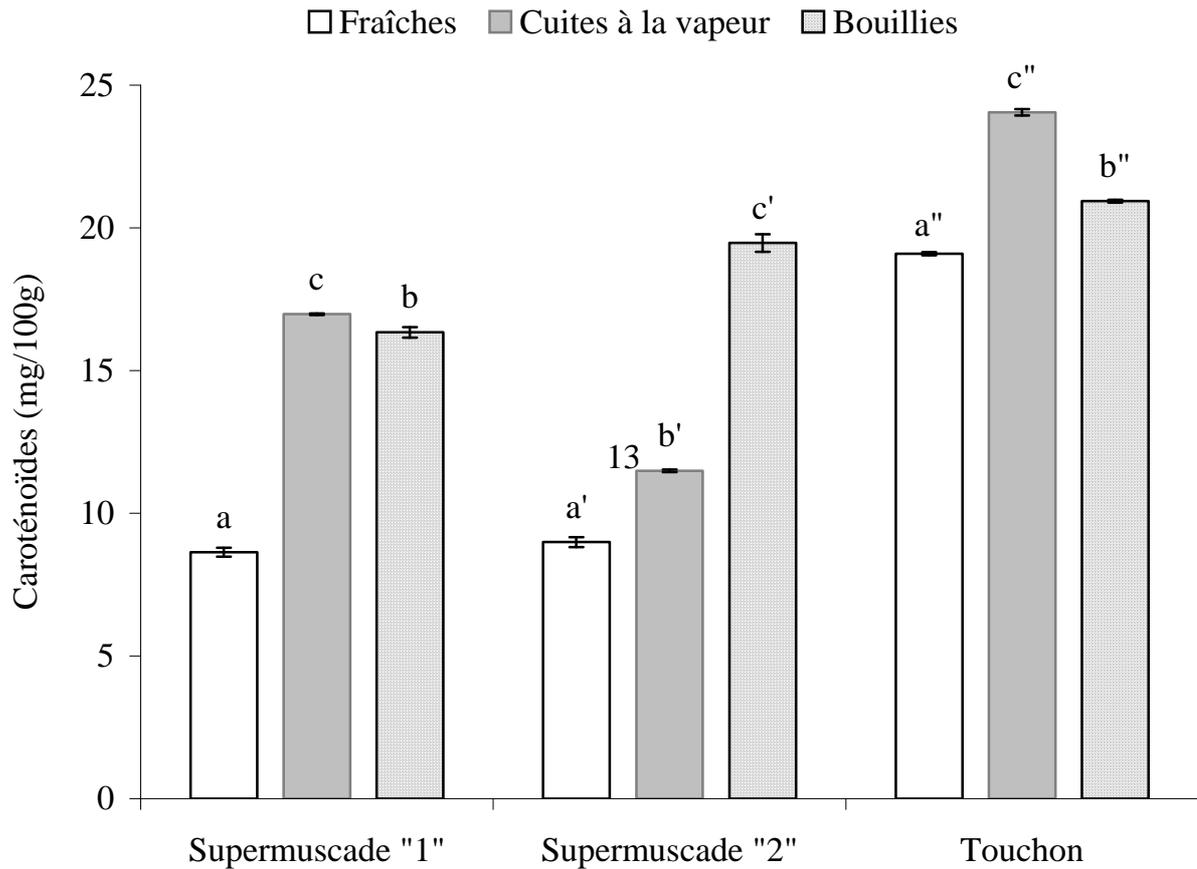


Figure 12 : Teneurs en caroténoïdes de carottes fraîches et de carottes cuites

Des lettres différentes indiquent qu'il y a des différences à $p < 0,05$

1.1.3. Eaux de cuisson

L'eau bouillante de cuisson des variétés Supermuscade «1» et «2» et Touchon contient 111, 167 et 127 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, respectivement. Ces quantités sont 2,2 fois (Supermuscade de Boumerdes), 13 fois (Supermuscade de Biskra) et 8,1 fois (Touchon) supérieures à celles présentes dans l'eau de cuisson à la vapeur (figure 13) car dans le cas de la cuisson dans l'eau, les carottes sont mises en contact avec l'eau.

Marx *et al.* (2003) ont observé qu'une cuisson prolongée de la carotte conduit à la solubilisation de carotène dans les lipides de la carotte. Ces auteurs ont supposé que la quantité de lipides dans la carotte (0,2 à 0,5 mg/kg) peut être suffisante à la solubilisation des carotènes favorisant ainsi leur libération après un traitement thermique et une destruction des structures cellulaires.

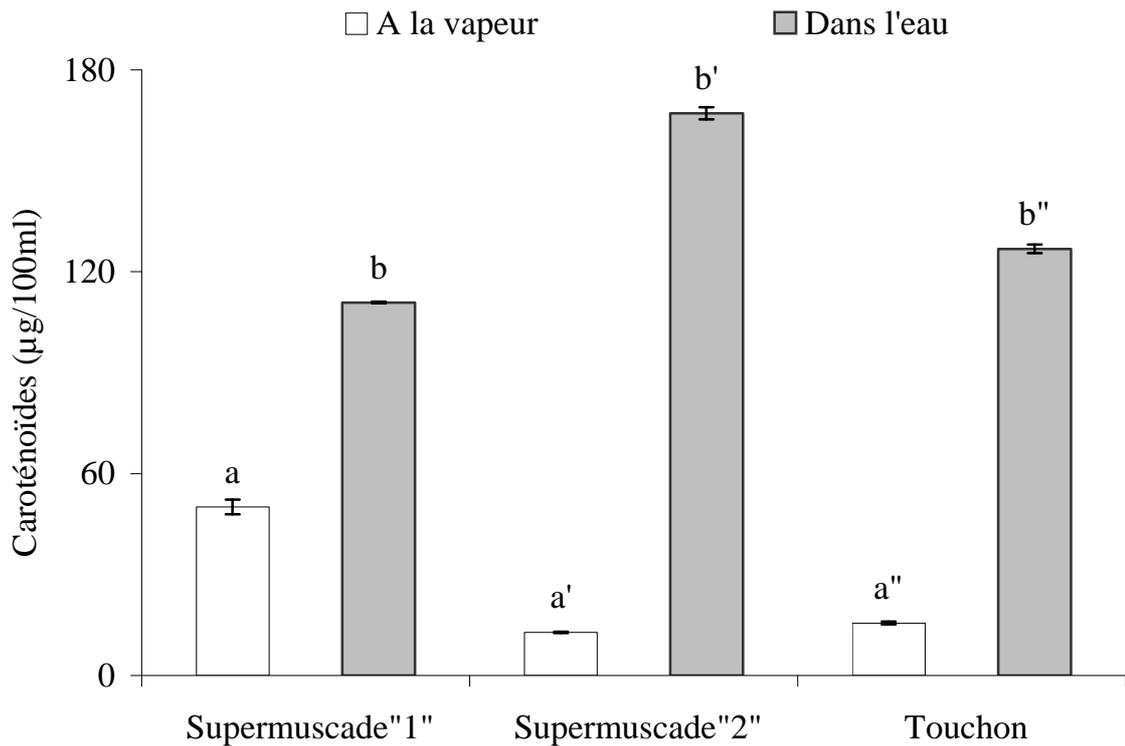


Figure 13 : Teneurs en caroténoïdes des eaux de cuisson de la carotte.

Des lettres différentes indiquent qu'il y a des différences à $p < 0,05$

1.2. Les polyphénols

La teneur en composés phénoliques des extraits aqueux des variétés Supermuscade « 1 » et « 2 » et Touchon sont 11,6, 12,7 et 31,8 mg/100g de matière fraîche, respectivement. Les deux variétés présentent des différences très hautement significatives à $p < 0,05$. La variété Touchon contient 2,7 fois plus de polyphénols que la Supermuscade « 1 ». Ces résultats sont en accord avec ceux rapporté par Alsalvar *et al.* (2001) qui ont constaté des différences dans la teneur en composés phénoliques des variétés de carotte. Dans les variétés orange, jaune et blanche, la teneur en polyphénols varie de 7,74 à 16,2 mg/100g ; pour la carotte pourpre, il est de 74 mg/100g. Alsalvar *et al.* (2005) ont constaté que la carotte orange et pourpre contiennent 34,8 et 102 mg/100g, respectivement. Yu *et al.* (2005) et Cieslik *et al.* (2006) ont noté que la teneur de polyphénols dans la carotte est de 198 et 15,6 mg/100g de matière fraîche, respectivement.

Les différences observées dans la teneur en polyphénols par rapport à celles obtenues sont probablement dues à des différences variétales, à l'origine géographique et au solvant et/ou aux techniques d'extraction et de dosage.

1.2.1. Effet de la conservation

L'évolution de la teneur en composés phénoliques des extraits aqueux au cours du stockage à 4 °C (figure 14) montre que la conservation pendant 9 jours n'a aucun impact sur la teneur en polyphénols. Mais, après 12 jours de conservation, ces teneurs augmentent significativement avec des taux respectifs 26 %, 273 % et 38 % pour la Supermuscade «1» et «2» et la Touchon. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Zhang *et al.* (2005) ; les teneurs en composés phénoliques des variétés Kendo, Ricardo et Stefano augmentent après 10 jours de stockage à 4 °C. Selon Alsalvar *et al.* (2005), l'augmentation de la teneur en composés phénoliques est liée au changement dans la synthèse des polyphénols au cours de stockage.

Selon Klimaczek *et al.* (2006), l'augmentation de la teneur en composés phénoliques au cours du stockage peut s'expliquer par une synthèse de ces composés.

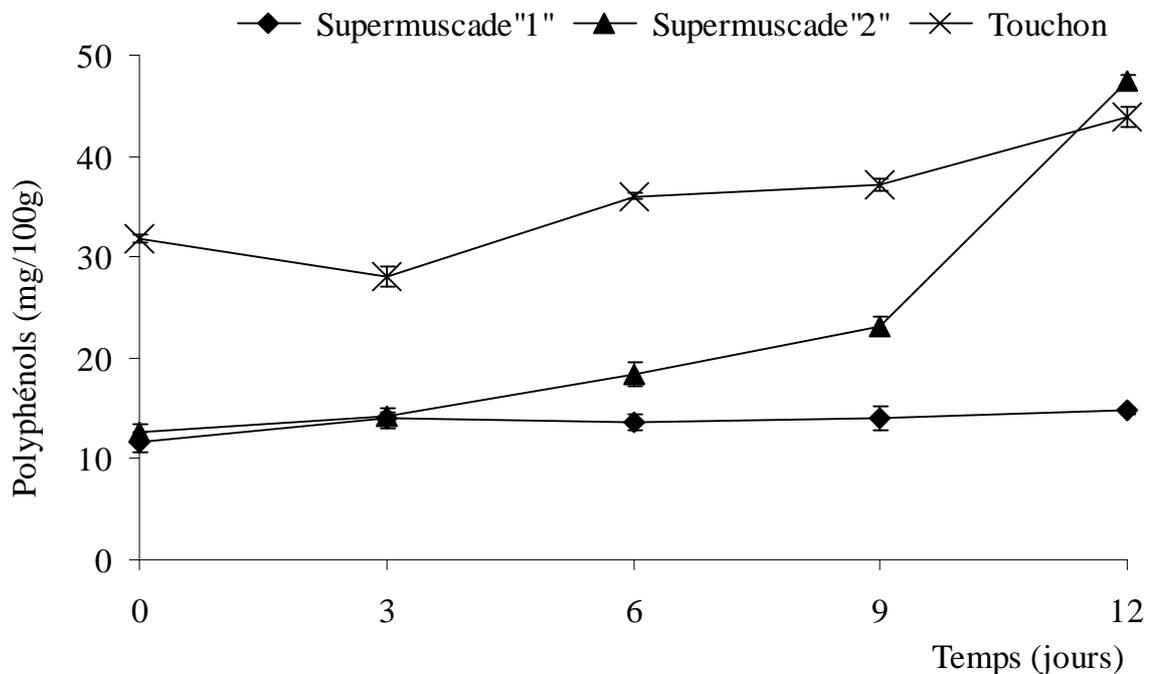


Figure 14: Evolution de la teneur en composés phénoliques des extraits de carotte au cours de stockage à 4°C.

Selon Tavarini *et al.* (2008), l'augmentation de la teneur en polyphénols au cours du stockage du kiwi est probablement due à des changements dans le métabolisme des polyphénols qui peuvent avoir lieu durant le stockage, tel que l'augmentation de l'activité de la Phénylalanine Ammonia Lyase (PAL) car il a été démontré que la synthèse de cette enzyme est associée aux troubles induits lors d'un stockage prolongé à basse température.

1.2.2. Effet de la cuisson

Les deux variétés de carotte analysées présentent des différences significatives dans la teneur en composés phénoliques en fonction du mode de cuisson ; la carotte Touchon reste toujours la variété la plus riche en composés phénoliques. Dans les carottes cuites à la vapeur, la teneur en polyphénols des variétés Supermuscade « 1 » et « 2 » et Touchon sont 12, 28 et 34 mg/100g, respectivement. Dans les carottes bouillies, ces teneurs sont égales à 10, 12 et 28 mg/100g (figure 15).

Les résultats obtenus indiquent que la cuisson n'a aucun impact sur la teneur en composés phénoliques de la Supermuscade de Boumerdes. Ce résultat est similaire à celui rapporté par Dewanto *et al.* (2002) ; le traitement thermique n'a aucun effet significatif sur la teneur en composés phénoliques de la tomate. Cependant, une augmentation significative de la teneur en composés phénoliques après cuisson à la vapeur avec des taux de 120 % et 7 % est constatée dans les échantillons Supermuscade de Biskra et Touchon, respectivement. La cuisson dans l'eau bouillante n'a aucun effet sur la teneur en composés phénoliques de la Supermuscade « 1 » et « 2 », mais elle provoque une réduction de 11 % pour la variété Touchon. Cette réduction est probablement due à une forte diffusion de polyphénols hydrosolubles dans l'eau de cuisson au cours du traitement thermique.

