

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

Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires

Mémoire

Présenté par : M^{elle} BOUROUF Alia

En vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Biologie
Option : Contrôle de qualité des aliments, certification et validation des méthodes.

Thème

**Etude comparative de l'activité antioxydante de
quelques herbes aromatiques**

Devant le jury :

Président : F. BENABDESSELAM

M. Conférences (UAMB)

Rapporteur : H. LOUAILECHE

Professeur (UAMB)

Examineurs : A. ZEBBOUDJ

M. Conférences (UAMB)

O. SENHADJI

M. Conférences (UAMB)

F. ZAIDI

M. Conférences (UAMB)

Année universitaire 2008-2009

Remerciements

J'exprime d'abord mes profonds remerciements et ma vive reconnaissance à madame le professeur H. LOUAILECHE pour avoir accepté de diriger mon travail, pour sa disponibilité, son aide précieuse, ses nombreux conseils et encouragements. Qu'elle trouve ici mes sentiments de gratitude et de déférence.

Je remercie Madame le Docteur F. BENABDESSELAM, Maître de conférences, à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université de Béjaia, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury et d'évaluer ce travail.

Mes remerciements vont aussi aux docteurs A. ZEBBOUDJ, F. ZAIDI, Maîtres de conférences, à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et au docteur O. SENHADJI, Maître de conférences, à la Faculté des Sciences de l'ingénieur de l'université de Béjaia pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je voudrais également remercier tous les membres du laboratoire de biochimie alimentaire en particulier Mr Bachir Bey M.

Mes remerciements vont à Mr Berri, Mr Chemini et Mr Zidi pour m'avoir aidé à cultiver les plantes étudiées.

Et enfin, je remercie toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je dédie ce modeste travail à mon mari, ma famille et ma belle famille. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude pour leur soutien tout au long de mon parcours.

Liste des abréviations

AA	acide ascorbique
CCM	chromatographie sur couche mince
DCPIP	2,6-dichlorophénolindophénol
ADHA	acide déshydroascorbique
DCG	dicétogulonate
DPPH•	2,2-diphényl-1-picryl hydrazyl
éq.	équivalent
EAA	équivalent acide ascorbique
EAG	équivalent acide gallique
EC	équivalent catéchine
EQ	équivalent quercétine
GSH	glutathion
HDL	high density lipoprotein
HPLC	high performance liquid chromatography
LDL	low density lipoprotein
MF	matière fraîche
MS	matière sèche
ROS	reactive oxygen species
RNS	reactive nitrogen species
UI	Unité Internationale
Vit C•	radical ascorbate
Vit E•	radical α -tocophéryl
VLDL	very low density lipoprotein

Glossaire

Alzheimer : maladie neurodégénérative à prédominance corticale qui touche en premier lieu les fonctions cognitives et se répercute sur le comportement et l'adaptation sociale des patients.

Antispasmodique : se dit des remèdes contre les spasmes (contractions involontaires d'un groupe musculaire).

Apoptose : mort instantanée des cellules.

Athérosclérose : affection dégénérative des artères, très répandue, associant les lésions de l'artériosclérose (durcissement de la paroi des artères) et de l'athérome (dégénérescence de la tunique interne des artères suite à un dépôt graisseux).

Cardiomyocyte : cellule cardiaque.

Carminatif : se dit des remèdes qui ont la propriété de résorber les gaz intestinaux.

Cataracte : maladie qui touche les yeux par formation d'une zone sombre ou opaque dans le cristallin troublant la vue.

Entérocyte : cellule intestinale.

Ischémie cérébrale : arrêt de la circulation sanguine dans le cerveau.

Thrombose : formation de caillots dans un vaisseau sanguin.

Métastases : cellules cancéreuses qui ont la propriété de se déplacer *via* la circulation sanguine et d'affecter les autres organes.

Scavenger : terme anglo-saxon signifiant piègeur.

Spasmolytique : synonyme de «Antispasmodique».

Vasodilatateur : substance qui augmente le calibre des vaisseaux sanguins.

Vermifuge : se dit des remèdes propres à faire évacuer les vers intestinaux.