Plusieurs auteurs ont observé l'augmentation de la teneur en composés phénoliques après un blanchiment. Selon Oboh (2005), cette élévation peut être attribuée à la dégradation des tanins en polyphénols simples. Huang *et al.* (2006) ont suggéré qu'un blanchiment cause des dommages dans les structures cellulaires facilitant ainsi leur extraction et leur diffusion.

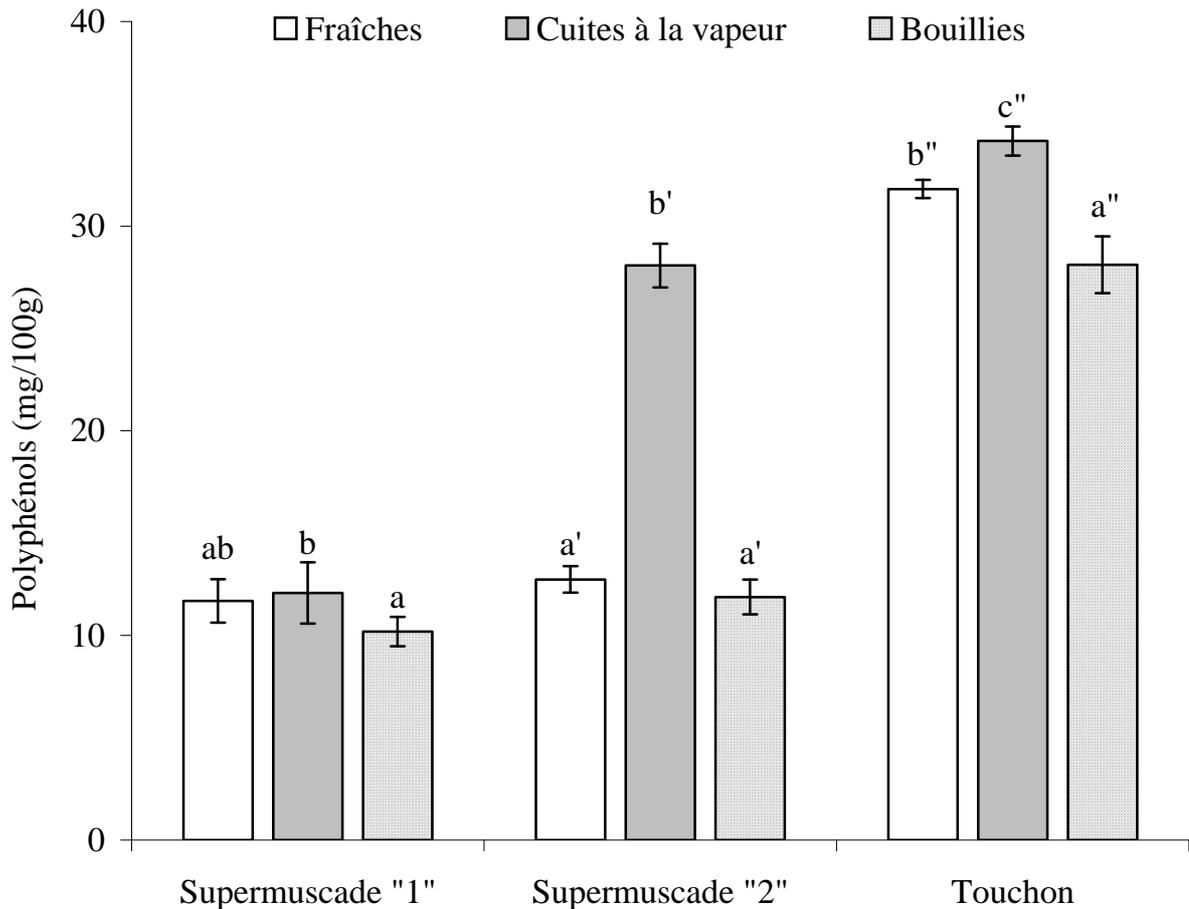


Figure 15: Teneurs en polyphénols des extraits de carottes fraîches et de carottes cuites
Des lettres différentes indiquent qu'il y a des différences à $p < 0,05$

Turkmen *et al.* (2005) ont constaté une augmentation de la teneur en polyphénols dans l'haricot vert, le poivron et le brocoli qui est probablement liée à l'élévation du taux de flavonols libres après traitement thermique. Inversement, une réduction de la teneur en composés phénoliques a été décelée dans l'épinard, petit pois et poireau, qui est expliquée par la dégradation de ces composés durant la cuisson.

Amin *et al.* (2006) ont également constaté une diminution de la teneur en polyphénols de quatre variétés d'épinard après un blanchiment pendant 5 à 15 min. cette même diminution a été observé par Roy *et al.* (2007) dans l'épinard après cuisson à 100 °C pendant 10 et 30 minutes.

1.2.3. Eaux de cuisson

La figure 16 montre que les teneurs en composés phénoliques des eaux de cuisson sont significativement différents. Dans les eaux de cuisson à la vapeur, la teneur la plus élevée est enregistrée pour la variété Touchon (31,7 mg/100 ml) tandis que l'eau des carottes bouillies de la Supermuscade « 2 » contient la teneur la plus élevée (45,0 mg/100ml). Ces taux sont 2,3 et 3,3 fois supérieures à celles présentes dans l'eau de cuisson à la vapeur et bouillante de la Supermuscade « 1 », respectivement.

La présence de ces composés dans les eaux de cuisson est due à la solubilisation des polyphénols hydrosolubles dans les eaux durant la cuisson. Price *et al.* (1998) ont constaté que seulement 18 % de polyphénols sont retenus dans le brocoli après cuisson et le reste passe dans l'eau de cuisson.

Selon Granito *et al.* (2007), une température élevée (100 °C) peut promouvoir une décomposition des structures aromatiques des polyphénols ce qui va faussé leurs quantification avec le réactif de Folin-Ciocalteu.

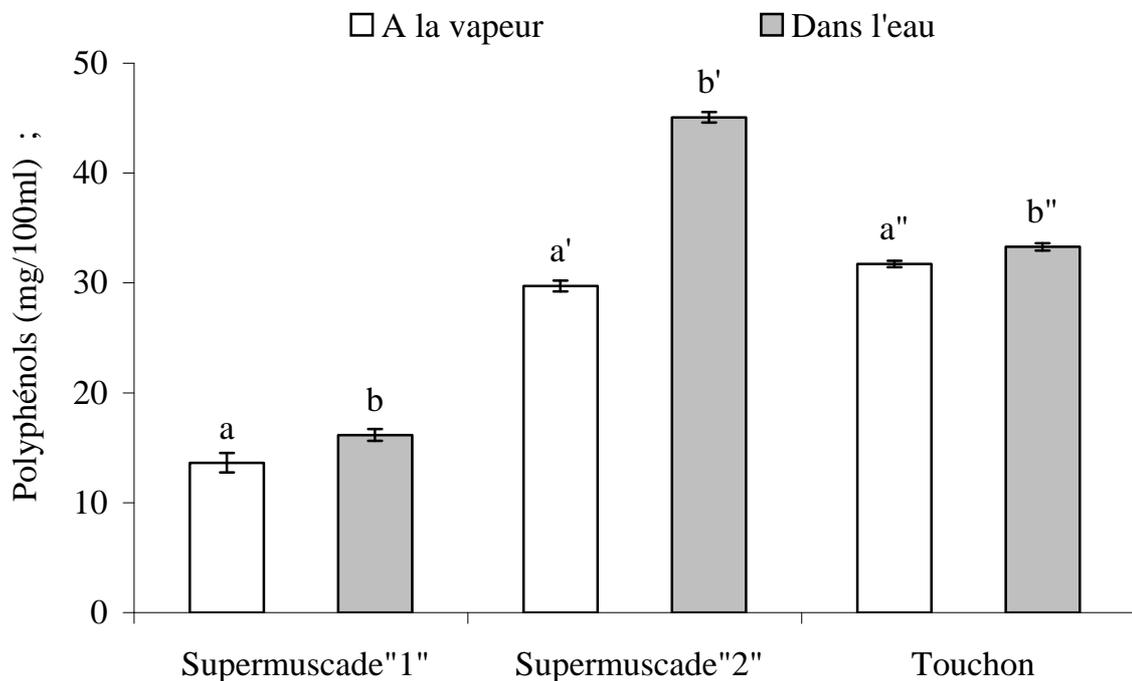


Figure 16 : Teneur en composés phénoliques des eaux de cuisson.

Des lettres différentes indiquent qu'il y a des différences à $p < 0,05$

1.3. Les flavonoïdes

De manière similaire aux composés phénoliques, les teneurs en flavonoïdes des extraits de carotte analysés présentent des différences hautement significatives à $p < 0,05$; elles sont de 2,8, 3,2 et 7,9 mg/100g pour Supermuscade « 1 » et « 2 » et Touchon, respectivement. La variété Touchon contient 2,8 fois plus de flavonoïdes que la Supermuscade de Boumerdes.

Les teneurs de la carotte en flavonoïdes enregistrées par Miean et Mohamed (2001) et Maroniva *et al.* (2005) sont de 3,7 et 26,7 mg/100g, respectivement. Selon Mélo *et al.* (2006), la carotte contient 3,55 mg/100g de flavonols. Ces différences sont probablement dues à des différences variétales, à l'origine géographique et à la méthode d'extraction et/ou à la sensibilité de la méthode de dosage.

1.3.1. Effet de la conservation

La conservation de la carotte à 4 °C pendant 9 jours n'a aucun effet sur la teneur en flavonoïdes. Cependant, après 12 jours de stockage une augmentation de 41 %, 262 % et 38 % est observée au niveau de la Supermuscade « 1 » et « 2 » et Touchon, respectivement (figure 17).

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Caro *et al.* (2004) qui ont constaté une augmentation de la teneur en flavonoïdes dans le citron après 12 jours de stockage à 4 °C. Cette élévation est expliquée par la stimulation de l'activité de la Phénylalanine Amonia Lyase (PAL) par conséquent une synthèse de ces composés phénoliques.

A l'inverse, DuPont *et al.* (2000) ont observé une diminution de la teneur en flavonoïdes dans la laitue après 7 jours de stockage à 1 °C.

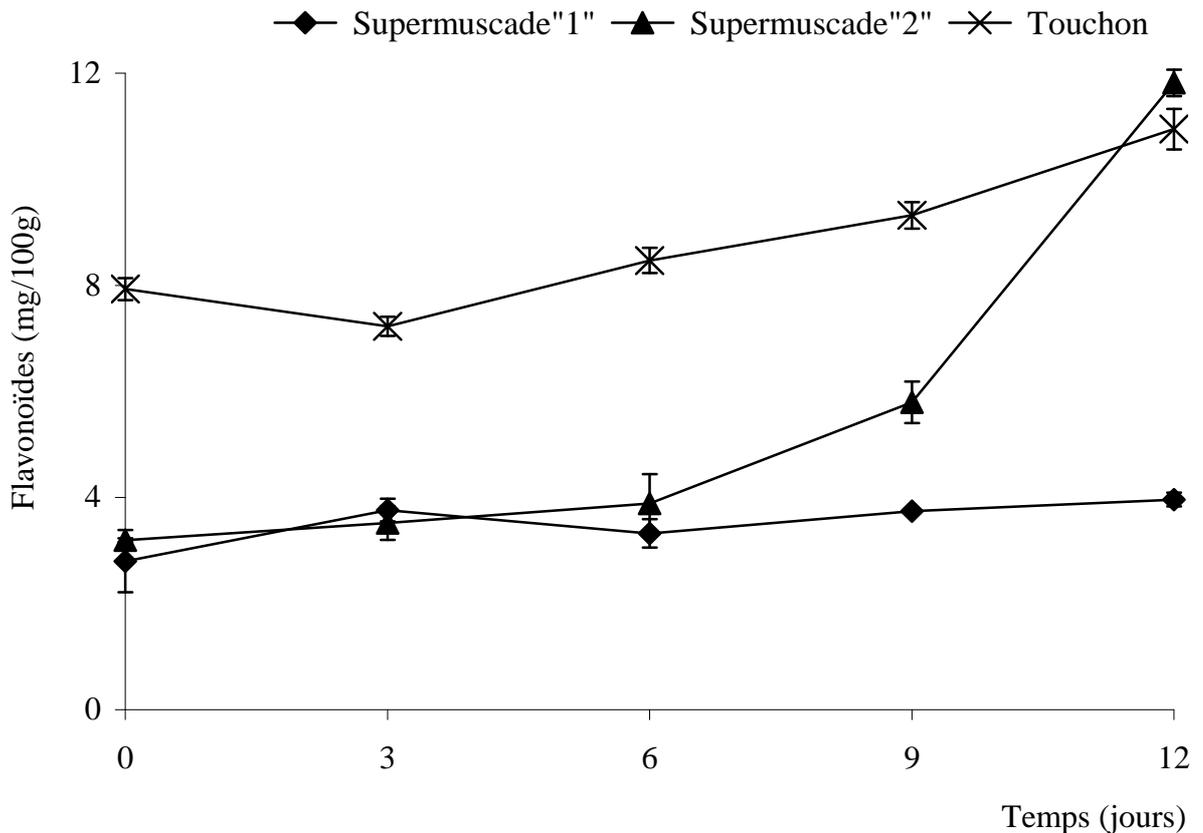


Figure 17: Evolution de la teneur en flavonoïdes des extraits de carotte cours de stockage à 4 °C.

1.3.2. Effet de la cuisson

La cuisson n'a aucun impact sur la teneur en flavonoïdes de la Supermuscade de Boumedes et de la Touchon. Cependant, une augmentation de 133 % est observée après cuisson à la vapeur pour la Supermuscade Biskra (figure 18). Cette augmentation est probablement due à une forte extraction de flavonoïdes et ramollissement des parois cellulaires et/ou à la décomposition de polyphénols complexes après traitement thermique. Cette différence de la teneur en flavonoïdes entre les extraits des variétés de carotte analysés est probablement due à des différences dans la rigidité de la texture et l'intégrité des membranes cellulaires de la carotte.

Selon Olivera *et al.* (2008), l'augmentation de la teneur en flavonoïdes dans les extraits du chou de Bruxelles après un blanchiment est liée à la perte d'intégrité des tissus, cellules, des membranes et des organites après traitement thermique.

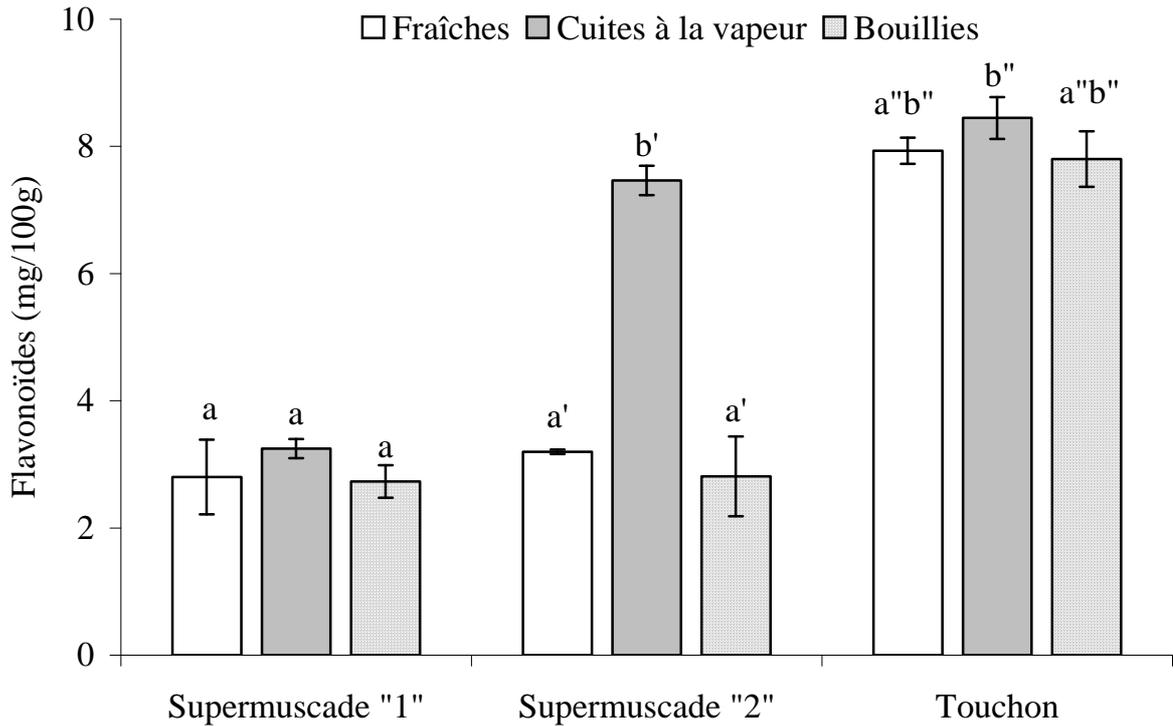


Figure 18 : Teneurs en flavonoïdes des extraits de carottes fraîches et de carottes cuites.

Des lettres différentes indiquent qu'il y a des différences à $p < 0,05$

1.3.3. Eaux de cuisson

Les résultats obtenus indiquent que les teneurs en flavonoïdes des eaux de cuisson présentent des différences très hautement significatives à $p < 0,05$ (figure 19). Les eaux de cuisson de la Supermuscade « 2 » et Touchon présentent les teneurs en flavonoïdes les plus élevées. Elles sont de 7,5 et 7,6 mg/100ml dans les eaux de cuisson à la vapeur ; 9,4 et 8,8 mg/100ml dans les eaux bouillantes. La teneur en flavonoïdes de l'eau de cuisson à la vapeur de la variété Touchon est 2,4 fois supérieure à celle présente dans la Supermuscade de Boumerdes. Tandis que l'eau bouillante de la Supermuscade de Biskra contient 2,2 fois plus de flavonoïdes que la Supermuscade de Boumerdes.

La cuisson provoque donc le passage d'une certaine quantité de flavonoïdes dans l'eau durant la cuisson qui est probablement due l'augmentation de la teneur en flavonoïdes libres dans la carotte pendant la cuisson et ramollissement des structures cellulaires favorisant ainsi leur solubilisation dans l'eau.

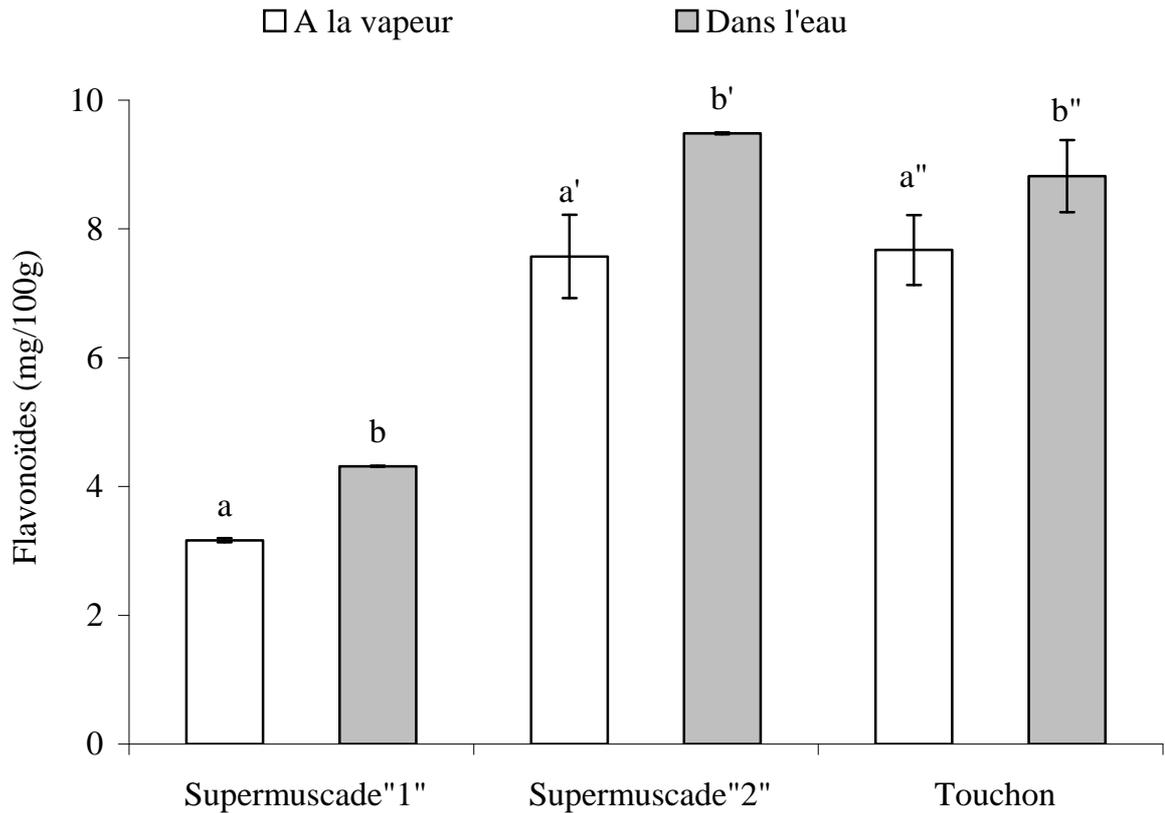


Figure 19: Les teneurs en flavonoïdes des eaux de cuisson de la carotte.

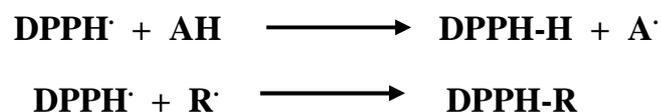
Des lettres différentes indiquent qu'il y a des différences à $p < 0,05$

Les différences observées entre les variétés en fonction du mode de traitement sont probablement dues à des différences dans la rigidité des textures et à la nature de flavonoïdes présents dans les échantillons traités.

2. Activité antioxydante

2.1. Activité antiradicalaire

Dans cette étude, la méthode de DPPH (1,1-Diphényl-2-Picryl-Hydrazyl) est sélectionnée pour évaluer l'activité antioxydante des extraits de carotte et permettant d'estimer la concentration du radical scavengé (inhibé) par les molécules actives ou la réaction avec des espèces radicalaires (Maisuthiaskul *et al.*, 2007).



(Maisuthiaskul *et al.*, 2007).

L'activité antiradicalaire des extraits de carottes analysées présentent des différences très hautement significatives à $p < 0,05$. Les pourcentages d'inhibition du radical DPPH par les extraits sont 6,8 %, 10,9 % et 20,0 % pour les Supermuscade «1» et «2» et la Touchon, respectivement. Le pouvoir antiradicalaire de la variété Touchon est 3 fois supérieur à celui de la Supermuscade «1».

Nos résultats sont proches de ceux rapportés par Zhang et Hamauzu (2004a) dans une étude réalisée sur les variétés Chibargosum et Histomigosum, avec des activités de 9,6 et 18,8 %, respectivement.

2.1.1. Effet de la conservation

La conservation à 4 °C pendant 12 jours n'a pas d'effet significatif sur l'activité antiradicalaire de la Supermuscade « 1 ». Ce résultat est en accord avec celui rapporté par Alsalvar *et al.* (2005) ; l'activité antioxydante de la carotte se maintient après 14 jours de stockage à 5 ± 2 °C. Cependant, le stockage à 4 °C provoque une augmentation significative de l'activité antiradicalaire avec des taux de 101 % et 33 % pour les Supermuscade « 2 » et Touchon (figure 20) ; cet effet est probablement dû à l'augmentation de la teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes au cours du stockage.

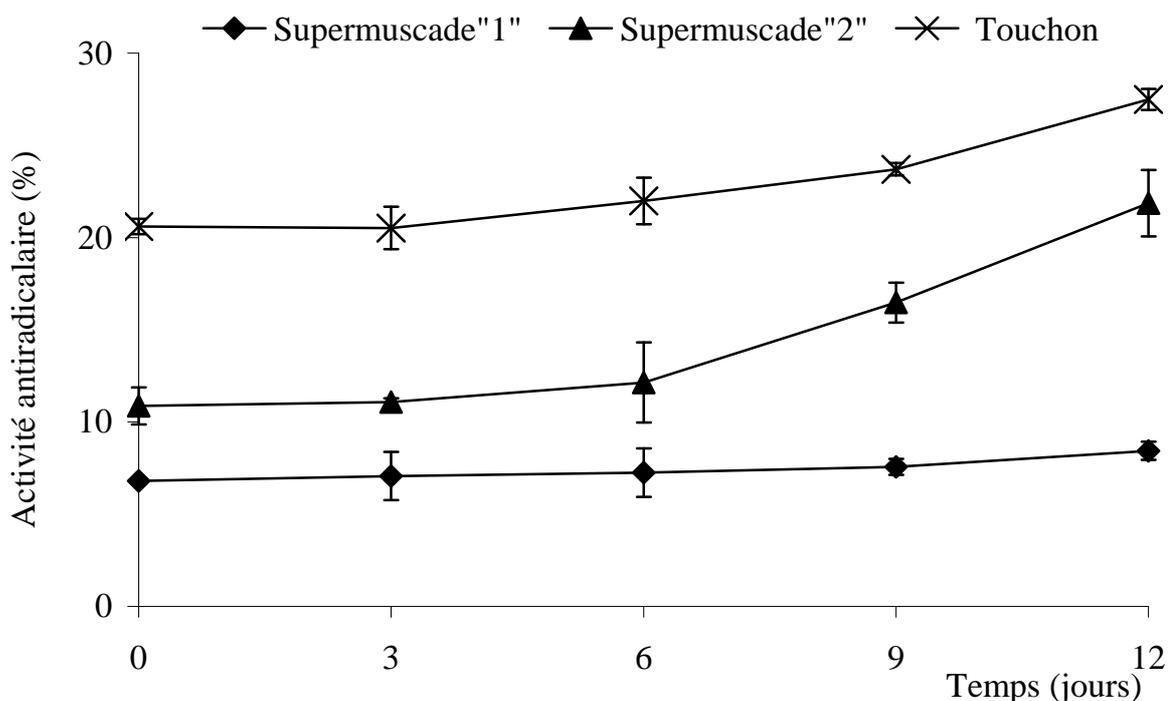


Figure 20: Evolution de l'activité antiradicalaire des extraits de carotte au cours de stockage à 4 °C.

2.1.2. Effet de la cuisson

Les résultats obtenus indiquent que la cuisson n'a aucun effet significatif sur l'activité antiradicalaire de la Supermuscade « 1 » et de la Touchon (figure 21). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Lin et Chang (2005) qui ont noté qu'une pré-cuisson et/ou une cuisson n'a pas d'effet significatif sur les propriétés antioxydantes du brocoli. De plus, l'activité antiradicalaire de la Supermuscade « 2 » et de la Touchon cuites à la vapeur sont 1,1 et 2 fois supérieures à celles des échantillons bouillies. Ces différences sont probablement dues à un grand passage des constituants antioxydants durant la cuisson en contact des carottes avec les eaux bouillante.