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Oxydation de l'ascorbate (AH) en acide déshydroascorbique (ADHA)	7
2	Interaction entre la vitamine E et la vitamine C dans la cascade du recyclage des radicaux	8
3	Structures des caroténoïdes	10
4	Conformation schématique du β -carotène dans la membrane lipidique montrant que la molécule occupe une position dans le cœur hydrophobe de la membrane	11
5	Réaction d'oxydation des caroténoïdes et effet prooxydant	12
6	Voies impliquées dans l'absorption et le transport des caroténoïdes.	13
7	Structure de base des chlorophylles (a) et des phéophytines (b)	14
8	Structure de la chlorophylline cuivre-sodium	15
9	Structures chimiques des différentes classes de flavonoïdes	17
10	Chélation des métaux par les flavonoïdes	18
11	Structure des tannins hydrolysables : gallotannin (a) et éllagitannin (b)	21
12	Structure générale des proanthocyanidines et de la catéchine	22
13	Structure du cation flavylum	23
14	Dégradation de la quercétine par les entérobactéries	25
15	Morphologie des plantes aromatiques étudiées	27
16	Teneurs des herbes aromatiques en acide ascorbique	34
17	Teneurs des herbes aromatiques en caroténoïdes	35
18	Teneurs des herbes aromatiques en chlorophylles	37
19	Corrélation entre les caroténoïdes et les chlorophylles	37
20	Teneurs des herbes aromatiques en composés phénoliques : température ambiante	39
21	Teneurs des herbes aromatiques en composés phénoliques : 100°C	39
22	Corrélation entre les teneurs en polyphénols des extraits à température ambiante et des extraits à 100°C	41
23	Teneurs des herbes aromatiques en flavonoïdes : température ambiante	43
24	Teneurs des herbes aromatiques en flavonoïdes : 100°C	43

Suite :

25	Corrélation entre les teneurs en flavonoïdes dans les extraits à température ambiante et à 100°C	44
26	Teneurs des herbes aromatiques en flavonols : température ambiante.	46
27	Teneurs des herbes aromatiques en flavonols : 100°C	46
28	Corrélation entre les teneurs en flavonols des extraits à température ambiante et des extraits à 100°C	47
29	Teneurs des herbes aromatiques en tannins condensés: température ambiante	49
30	Teneurs des herbes aromatiques en tannins condensés: 100°C	49
31	Corrélation entre les teneurs en tannins condensés des extraits à température ambiante et des extraits à 100°C	50
32	Pouvoir réducteur des extraits d'herbes aromatiques : température ambiante	52
33	Pouvoir réducteur des extraits d'herbes aromatiques : 100°C	52
34	Corrélation entre le pouvoir réducteur des extraits à température ambiante et des extraits à 100°C	53
35	Inhibition du radical DPPH· par les extraits aqueux d'herbes aromatiques : température ambiante	55
36	Inhibition du radical DPPH· par les extraits aqueux d'herbes aromatiques : 100°C	55
37	Corrélation entre l'activité anti-radicalaire des extraits à température ambiante et des extraits à 100°C	57
38	Inhibition de la peroxydation de l'acide linoléique par les extraits obtenus à température ambiante	58
39	Inhibition de la peroxydation de l'acide linoléique par les extraits obtenus à 100°C	58
40	Corrélation entre les pourcentages d'inhibition de la peroxydation de l'acide linoléique des extraits à température ambiante et à 100°C	60

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
I	Utilisations médicales des plantes aromatiques étudiées	5
II	Les substituants des différentes anthocyanidines	23
III	Echantillons des herbes analysées	26
IV	Teneurs des herbes aromatiques en anthocyanines	51
V	Matrice de corrélation entre les teneurs en substances anti-oxydantes et l'activité anti-oxydante des extraits aqueux à température ambiante	63
VI	Matrice de corrélation entre les teneurs en substances anti-oxydantes et l'activité anti-oxydante des extraits aqueux à 100°C	64

Sommaire

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

Synthèse bibliographique

I- Présentation des herbes aromatiques étudiées.....	3
I.1- La coriandre.....	3
I.2- Le persil.....	3
I.3- Le basilic.....	3
I.4- La menthe.....	4
II- Le stress Oxydatif.....	4
III- Les antioxydants des herbes aromatiques.....	6
III.1- La vitamine C.....	6
III.1.1- Propriétés.....	7
III.1.2- Absorption intestinale de la vitamine C.....	9
III.2- Les caroténoïdes.....	9
III.2.1- Propriétés.....	11
III.2.2- Métabolisme.....	12
III.3- Les chlorophylles.....	13
III.3.1- Propriétés.....	14
III.3.2- Absorption intestinale de la chlorophylle et dérivés.....	15
III.4- Les composés phénoliques.....	16
III.4.1- Les flavonoïdes.....	16
III.4.1.1- Propriétés.....	17
III.4.2- Les flavonols, flavones, flavanes et dérivés.....	19
III.4.2.1- Propriétés.....	19
III.4.3- Les tannins.....	20
III.4.3.1- Propriétés.....	20
III.4.4- Les anthocyanines.....	22
III.4.5- Absorption intestinale et métabolisme des composés phénoliques.....	24