De même, Turkmen *et al.* (2006) ont constaté qu'une cuisson dans l'eau bouillante (5min) et à la vapeur (1 min) n'a pas d'effet significatif sur l'activité antioxydante du poivron, de l'haricot vert, du brocoli et de l'épinard.

Une augmentation de l'activité antiradicalaire avec un taux de 79 % a été décelée dans la Supermuscade « 2 » après cuisson à la vapeur. Ce résultat est en accord avec celui obtenu par Huang *et al.* (2006) : la cuisson de la patate douce à la vapeur provoque une augmentation de l'activité antiradicalaire.

Par ailleurs, la cuisson d'autres légumes dont le brocoli (Zhang et Hamauzu, 2004b), les légumes verts (Oboh *et al.*, 2005) et les épinards (Amin *et al.*, 2006) s'accompagne d'une diminution de l'activité antiradicalaire.

2.2. Le pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur mesure la capacité des extraits de carotte à réduire le fer ferrique du ferrocyanure de potassium en forme ferreuse.

2.2.1. Effet de la conservation

Les extraits des deux variétés de carottes analysées présentent des pouvoirs réducteurs significativement différents, avec des valeurs de 0,10, 0,15 et 0,38 pour la Supermuscade « 1 » et « 2 » et Touchon, respectivement. Le pouvoir réducteur de la variété Touchon est 3 fois supérieur à celui de la Supermuscade de Boumerdes.

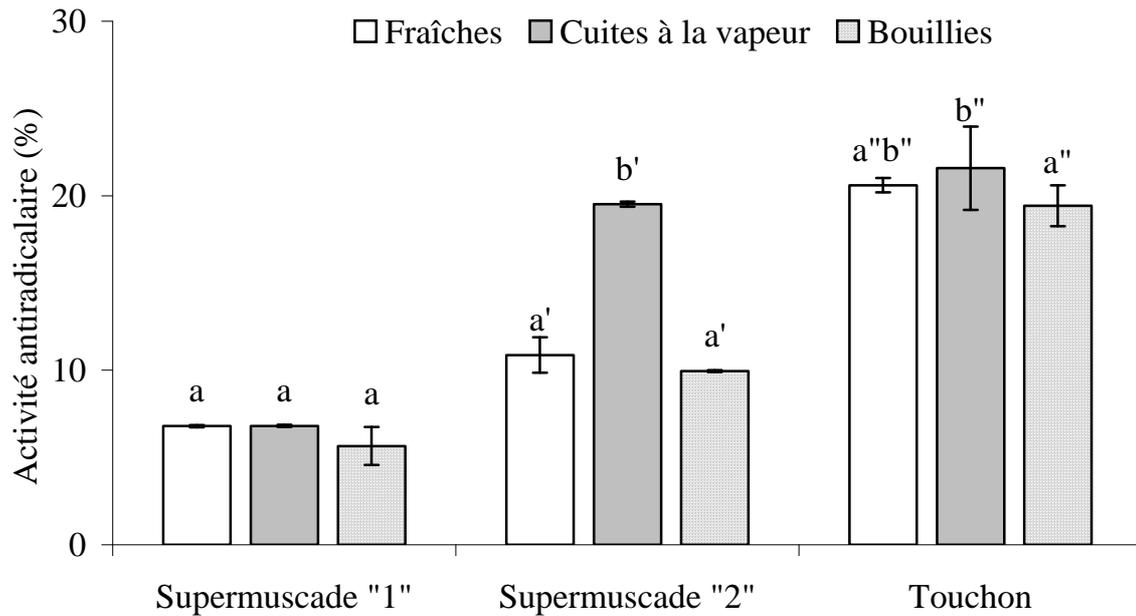


Figure 21 : Activité antiradicalaire des extraits de carottes fraîches et de carottes cuites.

Des lettres différentes indiquent qu'il y a des différences à $p < 0,05$

La figure 22 indique que le pouvoir réducteur des extraits montre une certaine stabilité durant 9 jours. Après 12 jours de conservation, une augmentation significative a été enregistrée avec des taux de 129 % pour la Supermuscade « 1 », 340 % pour la Supermuscade « 2 » et 59 % pour la Touchon. Cet accroissement est probablement dû à l'augmentation de la teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes constatée au cours du stockage.

2.2.2. Effet de la cuisson

Nos résultats montrent que la cuisson a un effet significatif ($p < 0,05$) sur le pouvoir réducteur des extraits de carotte. Après cuisson à la vapeur, le pouvoir réducteur des variétés Supermuscade «1» et «2» et Touchon augmentent avec des taux respectif 86 %, 80 % et 60 %. Lors de la cuisson dans l'eau bouillante, le pouvoir réducteur augment avec des taux de 20 %, 40 % et 10 % (figure 23). Le meilleur pouvoir réducteur est enregistré dans les extraits de carotte cuite à la vapeur et de carotte bouillie de la variété Touchon : 0,61 et 0,42, respectivement.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Huang *et al.* (2007) ; le pouvoir réducteur de la patate douce augmente après cuisson suite à une meilleure

extraction des composants antioxydants après cuisson. Cependant, Oboh *et al.* (2005) ont rapporté une forte diminution du pouvoir réducteur de certains légumes verts après un blanchiment, probablement due à la perte de 20 à 60 % de la vitamine C dans les légumes frais.

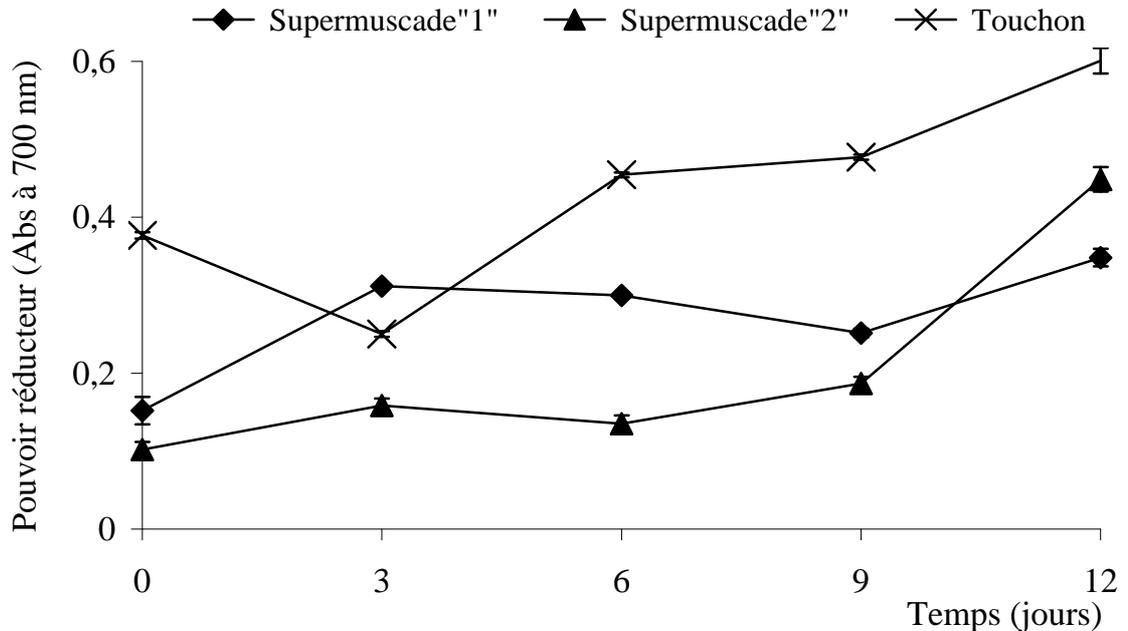


Figure 22: Evolution du pouvoir réducteur des extraits de carotte au cours de stockage à 4 °C.

2.2.3. Eaux de cuisson

Les résultats obtenus indiquent que le mode de cuisson et la variété aussi ont un effet très hautement significatif sur les activités antiradicalaires des eaux de cuisson. La figure 24 montre que l'eau de cuisson de la Supermuscade de Biskra présente la meilleure activité antiradicalaire : 28,5 % (cuisson à la vapeur) et 53 % (cuisson dans l'eau). L'activité antiradicalaire de la Supermuscade « 2 » est 1,5 et 2,4 fois supérieure à celles des eaux de cuisson à la vapeur et bouillante de la Supermuscade « 1 ». Mais, elle est 1 fois supérieure à celle de la Touchon dans les deux modes de cuisson.

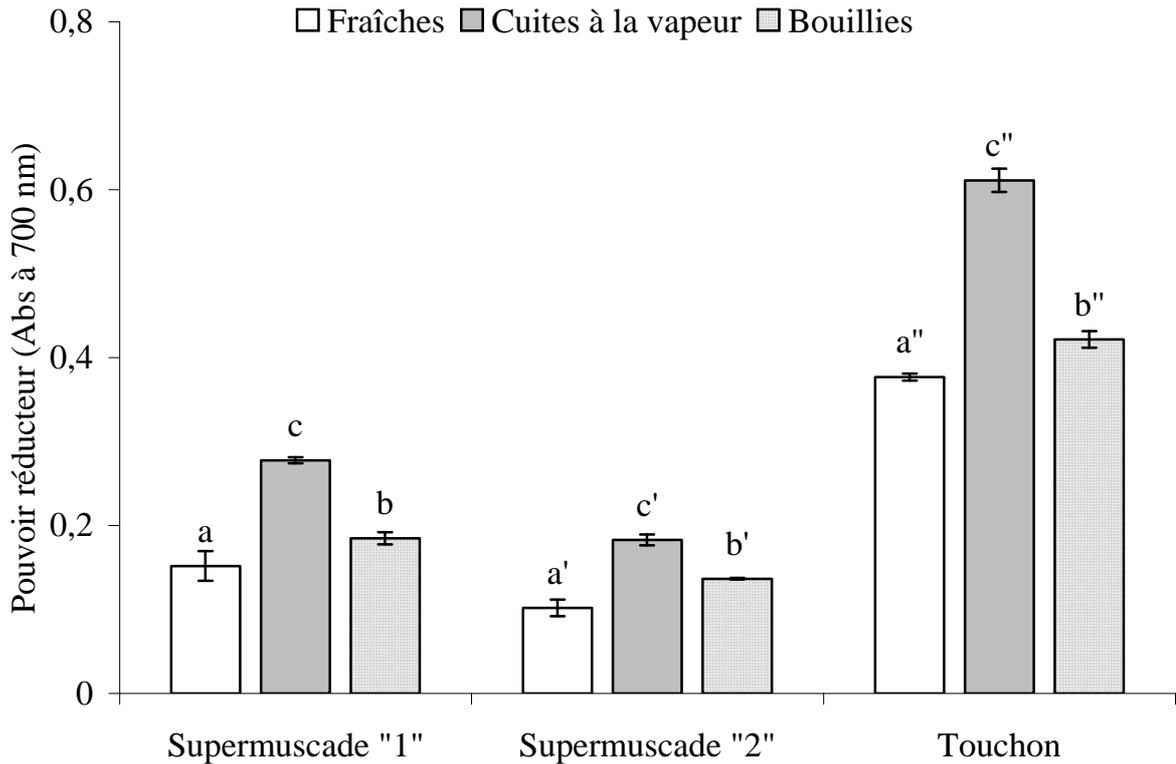


Figure 23: Pouvoir réducteur des extraits de carottes fraîches et de carottes cuites.

Des lettres différentes indiquent qu'il y a des différences à $p < 0,05$

Le meilleur pouvoir réducteur a été enregistré pour les eaux de cuisson de la variété Touchon qui sont de 0,95 (cuisson à la vapeur) et 0,71 (cuisson dans l'eau) (figure 25). Le pouvoir réducteur de la Touchon est 3 fois (cuisson à la vapeur) et 1,5 fois (cuisson dans l'eau) supérieure à celui de la Supermuscde de Boumerdes.

Roy *et al.* (2007) ont rapporté qu'une cuisson de quelques légumes à une température de 100°C (10 à 30 min) affecte la teneur en composés phénoliques et l'activité antioxydante. Cependant, un chauffage modéré (50 °C pendant 10 à 30min) préserve 80-100% de polyphénols et de l'activité antioxydante. L'activité antioxydante de l'eau de cuisson est probablement due à la présence de composés phénoliques et flavonoïdes solubilisés dans cette eau et/ou à la formation de nouveaux composants ayant une forte activité anti-oxydante, au cours du traitement thermique.

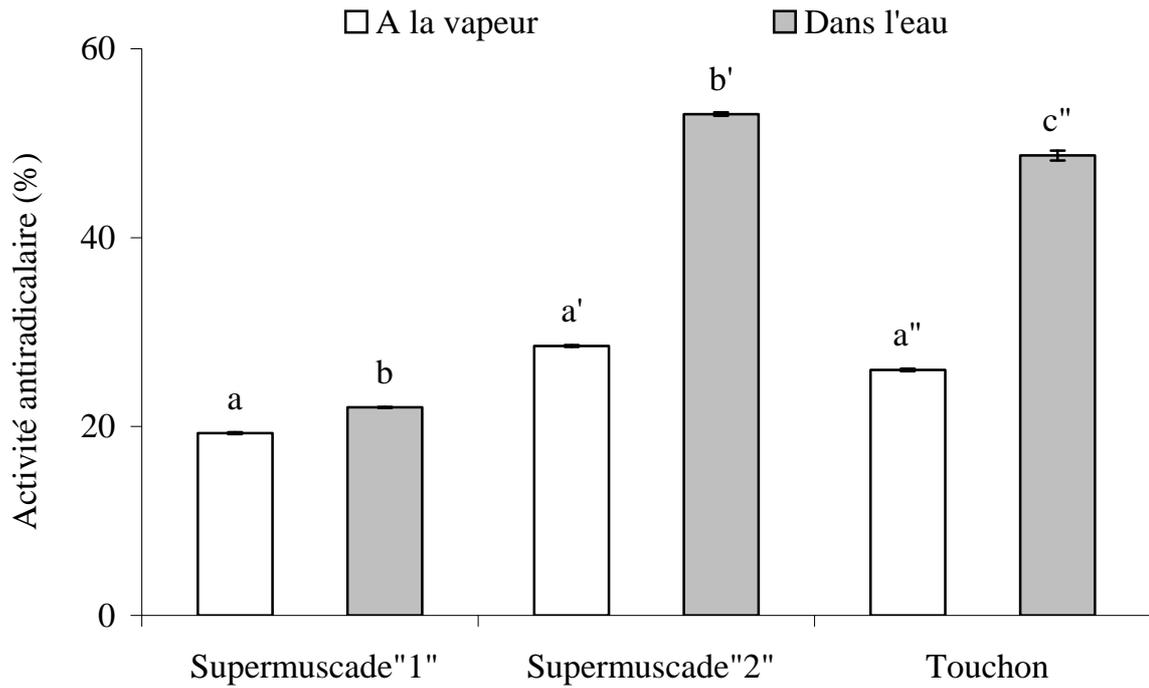


Figure 24 : Activité antiradicalaire des eaux de cuisson.

Des lettres différentes indiquent qu'il y a des différences à $p < 0,05$

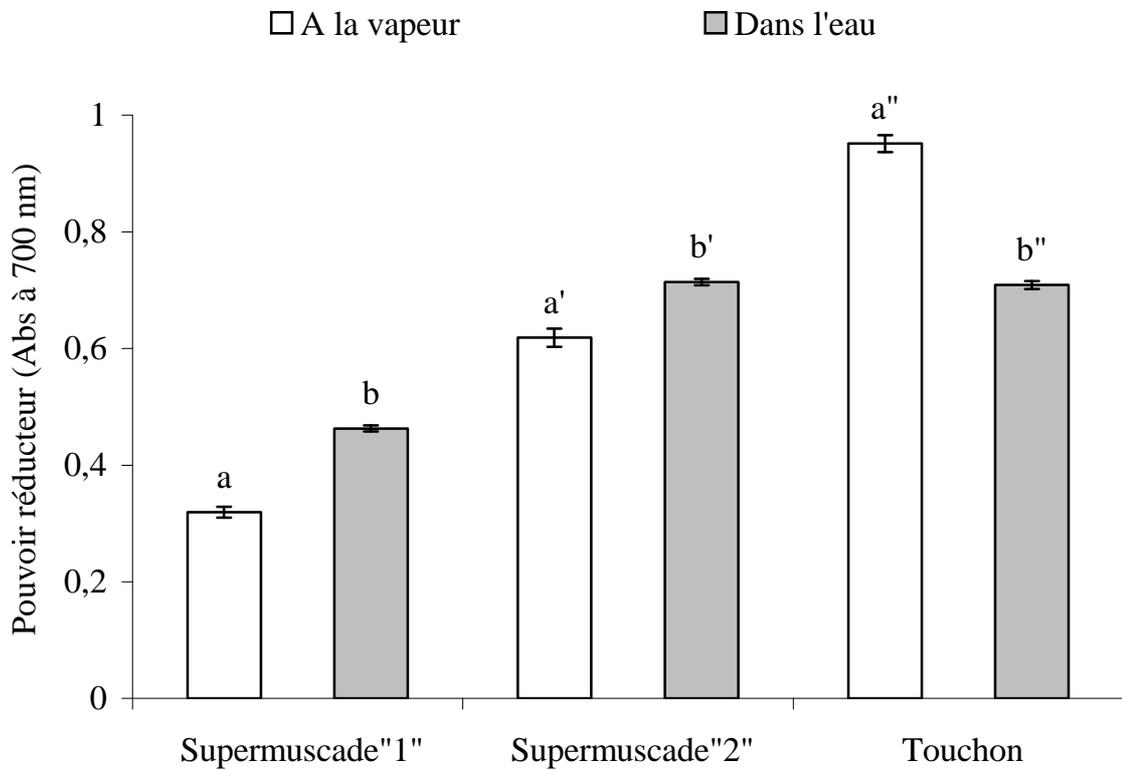


Figure 25 : Pouvoir réducteur des eaux de cuisson

Des lettres différentes indiquent qu'il y a des différences à $p < 0,05$

Les coefficients de corrélations entre l'activité antiradicalaire, le pouvoir réducteur et la teneur en caroténoïdes totaux sont de 0,73 et de 0,64, respectivement (figure 26).

Des corrélations linéaires positives ont été également constatées entre l'activité antiradicalaire, le pouvoir réducteur et la teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes des extraits de carottes analysées (figure 27) et des eaux de cuisson (figure 28). Zhang et Hamazu (2004a) ont constaté une corrélation positive entre l'activité anti-radicalaire et la teneur en composés phénoliques des extraits de carotte, avec un coefficient de 0,99. Les corrélations obtenues sont hautement significatives et indiquent que l'activité anti-oxydante de la carotte (fraîches ou cuites) et des eaux de cuisson est due à ces substances.

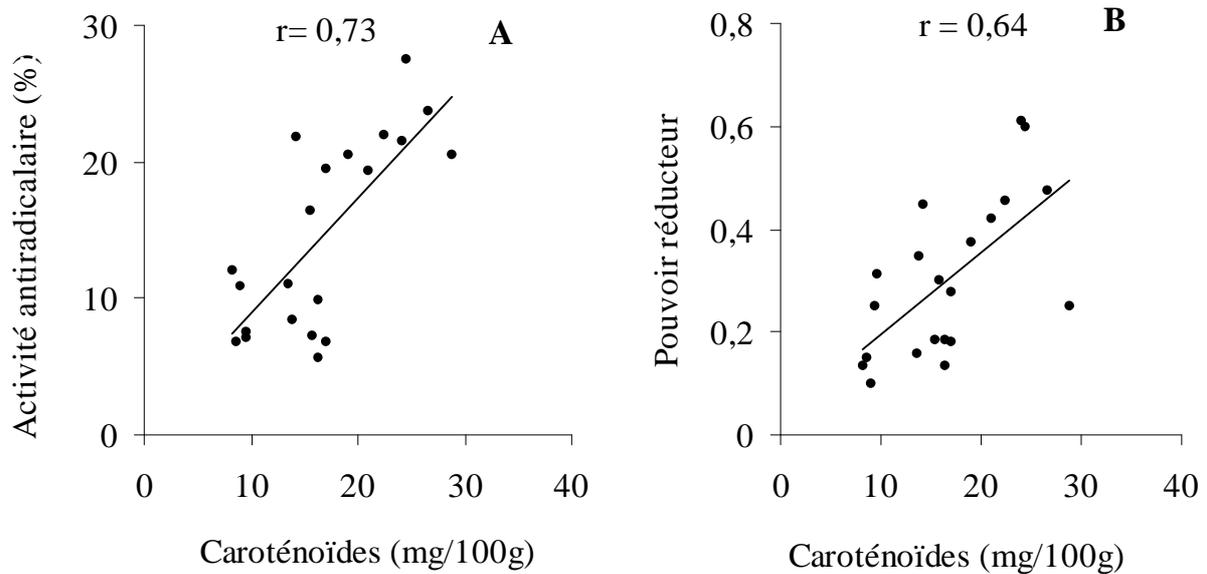


Figure 26: Corrélations entre la teneur en caroténoïdes et l'activité antiradicalaire (A), le pouvoir réducteur (B).

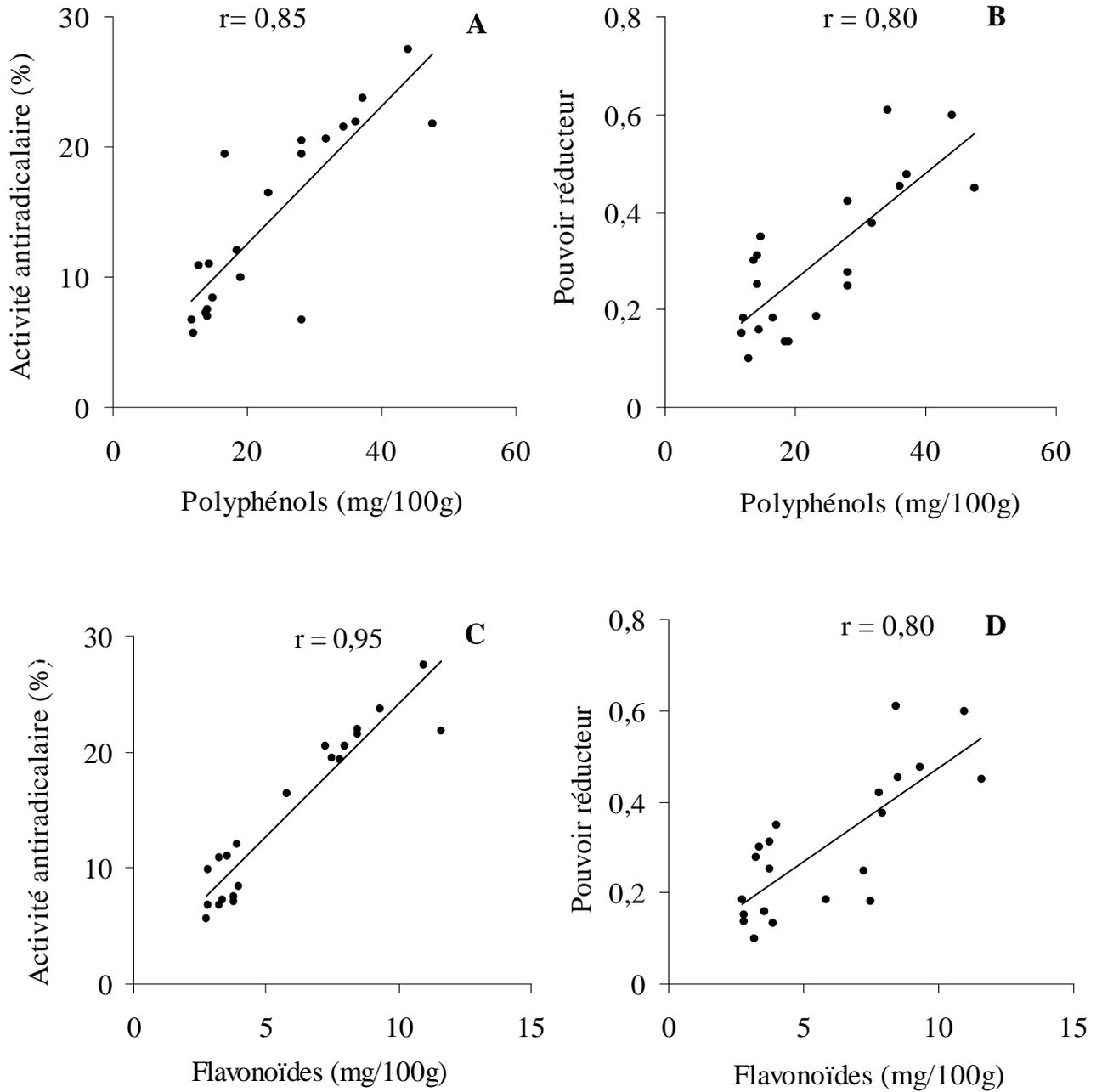


Figure 27: Corrélations entre l'activité antiradicalaire, le pouvoir réducteur et la teneur en composés phénoliques (A et B) et en flavonoïdes (C et D) des extraits aqueux de carotte.

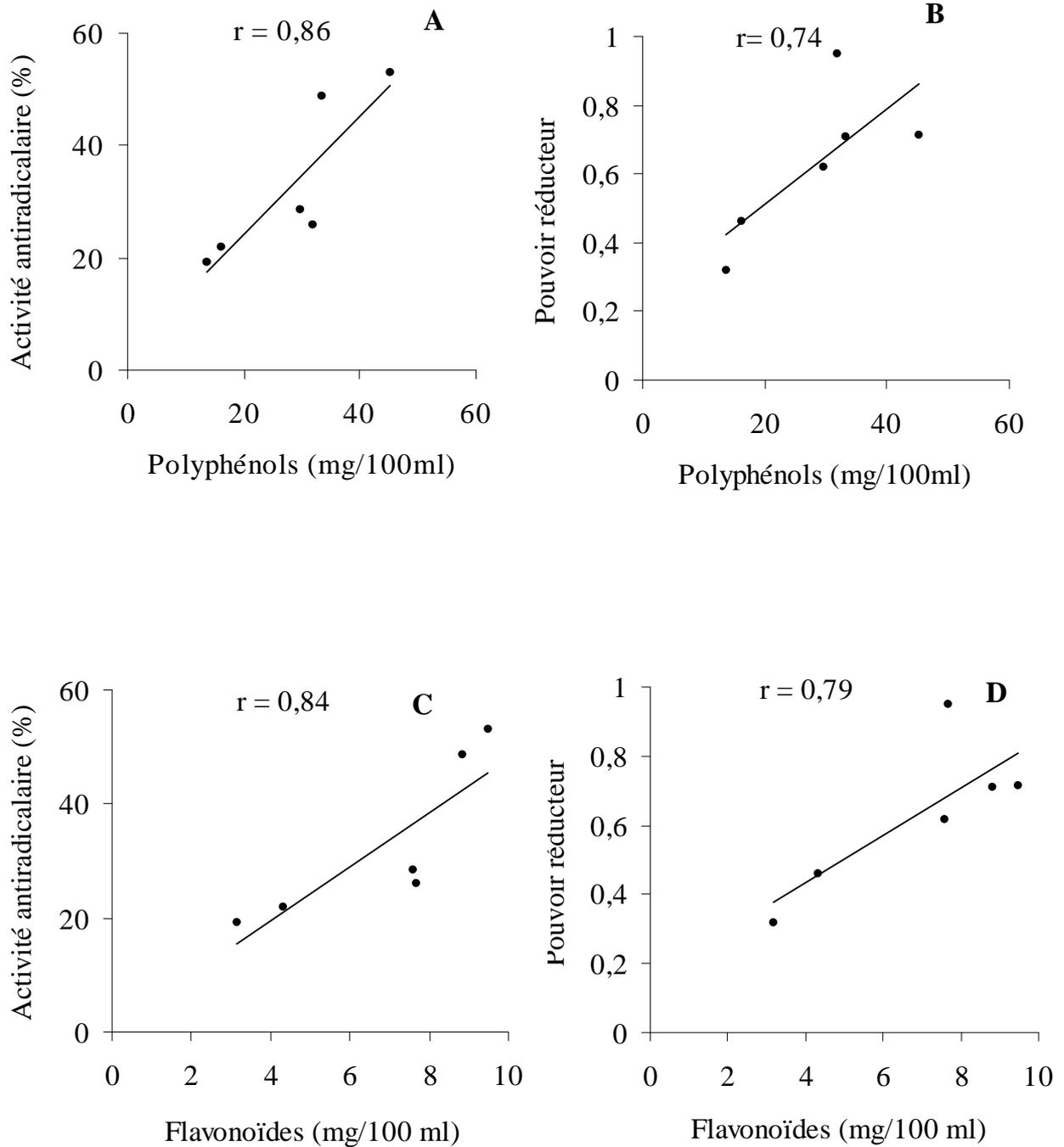


Figure 28: Corrélations entre l'activité antiradicalaire, le pouvoir réducteur et la teneur en composés phénoliques (A et B) et en flavonoïdes (C et D) des eaux de cuisson.