Matériel et méthodes

1. Echantillonnage.....	26
2. Dosage des antioxydants.....	26
2.1. Teneur en matière sèche.....	27
2.2. L'acide ascorbique.....	28
2.3. Les caroténoïdes.....	28
2.4. Les chlorophylles.....	28
2.5. Les composés phénoliques.....	29
2.5.1. Préparation des extraits.....	29
2.5.2. Les composés phénoliques totaux.....	29
2.5.3. Les flavonoïdes totaux.....	29
2.5.4. Les flavonols.....	29
2.5.5. Les tannins condensés.....	30
2.5.6. Les anthocyanines.....	30
3. Activité antioxydante.....	30
3.1. Pouvoir réducteur.....	30
3.2. Activité anti-radicalaire.....	31
3.3. Inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique.....	31
4. Analyse statistique.....	32

Résultats et discussion

1. Les antioxydants.....	33
1.1. L'acide ascorbique.....	33
1.2. Les caroténoïdes.....	34
1.3. Les chlorophylles.....	36
1.4. Les composés phénoliques totaux.....	38
1.4.1. Les flavonoïdes totaux.....	42
1.4.2. Les flavonols.....	44
1.4.3. Les tannins condensés.....	47

1.4.4. Les anthocyanines.....	50
2. Activité antioxydante.....	51
2.1. Pouvoir réducteur.....	51
2.2. Pouvoir anti-radicalaire.....	54
2.3. Inhibition de la peroxydation de l'acide linoléique.....	57
3. Corrélations entre les teneurs en antioxydants et l'activité antioxydante	60
Conclusion.....	65
Références bibliographiques.....	68
Annexes.	

Introduction

Introduction

Le processus d'oxydation est très important pour la survie des organismes, mais dans certains cas, les cellules sont exposées à un stress oxydatif qui est un déséquilibre entre la production des espèces réactives d'oxygène et/ou de nitrogène et le mécanisme de protection antioxydante (Kohen et Nyska, 2002). Les radicaux libres sont responsables de l'oxydation des biomolécules dont les protéines, les lipides et l'ADN (Halliwell et Chirico, 1993; Luo, 1996) engendrant ainsi l'altération et la mort des cellules.

Les récentes études épidémiologiques considèrent les fruits et légumes comme des aliments protecteurs vis-à-vis des radicaux libres et préventifs de plusieurs maladies liées au vieillissement (Manach *et al.*, 2005).

Durant les dernières années, les recherches se sont focalisées sur la mise en évidence des composés à activité antioxydante qui sont majoritairement des métabolites secondaires des végétaux supérieurs (Heller *et al.*, 1998). Parmi ces composés phytochimiques, les polyphénols ont reçu un intérêt grandissant à cause de leur propriétés antioxydante (Rice-Evans *et al.*, 1997), anticancérogène (Liu, 2004 ; Ross *et al.*, 2007), anti-inflammatoire (Hämäläinen *et al.*, 2007 ; Chien *et al.*, 2008) et de leur effet protecteur contre les maladies cardio-vasculaires (Zern et Fernandez, 2005).

Le régime alimentaire méditerranéen est caractérisé par l'utilisation des herbes aromatiques (Simopoulos, 2001) qui sont riches en antioxydants et en principes actifs dont les composés phénoliques, les caroténoïdes et les vitamines (Wargovich *et al.*, 2001).

La coriandre (*Coriandrum sativum*), le persil (*Petroselinum crispum*), le basilic (*Ocimum basilicum*) et la menthe (*Mentha spicata*) sont très consommés sous forme d'infusions ou comme condiments. Leur culture est répandue, principalement, dans les jardins et rarement à grande échelle. Ces herbes possèdent des propriétés thérapeutiques et ont été reconnues par l'*Institut Américain du Cancer* comme des agents préventifs du cancer (Craig, 1999).