CONCLUSION

La présente étude a permis d'une part, le dosage des caroténoïdes, des polyphénols et des flavonoïdes ainsi que la détermination du pouvoir antioxydant de deux échantillons de carotte de la variété Supermuscade d'origine géographique différente et un échantillon de la variété Touchon.

Les résultats obtenus indiquent que la teneur en caroténoïdes totaux varie en fonction de la variété et de l'origine géographique ; elle est de 8,6 et 8,9 mg/100g pour la Supermuscade de Boumerdes et de Biskra, respectivement ; la variété Touchon contient 19,1 mg/100g de caroténoïdes. De même, les teneurs en composés phénoliques et en flavonoïdes des deux variétés sont différentes et la variété Touchon présente les teneurs les plus élevés, 31,8 et 7,9 mg/100g de matière fraîche, respectivement.

La mesure de l'activité antioxydante est réalisée par deux méthodes, le pouvoir antiradicalaire utilisant le radical 2-2 diphényl-picryl-hydrazyl et le pouvoir réducteur. Les extraits aqueux de carottes révèlent des différences considérables de l'activité antiradicalaire entre les deux variétés ; les activités antiradicalaires sont respectivement 6,8 %, 10,8 % et 20,6 % pour la Supermuscade « 1 », la Supermuscade « 2 » et la Touchon. Le meilleur pouvoir réducteur est également enregistré pour la variété Touchon : 0,38.

D'autre part, l'effet de la conservation des échantillons de carotte à 4 °C est également déterminé à travers le suivi de l'évolution des composants antioxydants (caroténoïdes, polyphénols et flavonoïdes) et l'activité antioxydante des échantillons.

La conservation à 4 °C pendant 12 jours est n'a pas d'effet sur la teneur en caroténoïdes de la variété Touchon, mais elle provoque une augmentation significative pour la Supermuscade « 1 » et « 2 ». De même, la conservation à 4 °C provoque une augmentation significative de la teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes liée à des modifications du métabolisme des polyphénols pendant le stockage tel que la stimulation de l'activité de la Phénylalanine Ammonia Lyase (PAL).

La conservation à 4 °C s'accompagne également d'une augmentation de l'activité antiradicalaire de la Supermuscade de Biskra et de la Touchon.

Par ailleurs, l'effet de la cuisson à la vapeur et dans l'eau sur les teneurs en polyphénols, caroténoïdes, flavonoïdes et l'activité antioxydante est déterminé. Quelque soit le mode de cuisson, la teneur en caroténoïdes augmente ; ceci est dû à l'isomérisation des caroténoïdes *Trans* en caroténoïdes *Cis*. Une augmentation de la teneur en composés phénoliques est obtenue pour les échantillons Supermuscade « 2 » et Touchon après cuisson à la vapeur. La teneur en flavonoïdes augmente dans la Supermuscade de Biskra après cuisson à la vapeur suite à la dégradation de tanins en polyphénols simples ou à l'augmentation du taux de flavonols libres après traitement thermique. Cependant, une réduction de la teneur en composés phénoliques est enregistrée dans la variété Touchon après cuisson dans l'eau expliquée par la dégradation de composés phénoliques durant la cuisson. Inversement, la cuisson n'a aucun effet sur l'activité antioxydante des échantillons analysés à l'exception d'une légère augmentation qui est décelée pour la Supermuscade « 2 » après cuisson à la vapeur.

Les corrélations entre les pouvoirs antiradicalaire et réducteur et la teneur en caroténoïdes présentent des coefficients respectifs de 0,73 et 0,64. Les teneurs en composés phénoliques et en flavonoïdes présentent également des corrélations linéaires positives avec l'activité antioxydante.

Les résultats du présent travail montrent que la carotte crue ou cuite est une source de composés phénoliques, de flavonoïdes et de caroténoïdes. Afin de compléter ce travail, il serait souhaitable :

- d'élargir l'échantillonnage pour mieux appuyer nos résultats.
- d'évaluer l'effet de la conservation de la carotte pendant sous différentes conditions (humidité, lumière et température), pour déterminer les conditions optimales permettant de préserver les propriétés nutritionnelles et biologiques.
- d'utiliser d'autres méthodes (HPLC, CPG) pour quantifier et identifier les caroténoïdes et les composés phénoliques de la carotte et voire réellement l'effet de la cuisson sur ces constituants antioxydants et de déterminer leur effet *in vivo*.

A

Alsalvar C, Al-Farsi M, Quantick P.C, Shahidi F et Wiktorowicz R. 2005. Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready- to- eat shredded orange and purple carrots. *Food Chemistry*. 89: 69-76.

Alsalvar C, Grigor M.J, Zhang D, Quantick C. P et Shahidi F. 2001. comparaison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 49: 1410-1416.

Amin I, Norazaidah I et Emmy-Hainida K. I. 2006. Antioxidant activity and phenolics content of raw and blanched *Amaramthus* spices. *Food Chemistry*. 94: 47-52.

Anttonen M.J et Karjalainen R.O. 2005. Environmental and genetic variation of phenolic compounds in red raspberry. *Journal of Food Composition and Analysis*. 18: 759-769.

B

Bachir Bey M. 2006. Evaluation du pouvoir antioxydant de quelques variétés de tomate cultivées à Béjaia. Mémoire de magister, université abderhmane mira de Béjaia.

Bahandari M.R et Kawabata J. 2004. Organic acid, phenolic content and antioxidant activity of wild yam (*Dioscorea spp.*) tubers of N epal. *Food Chemistry*. 88 : 163-168.

Balasubramaniam P, Pari L, Menon V. P. 1998. Protective effect of carrot (*Daucus carota L.*) against Lindane-induced hepatotoxicity in rats. *Phytothrapy Research*. 12: 434-436.

Barth M.M, Zhou C, Kute K M et Rosenthals G A. 1995. Determination of optimum conditions for supercritical fluid extraction of carotenoids from carrot (*Daucus curotu L.*) tissue. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 43 : 2876-2878.

Beltiz H.D, Grosch W Schieberle P. 2004. Vegetables and vegetable products. Edition: Springer. pp 772-804.

Berger M, Küchler T, Maßen A, Buth-Stockfish M et Steinhart H. 2008. Correlations of carotene with sensory attributes in carrots under different storage conditions. Food Chemistry. 106: 235-240.

Berger M. M. 2006. Manipulations nutritionnelles du stress oxydant: état des connaissances. Nutrition clinique et métabolisme. 20:48-53.

Blokhina O, Virolainen E et Fagersted K. V. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress : a review. Annals of Botany. 91: 179-194.

Borel P, Draï J, Faure H, Fayol V, Galabert C, Laromiguière M et Le Moël G. 2005. Données récentes sur l'absorption et le catabolisme des caroténoïdes. Annale de Biologie Clinique. 63 (2) : 165-177.

Brandt K, Giannini A et Lercari B. 1995. Photomorphogenic responses to UV radiataion III : a comparative study of UVB effects on anthocyanin and flavonoids accumulation in wild type and aurea mutant of tomato (*Lycopersicon esculenium* Mill.). Photochemistry and photobiology. 62:1081-1087.

Brown J. E, Khodr H, Hider R.C et Rice-Evans C. 1998. Structural dependence of flavonoid interactions with Cu²⁺ ions: implications for their antioxidant properties. Biochemical Journals. 330: 1173-1178.

Brown L , Rimm E. B , Seddon J. M, Giovannucci E. L, Chasan-Taber L, Spiegelman D, Willett W. C et Hankinson S. E . 1999. A prospective study of carotenoid intake and risk of cataract extraction in US men. American Journal of Clinical Nutrition. 70:517–24.

Bub A, Watzl B, Abrahamse L, Delinceé H, Adam S, Wever J, Müller H et Rechkemmer G. 2000. Moderate intervention with carotenoid-rich vegetable products reduces lipid peroxidation in Men. *Journal of Nutrition*. 130: 2200–2206.

C

Caldwell C.R, Britz S.J et Mirecki R.M. 2005. Effect of temperature, elevated carbon dioxide and drought during seed development on the isoflavone content of dwarf soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] grown in controlled environments. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 53: 1125-1129.

Cao G, Sofic E et Prior R. L. 1998. Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 44 : 3426-3431.

Caro A. D, Piga A, Vacca V et Agabbio M. 2004. Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. *Food Chemistry*. 84 (1): 99-105.

Chasan-Taber L, Willett W. C, Seddon J. M, Stampfer M. J, Rosner B, Colditz G. A, Speizer F. E et Hankinson S. E. 1999. A prospective study of carotenoid and vitamin A intakes and risk of cataract extraction in US women. *American Journal of Clinical Nutrition*. 70:509-16.

Chen B.H, Peng H.Y et Chen H.E. 1995. Changes of carotenoids, color and vitamin A contents during processing of carrot juice. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 43: 1912-1918.

Chen H. E, Peng H. Y et Chen B. H. 1996. Stability of carotenoids and vitamin A during storage of carrot juice. *Food Chemistry*. 57 (4): 497-503.

Cieslik E, Greda A et Adamus W. 2006. Content of polyphenols in fruits and vegetables. *Food Chemistry*. 94: 135-142.

Clifford H. 2001. Sources of natural antioxidants: oilseeds, nuts, cereals, legumes, animal products and microbial sources. « Antioxidants in food : Practical applications». Edition: CRC Press. pp 159- 195.

Crété P. 1965. Classe des dicotylédones. In « Précis de botanique : systématique des plantes ». Edition : Masson. pp 83-412.

Crozier A, Lean M.E.J, McDonald M.S et Black C. 1997. Quantitative analysis of flavonoid content of commercial tomatoes, onions, lettuce and celery. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 45: 590-595.

D

De Groot H, 1998. Comment les caroténoïdes protègent du cancer. Tabula. 3 : 10-11.

Deby C et Goutier R. 1990. New perspective on the biochemistry of superoxyde anion and efficiency of superoxyde dismutase. Biochemistry and pharmacology. 268: L622-L699.

Dionne J. Y. 2002. Les Caroténoïdes. Québec Pharmacie 48 (9) : 800-804.

Djeridane A. M, Yousfi A, Nedjmi B, Boutassouna D, Stocker P et Vidal N. 2006. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. Food Chemistry. 95: 654-660.

DuPont M. S, Mondin Z, Williamson G et Price K. R. 2000. Effect of variety, processing, and storage on the flavonoid glycoside content and composition of lettuce and endive. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 48 (9) : 3957 -3964.

Dutta D., Chaudhuri U. R. et Chakraborty R. 2005. Structure, health benefits, antioxidant property and processing and storage of carotenoids. African Journal of Biotechnology. 4 (13): 1510-1520.

Dwanto V, Wu X, Adom K.K et Lin R.H. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing the total antioxidant activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 50: 3010-3014.

Ɛ

Edwards A. J, Nguyen C. H, You C, Swauson J. E, Emenhiser C et Parker R. S. 2002. α - and β -carotene from a commercial carrot purée are more bioavailable to humans than from boiled-mashed carrots, as determined using an extrinsic stable Isotope reference method. *Journal of Nutrition*. 132: 159-167.

Ɠ

Gayathri G. N, Platel K, Parkash J, Srinivasan K. 2004. Influence of antioxidant spices on the retention of β -carotene in vegetables during domestic cooking processes. *Food Chemistry*. 84: 35-43.

Ghedira K. 2005. Les flavonoïdes : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*. 4 : 162-169.

Granito M, Paolini M et pérez S. 2007. Polyphenols and antioxidant capacity of *Phaseolus vulgaris* stored under extreme conditions and processed. *Food Science and Technology*. Sous press.

Ƨ

Halliwel B, Rafter J et Jenner A. 2005. Health promotion by flavonoids, tocopherols, tocotrienols, and other phenols: direct or indirect effects? Antioxidant or not? *American Journal of Clinical Nutrition*. 81:268S–76S.

Hauffmann L. 2003. Etude du métabolisme des phénylpropanoïdes; analyse de l'interaction de la caféoyl-coenzyme A 3- O-méthyltransférase (CCoAOMT) avec son substrat et caractérisation fonctionnelle d'une nouvelle acyltransférase, l'HydroxyCinnamoyl-CoA : shikimate/quinate hydroxycinnamoyl Transférase (HCT). Thèse de doctorat, université Louis Pasteur-Strasbourg I.

Hertog M.G.L, Hollman P.C.H et Katan M.B. 1992. Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 40: 2379-2383.

Hornero-Méndez D et Mínguez-Mosquera M.I. 2007. Bioaccessibility of carotenes from carrots: Effect of cooking and addition of oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Sous press.

Howard L.R, Clark J.R et Brownmiller C. 2003. Antioxydant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 83: 1238-1247.

Hyang Y, Chang Y et Shao Y. 2006. Effect of genotype and treatment on the antioxidant activity of sweet potato in Taiwan. *Food Chemistry*. 98: 529-538.

Κ

Kammerer D, Carle R et Shieber A. 2004. Characterization of phenolic acids in black carrots (*Daucus carota ssp sativa var. atrorubens Alef*) by high performance liquid chromatography/electrospray ionisation mass spectrometry. *Rapid Commun Mass Spectrum*. 18: 1331-1340.

Khaled-Khodja Y. 2008. Etude de l'activité antioxydante des jus et pulpes de quelques variétés d'orange de la région de Béjaia. Mémoire de magister, université abderhmane mira de Béjaia.

Klimaczak I, Malecka M, Sclachta M et Gliszczynska-Świglo A. 2006. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and analysis*. Sous press.

Koca N, Burdurlu H. S , Karadeniz F. 2007. Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. *Journal of Food Engineering* 78 : 449–455.

Koechlin-Romonatxo C. 2006. Oxygène, stress oxydant et suppléments antioxydants ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires. *Nutrition Clinique et Métabolisme*. 20 : 165-177.

Krinsky N.I et Johnson E. J. 2005. Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*. 26: 459–516.

£

Lauthria D.L, Mukhopadhyay S et Krizek D.T. 2006. Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 771-777.

Lecerf J. M. 1999. Les Antioxydants et les autres éléments protecteurs dans Les jus de fruits et de légumes. Institut Pasteur de Lille. pp 1-33.

Lin C et Chang C. 2005. Textural change and antioxidant properties of broccoli under different cooking treatments. *Food Chemistry*. 90: 9-15.

Linden G et Lorient D. 1999. Pigments and aromas. In « New ingredients in food processing ». Edition : CRC press. pp 337-357.

Lisiewska Z, Kmiecik W et Korus A. 2006. Content of vitamin C, carotenoids, chlorophylls and polyphenols in green parts of dill (*Anethum graveolens* L.) depending on plant height. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 134-140.

Longnecker M. P, Newcomb P A, Mittendorf R , Greenberg E. R et Willett W C. 1997. Intake of carrots, spinach, and supplements containing vitamin A in relation to Risk of Breast Cancer. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*. 6: 887-892.

Louret D. 2006. La carotte un légume universellement connu. In « Détail fruits et légumes ». Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes. 227 : 1-4.

M

Maisuthisakul P, Suttajit M et Pongsawatmanit R. 2007. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. *Food Chemistry* 100: 1409–1418.

Marfak A. 2003. Radiolyse gamma des flavonoïdes. Etude de leur réactivité avec les radicaux issus des alcools : formation de depsides. Thèse de doctorat, université de limong.

Marinova D , Ribarova F, Atanassova M. 2005. Total phenolics and total flavonoids in bulgarian fruits and vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy.* 40 (3): 255-260.

Martens S et Mithöfer A. 2005. Flavones and flavone synthases. *Phytochemistry.* 66 : 2399–2407.

Marx M, Stuparic M, Schieber A et Carle R. 2003. Effect of thermal processing on *trans-cis*-isomérisation of β -carotene in carrot juices and carotene-containing preparations. *Analytical, Nutritional and Clinical Methods.* 83: 609-617.

Mayer-Miebach E et Spieß W.E.L. 2003. Influence of cold storage and blanching of the carotenoid content of *Kintoki* carrots. *Journal of Food Engineering.* 56: 211-213.

Mazza G. 1999. Carrots. In « Quality and preservation of the vegetables ».Edition: Technology & Industrial. pp 75-113.

McLaren S.D et Frigg M. 2000. Vitamin A in nature. In « Sight and life manual of vitamin A deficiency disorders (VADD) ». Edition : Taske force. pp 1-8.

Mélo E. A, Lima V. A. G, Maciel M. S. 2006. Polyphenol, Ascorbic Acid and Total Carotenoid Contents in Common Fruits and Vegetables. *Journal of Food Technology.* 9 (2): 89-94.

Miean K. H et Mohamed S. 2001. Flavonoid (myricetin, quercetin, kaempferol, luteolin, and apigenin) content of edible tropical plants. *Journal of Agriculture and Food Chemistry.* 49 (6): 3106 -3112.

Mozaffarieh M, Sacu S et Wedrich A. 2003. The role of the carotenoids, lutein and zeaxanthin, in protecting against age-related macular degeneration: A review based on controversial evidence. *Nutrition Journal.* 2: 20-28.

Murkovic M, Mülleder U et Neunteuflw H. 2002. Carotenoid content in Different varieties of pumpkins. *Journal of Food Composition and Analysis.* 15: 633–638.

N

Naczk M et Shahidi F. 2006. Phenolics in cereals, fruits and vegetables : occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.* 41: 1523-1542.

Naïthani V, Naïr S et Kakker P. 2006. Decline in antioxydant capacity of Indian herbel teas during storage and its relation to phenolic content. *Food Research International.* 39 : 176-181.

Nicolle C, Cardinault N, Aprikian O, Busserolles J, Grolier P, Rock E, Demigné C, Mazur A, Scalbert A, Amouroux P et Rémésy C. 2003. Effect of carrot intake on cholesterol metabolism and on antioxidant status in cholesterol-fed rat. *European Journal of Nutrition.* 42 (5): 254-261.

Nicolle C, Gueux E, Lab C, Jaffrelo L, Rock E, Mazur A, Amouroux P et Rémésy C. 2004. Lyophilized carrot ingestion lowers lipemia and bénéfically affects cholestérol metabolism in cholestérol fed mice. *European Journal of Nutrition.* 43 (4): 237-245.

Nkordjock A et Ghadirian P. 2004. Intake of specific carotenoids and essential fatty acids and breast cancer risk in Montreal, Canada. *American Journal of Clinical Nutrition*. 79 :857-864.

Northolt M, Burgt G.V.D, Buisman T, Bogaerde A.V. 2004. Parameters for carrot quality and the development of the inner quality concept. Louis Bolk Institut. pp 1-74.

O

Obah G. 2005. Effect of blanching on the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables . *Food Science and Technology*. 38: 513-517.

Olivera D. F, Viña S. Z, Marani C. M, Ferreyra R. M, Mugridge A, Chaves A. R et Mascheroni R. H. 2008. Effect of blanching on the quality of Brussels sprouts (*Brassica oleracea* L. *gemmifera* DC) after frozen storage. *Journal of Food Engineering*. 84 (1): 148-155.

Osganian S. K, Stampfer M. J , Rimm E, Spiegelman D, Manson J. E et Willett W. C. 2003. Dietary carotenoids and risk of coronary artery disease in women. *American Journal of Clinical Nutrition*. 77:1390-1399.

Ou B , Huang D, Hampsch-woodill M, Flanagan J. A et Deemer E .K . 2002. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 50: 3123-3128.

P

Pantelidis G.E, Vasilakakis M, Manganaris G.A et Diamantidis Gr. 2006. Antioxydant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and cornelian cherries. *Food Chemistry*. Sous press.

Pelli K et Lyly M. 2000. Les antioxydants dans l'alimentation. National Network Leader. pp 1-28.

Peschel W.J, Sanchez-Rabaneda F, Diekmann W, Plescher A, Gartzia I, Jiménez D, Lamuela-Raventos R, Buxaderas S et Codina C. 2006. An industrial approach in the search of natural antioxidant from vegetable and fruit wastes. *Food Chemistry*. 97: 137-150.

Pichter G. 1993. Autotrophie des organismes végétaux. In « Métabolisme des végétaux ». Edition : Lavoisier. pp 53-188.

Pietta P. G. 2000. Flavonoids as Antioxidants. *Journal of Natural Products*. 63 : 1035-1042.

Pool-Zobel B.L, Bub A, Müller H, I Wollowski I et Rechkemmer G. 1997. Consumption of vegetables reduces genetic damage in humans: first results of a human intervention trial with carotenoid-rich foods. *Carcinogenesis*. 18 (9): 1847-1850.

Poulin M. J, Bel-Rhlid R, Piché Y et Chênevert R . 1993. Flavonoids released by carrot (*Daucus carota*) seedlings stimulate hyphal development of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in the presence of optimal CO₂ enrichment. *Journal of Chemical Ecology*. 19 (10): 2317-2327.

Price K. R, Casuseelli F, Cloquhoum I. J et Rohdes J. C. 1998. Composition and content of flavonol glycosides in broccoli floret (*Brassica olearacea*) and their fact during cooking. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 77: 468-472.

℞

Raffo A, Leonardi C, Fogliano V, Ambrosino P, Salucci M, Gennaro L, Bugianesi R, Giuffrida F et Quaglia G. 2002. Nutritionnal value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculintum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 50: 6550-6556.

Rhodes M.J.C. 1996. Physiological roles of phenolic compounds in plants and their interaction with microorganisms and humans. In Polyphenols 96. Edition: INRA, Colloques 87. pp 14-30.

Rice-Evans C. 1999. Screening of phenolics and flavonoids for the antioxidant activity. In « Antioxidant and food supplement in human health ». Edition :Elsevier. pp 239- 253.

Rodriguez-Amaya B.D. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. Edition: International life Institue. pp 1-60.

Rodriguez-Amaya D.B et Kimura M. 2004. Harvestplus handbook for carotenoid analysis. Edition: Technical Monograph Series 2. pp 2-51.

Roy M. K, Takenaka M, Isobe Set Tsuchida T. 2007. Antioxidant potentiel, anti-proliferative activities and phenolic content in water-soluble fractions of some commonly consumed vegetables: effect of thermal traitement. Food Chemistry. 103: 106-114.

S

Sass-Kiss A, Kiss J, Milotay P, Kerek M. M et Toth Markus M. 2005. Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. Food Research International. 38 : 1023-1029.

Scott K.J et Rodriguez- Amaya D. 2000. Pro-vitamin A carotenoid conversion factors: retinol equivalents -fact or fiction?. Food Chemistry. 69:125-127.

Singh B, Kumar A, Gupta A.K. 2007. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. Journal of Food Engineering. 79: 471-480.

Škerget M , Kotnik P, Hadolin M, Hraš A.R, Simonič M , Knez Ž. 2005. Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *Food Chemistry* 89: 191–198.

Slattery M.L, Benson J, Curtin K, Ma K, Schaeffer D et Potter J. D. 2000. Carotenoids and colon cancer. *American Journal of Clinical Nutrition*. 71:575-582.

Souci S.W, Fachmann W et Kraut H. 1994. Vegetables. In « Food composition and nutrition value. Edition : Lavoisier. pp 601-782.

Stahl W et Sies H. 1999. Carotenoids : occurrence, biochemical activities and bioavailability. In « Antioxidant and food supplement in human health ». Edition: Elsevier. pp 183-202.

Sulaeman A, Keeler L, Taylor S.L, Giraud D.W et Driskell J.A. 2001. Carotenoid Content, Physicochemical, and Sensory Qualities of Deep-Fried Carrot Chips As Affected by Dehydration/Rehydration, Antioxidant, and Fermentation *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 49 : 3253-3261.

Sun M et Temelli F. 2006. Supercritical carbon dioxide extraction of carotenoids from carrot using canola oil as continuous co-solvent. *Journal of Supercritical Fluids*. 37: 397-408.

T

Tavarini S, Degl'Innocenti E, remorini D, Massai R et guidi L. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and caroténoïds changes during harvest and after storage of hoyword kiwifruit. *Food Chemistry*. 107: 282-288.

Teon C.C, Truong V, Mcfeeters R.F, Thompson R.L Pecota K.V et Yencho G.C. 2006. Antioxydant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato getotypes with varing flesh colors. *Food Chemistry*. Sous press.

Tiouabi M. 2005. Synthèse de dérivés d'isocoumarines naturelles, métabolites du champignon pathogène *Ceratocystis fimbriata* sp. Thèse de doctorat ,université de Neuchâtel.

Toor R.K et Savage G.P. 2005. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. Food Research International. 38: 487-494.

Toor R.K, Savage G.P et Lister C.E. 2006. Seasonal variations in the antioxydant composition of greenhouse grown tomatoes. Journal of Food Composition and Analysis. 19: 1-10.

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

ψ

Van Acker S.A.B.E, Van Den Berg D.J, Tromp M.N.J.L, Griffioen D.H, Van Bennekom W.P, Van Der Vijgh W.J.F et Bast A. 1996. Structural aspect of antioxidant activity of flavonoids. Free Radical of Biological Medicine. 20: 331-342.

Van Den Berg H et Van Vliet T. 1998. Effect of simultaneous, single oral doses of β -carotene with lutein or lycopene on the β -carotene and retinyl ester responses in the triacylglycerol-rich lipoprotein fraction of men. American Journal of Clinical Nutrition. 68:82-89.

Villneuve F. 1999. La carotte. In « Technologie des légumes ». Edition : Tec & Doc, Lavoisier. pp 45-63.