Le but de notre étude est l'évaluation de l'apport en substances à activité antioxydante (acide ascorbique, caroténoïdes, chlorophylles, anthocyanines, composés phénoliques totaux, flavonoïdes, ...) et la détermination du potentiel antioxydant (pouvoir réducteur, activité antiradicalaire, inhibition de la peroxydation de l'acide linoléique) d'extraits aqueux d'échantillons de quatre herbes aromatiques (coriandre, persil, basilic et menthe) cultivées dans trois stations de la région de Béjaïa.

Dans le présent travail, trois parties seront développées :

- La première est une revue bibliographique dans laquelle sont présentés les plantes aromatiques étudiées ainsi que les antioxydants qu'elles renferment.
- La deuxième est consacrée à l'étude expérimentale, où sont présentées les différentes méthodes d'analyse des antioxydants et de l'activité antioxydante.
- La dernière partie comprend les résultats obtenus et leur discussion.

*Synthèse
bibliographique*

I- Présentation des herbes aromatiques étudiées

Les herbes aromatiques étudiées appartiennent à l'embranchement des Spermaphytes, division des Angiospermes, classe des Dicotylédones et à la famille des Ombellifères (ou Apiacées) pour les genres *Coriandrum* et *Petroselinum* et à la famille des Labiées (ou Lamiacées) pour les genres *Ocimum* et *Mentha* (Deysson, 1979).

I.1- La coriandre

Petite plante annuelle herbacée très cultivée dans la région méditerranéenne, la coriandre (*Coriandrum sativum* L.) peut atteindre 20 à 50 cm de hauteur, à feuilles divisées, à fleurs blanches ou rosées et à fruit globuleux (Pinkas *et al.*, 1986 ; Teuscher *et al.*, 2005). Les feuilles de la coriandre contiennent jusqu'à 87,9% d'eau, 3,3% de protéines, 0,6% de lipides, 6,5% de glucides et 1,7% de matière minérale. Quant aux graines mûres et sèches, elles renferment 6,3-8% d'humidité, 1,3% de protéines, 24% de glucides, 5,3% de matière minérale et 175UI de vitamine A (Sharma et Sharma, 2004).

I.2- Le persil

Le persil (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nym. ou *Petroselinum sativum* Hoffm) est originaire des pays méditerranéens. C'est une plante herbacée, très aromatique, de 20 à 40 cm de hauteur, à racine développée ; ses feuilles sont luisantes et longuement pétiolées ; ses fleurs sont de couleur vert jaunâtre et le fruit est globuleux (Pinkas *et al.*, 1986). Le persil est une bonne source de caroténoïdes (lutéine, néoxanthine et violaxanthine), de vitamines C (122 mg/100g) et A (23 340UI), de potassium (3805 mg/100g), de sodium (452 mg/100g), de calcium (1468 mg/100g), de fer (98 mg/100g) et de protéines (22,4 mg/100g) (Peter, 2004).

I.3- Le basilic

Originaire de l'Inde, le basilic (*Ocimum basilicum* L.) est facilement cultivé en climat méditerranéen ; il a des tiges rameuses, pourvues de nombreuses feuilles lancéolées et dentées, et de longs épis de fleurs blanc rosé (Bézanger-Beauquesne *et*

al., 1990). Le basilic est une source de vitamine A (9375 UI), d'acide ascorbique (61,2 mg/100g), de potassium (3433 mg/100g), de phosphore (490 mg/100g), de magnésium (422 mg/100g) et de calcium (2113 mg/100g) (Peter, 2004).

I.4- La menthe

La menthe verte (*Mentha spicata* L.) est un hybride à feuilles vert clair. Les menthes sont des plantes herbacées, à feuilles pétiolées ou sessiles, arrondies ou ovales, à fleurs de couleur mauve, rose ou blanche (Bézanger-Beauquesne *et al.*, 1990 ; Teuscher *et al.*, 2005). La menthe verte contient 3 g de protéines/100g, 8 g de glucides/100g et 7 g de fibres/100g (Vanier, 2006).

Quelques propriétés thérapeutiques des herbes aromatiques étudiées sont présentées dans le tableau I.

II- Le stress Oxydatif

Le stress oxydatif fait référence à l'exposition de l'organisme à une production incontrôlée des espèces réactives d'oxygène (Reactive Oxygen Species : ROS) et/ou des espèces réactives de nitrogène (Reactive Nitrogen Species : RNS) et à un déséquilibre du mécanisme de défense antioxydante (Kohen et Nyska, 2002). Le stress oxydatif est accru dans certains cas de pathologies comme le diabète (Dröge, 2002) et l'hépatite B (Bolukbas *et al.*, 2005), et suite à l'exposition aux métaux lourds (Valko *et al.*, 2006 ; Flora *et al.*, 2008), à la pollution de l'air (Kelly *et al.*, 2003) et aux radiations ultraviolettes (Mittal *et al.*, 2003). Le stress oxydatif est le responsable principal du mécanisme de vieillissement et de plusieurs maladies dont les cancers (Saintot *et al.*, 1996), les maladies cardiovasculaires (Ceconi *et al.*, 2003 ; Fukuda *et al.*, 2005), l'athérosclérose (Siekmeier *et al.*, 2007), la maladie d'Alzheimer (Zana *et al.*, 2007), etc.

Les ROS sont les produits de la réduction de l'oxygène (Heller *et al.*, 1998) selon les réactions:

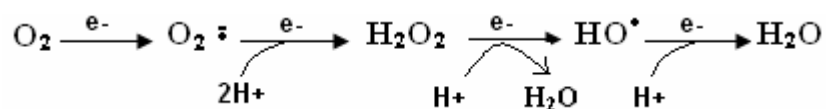


Tableau I: Utilisations médicales des herbes aromatiques étudiées.

Plante	Propriétés thérapeutiques	Références
Coriandre	<p>Action antispasmodique et carminative grâce à son huile essentielle riche en linalol.</p> <p>Activités antidiabétique et anti-hyperglycémique.</p> <p>La poudre des graines est vermifuge et entre dans la composition de pommades contre les rhumatismes et les douleurs articulaires.</p> <p>Contre les fièvres et les troubles digestifs.</p>	<p>Bruneton (1999)</p> <p>Gray et Flatt (1999)</p> <p>Wichtl et Anton (2003)</p> <p>Sharma et Sharma (2004)</p>
Persil	<p>L'huile essentielle renferme des vasodilatateurs dont l'apiol et la myristicine.</p> <p>Stimule l'activité des enzymes antioxydantes.</p> <p>Hypoglycémiant.</p> <p>Très tonifiant du foie et aide à solubiliser les calculs rénaux.</p> <p>Anti-histaminique, utilisé dans le traitement des allergies.</p>	<p>Bézanger-Beauquesne <i>et al.</i> (1990); Zhang <i>et al.</i> (2006)</p> <p>Nielsen <i>et al.</i> (1999).</p> <p>Yanardağ <i>et al.</i> (2003)</p> <p>Charles (2004)</p>
Basilic	<p>Agit contre les maux d'estomac, les coliques et les indigestions.</p> <p>Action vermifuge ; agit contre les troubles nerveux (épilepsie et migraines).</p> <p>Les extraits aqueux contribuent à diminuer l'agrégation plaquettaire.</p> <p>Le linalol de son huile essentielle agit contre les dommages du stress oxydatif sur l'ADN.</p>	<p>Bruneton (1999)</p> <p>Encyclopédie des plantes médicinales (2001)</p> <p>Tohti <i>et al.</i> (2006)</p> <p>Berić <i>et al.</i> (2008)</p>
Menthe	<p>Ses flavonoïdes ont des effets spasmolytiques et carminatifs.</p> <p>Le menthol de son huile essentielle est responsable de l'action antiseptique, et atténue la douleur.</p>	<p>Bézanger-Beauquesne <i>et al.</i> (1990)</p> <p>Wichtl et Anton (2003) ;</p> <p>Marzouk <i>et al.</i> (2008)</p>

Les ROS incluent les radicaux libres tels que l'anion superoxyde ($\text{O}_2^{\cdot-}$), le radical hydroxyle ($\text{HO}\cdot$) et les espèces non radicalaires telles que le peroxyde d'hydrogène et l'oxygène singulet ($^1\text{O}_2$). Elles sont responsables de la peroxydation des lipides membranaires (Halliwell et Chirico, 1993), des dommages de l'ADN (Luo, 1996 ; Bhattacharya *et al.*, 2007) et des protéines (Stadtman et Berlett, 1991).