Voutilainen S, Nurmi T , Mursu J et Rissanen T. H . 2006. Carotenoids and cardiovascular health . American Journal of Clinical Nutrition. 83:1265–1271.

Υ

Yanishlieva-Maslarova N. V, Pokorny J, Yanishlieva N et Gordon M. 2001. Inhibiting oxidation. In « Antioxidants in food » : Practical applications . Edition: CRC Press. pp 22-57.

Yu L. L, Zhou K. K et Parry J. 2005. Antioxidant properties of cold-pressed black caraway, carrot, cranberry and hemp seed oil. Food Chemistry. 91: 723-729.

Z

Zhang D et Hamouzu Y. 2004b. phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. Food Chemistry. 88: 503-509.

Zhang D et Hamouzu Y. 2004a. Phenolic compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrot (*Daucus carota*L.). Food Agriculture and Environment. 2 (1): 95-100.

Zhang Q, Tan S, Makay A et Yan G. 2005. Carrot browning on simulated market shelf and during cold storage. Journal of the science of food and agriculture. 85: 16-20.

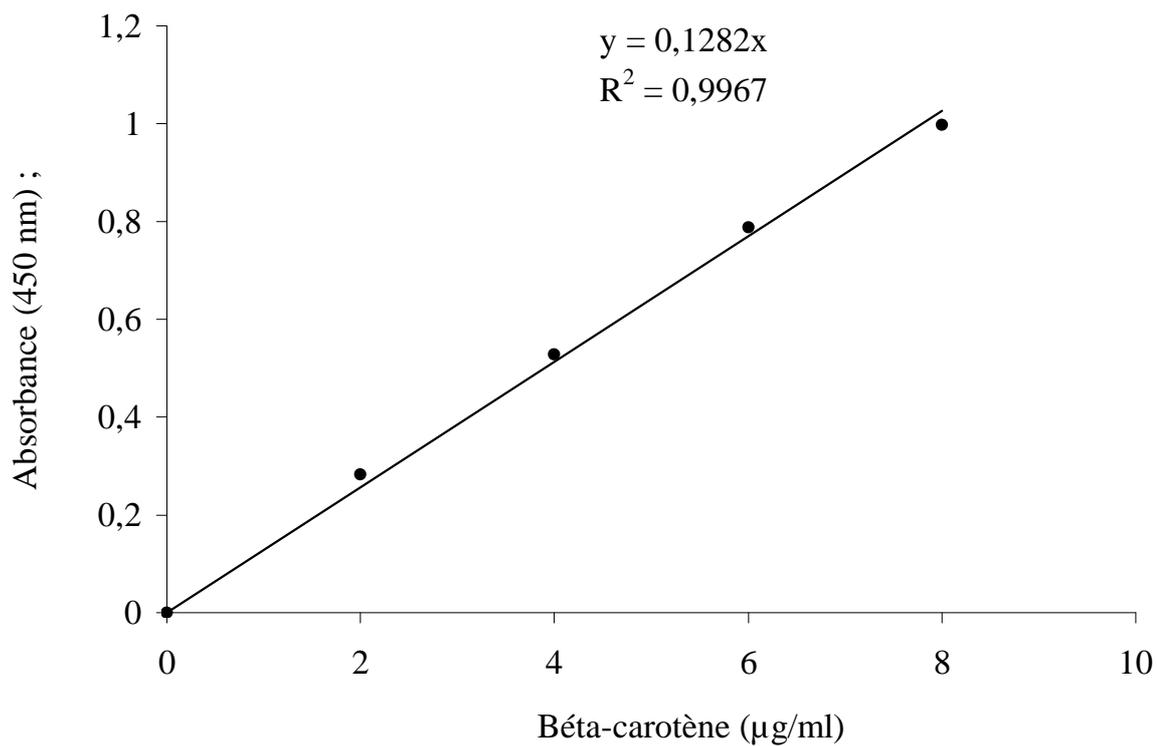


Figure 1 : Courbe d'étalonnage des caroténoïdes

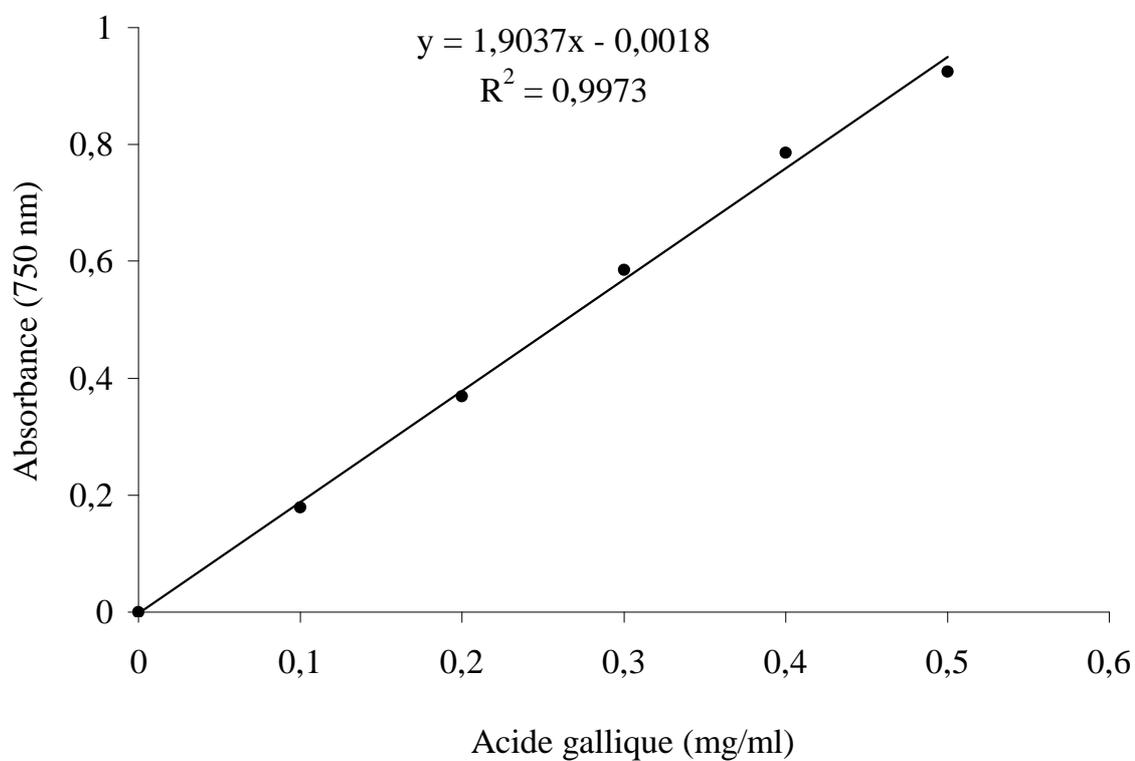


Figure 2 : Courbe d'étalonnage des polyphénols

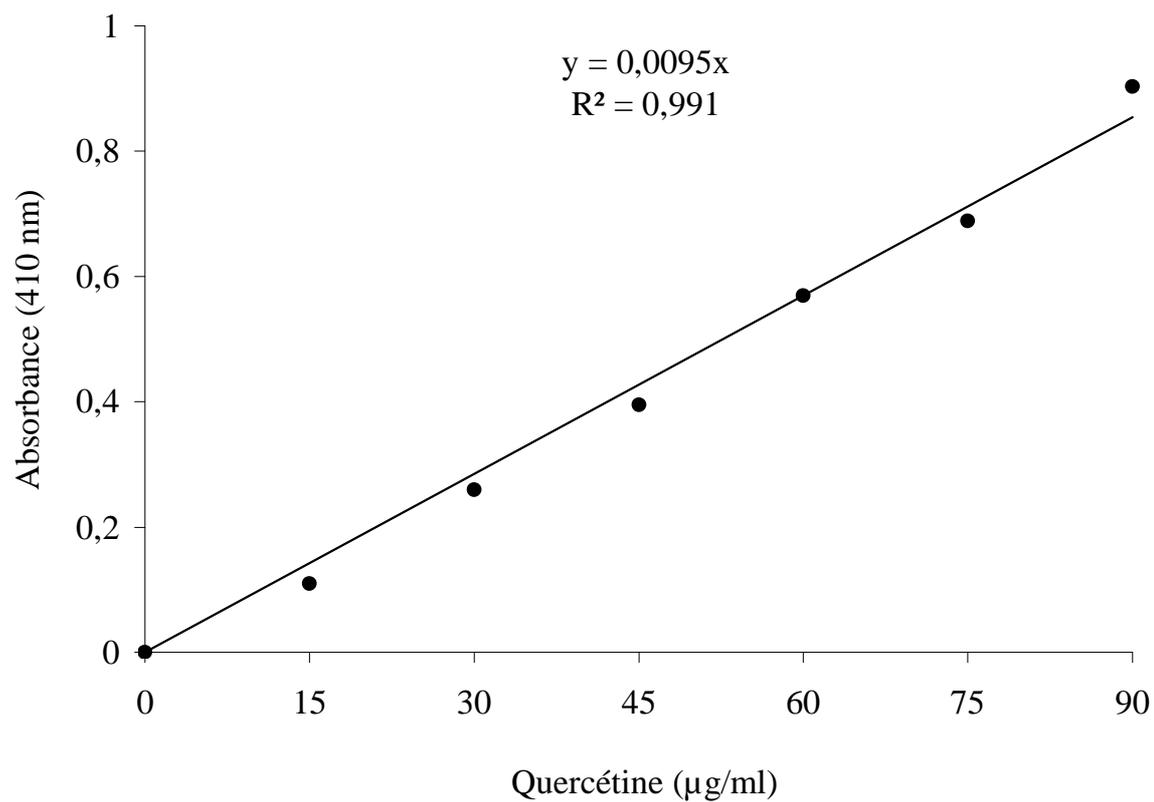


Figure 3 : Courbe d'étalonnage des flavonoïdes

Résumé : La présente étude nous a permis de déterminer les teneurs en polyphénols, en flavonoïdes et en caroténoïdes ainsi que le pouvoir antioxydant de deux variétés de carotte (Supermuscade et Touchon), d'évaluer l'effet de la conservation pendant 12 jours à 4 °C et de la cuisson sur les teneurs en ces constituants antioxydants et l'activité anti-oxydante des échantillons. Les résultats obtenus montrent que les teneurs en caroténoïdes, en polyphénols et en flavonoïdes varient en fonction de la variété et de l'origine géographique. La variété Touchon est plus riche en ces composants antioxydants et présente la meilleure activité antiradicalaire et le meilleur pouvoir réducteur. Le stockage provoque une augmentation des teneurs en polyphénols, en flavonoïdes et du pouvoir réducteur dans les trois échantillons analysés, tandis que une augmentation de la teneur en caroténoïdes est seulement constatée dans les deux échantillons de la Supermuscade (Boumerdes et Biskra). Une augmentation de l'activité antiradicalaire au cours du stockage est constatée dans les échantillons Supermuscade (Biskra) et Touchon. La cuisson à la vapeur et dans l'eau provoque également une augmentation de la teneur en caroténoïdes totaux et du pouvoir réducteur. De même, une élévation des teneurs en polyphénols, en flavonoïdes et de l'activité antiradicalaire est observée dans la Supermuscade de Boumerdes. Cependant, une légère réduction de la teneur en polyphénols après cuisson dans l'eau est constatée dans la variété Touchon. L'analyse de l'eau de cuisson montre qu'un traitement thermique a favorisé la solubilisation d'une certaine quantité d'antioxydants (caroténoïdes, flavonoïdes et polyphénols) dans l'eau de cuisson impliquée dans son activité antioxydante.

Mots clés : carotte, caroténoïdes, polyphénols, flavonoïdes, activité antioxydante, conservation, cuisson, eau de cuisson.

Abstract : The present study permit to determine the content of phenolics, flavonoids and carotenoids as well as the antioxydant power of two cultivar of carrot (Supermuscade and Touchon), to evaluate the effect of storage for 12 days at 4 °C and cooking on the content of the antioxidant compounds and the antioxidant activity of the samples. The result obtained show that the amount of carotenoids, phenolic compounds, flavonoids are dependent on the cultivar and their geographic origin. The Touchon variety is the richer one and present the greater antiradicalair activity and reducing power. Storage increase the amount of phenolics, flavonoids and reducing power in the three simples analyzed, but the amount of carotenoids increase only in the samples of Supermuscade (Boumerdes and Biskra). An increase of the antioxidant activity during storage was constated in the samples of Supermuscade (Biskra) and Touchon. Steam cooking and boiling increase the total carotenoid content and reducing power. Either, the amount of phenolics, flavonoids and antiradicalair activity increase in the samples of Supermuscade originally of Boumerdes. However, a slight decrease of phenolic content after boiling was constated in Touchon cultivar. The analysis of water cooking show that thermal treatement promote the release of some antioxidant compounds (carotenoids, phenolics and flavonoids) in to water cooking and they are involved on their antioxidant activity.

Keywords: carrot, carotenoids, phenolics, flavonoids, antioxidant activity, storage, cooking, water cooking.

1. Introduction
 2. Matériels et Méthodes
 2.1. Matériel
 2.2. Méthodes
 2.2.1. Préparation des échantillons
 2.2.2. Dosage des polyphénols
 2.2.3. Dosage des flavonoïdes
 2.2.4. Dosage des caroténoïdes
 2.2.5. Mesure de l'activité antioxydante
 3. Résultats et Discussion
 3.1. Teneurs en polyphénols
 3.2. Teneurs en flavonoïdes
 3.3. Teneurs en caroténoïdes
 3.4. Activité antioxydante
 4. Conclusion
 5. Références Bibliographiques