A l'effet des ROS vient s'ajouter celui des espèces réactives d'azote (RNS), tels que l'oxyde nitrique ($\cdot\text{NO}$), qui est un radical libre et l'anion peroxyde nitrite (ONOO^-), qui est un puissant oxydant (Fukuto *et al.*, 2000 ; Ricciardolo *et al.*, 2004). Les RNS réagissent avec les protéines, les lipides et l'ADN (Ischiropoulos et Thom, 2000) et sont impliqués dans plusieurs pathologies dont l'ischémie cérébrale (Kirsch *et al.*, 2000), l'inflammation de l'appareil gastro-intestinal (Tepperman et Whittle, 2000) et le cancer des poumons (Ricciardolo *et al.*, 2004).

Une série de mécanismes de défenses intervient lors de l'exposition de l'organisme aux radicaux libres:

➤ La défense antioxydante non enzymatique qui inclue les antioxydants préventifs inhibiteurs de la production des radicaux libres, comme les thiols (glutathion, acides aminés soufrés), les carotènes, l'acide ascorbique, l' α -tocophérol et les flavonoïdes (Clarkson et Thompson, 2000 ; Ziccarelli et Basu, 2003 ; Valko *et al.*, 2007).

➤ La défense antioxydante enzymatique qui inclue la superoxyde dismutase (SOD), les glutathion peroxydases (GPx) et la catalase (Valko *et al.*, 2006).

III- Les antioxydants des herbes aromatiques

III.1- La vitamine C

La vitamine C ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) appartient à la classe des vitamines hydrosolubles ; c'est un mélange de deux molécules : l'acide déshydroascorbique (ADHA) ou 2,3-acide hexodiulosonique- γ -lactone, qui est la forme oxydée, et l'acide ascorbique (AA) ou L-3-céto-acide hexuronique- γ -lactone, la forme réduite (Deutsch, 2000 ; Belitz *et al.*, 2004).

Les herbes aromatiques sont une source de vitamine C. Les feuilles de la coriandre renferment jusqu'à 42 mg/100g, 7 fois plus que la menthe verte (Agte *et*

al., 2000). Une concentration de 257 mg de vitamine C/100g a été détectée dans le persil (Lisiewska et Kmiecik, 1997).

III.1.1- Propriétés

a. Activités antioxydante et prooxydante

La réaction de conversion de l'AA en ADHA peut potentiellement augmenter la réduction ou l'oxydation dans un système. Bien que l'AA soit la molécule la plus réduite de la paire AA/ADHA (Deutsch, 2000), l'ADHA peut aussi avoir une activité antioxydante (Cameron *et al.*, 1979). Sous les conditions du stress oxydatif, l'ADHA, après hydrolyse en dicétogulonate (DCG), est irréversiblement utilisé, durant des décarboxylations oxydatives, dans l'objectif d'éliminer les espèces oxygénées toxiques (Deutsch, 2000).

En donnant des électrons, la vitamine C est oxydée (AH⁻) (figure 1), alors qu'une autre substance ou oxydant est réduit ; la forme radicalaire intermédiaire de la vitamine C, le radical semi-déshydroascorbique (A^{•-}), n'est pas réactive comparée aux autres radicaux libres (Levine *et al.*, 1995).

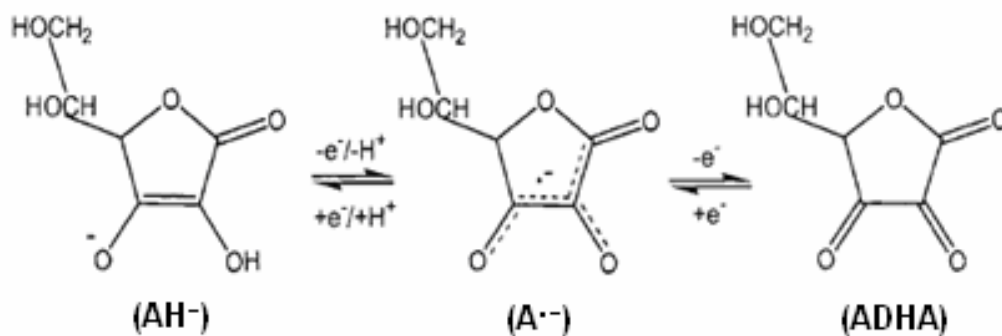


Figure 1: Oxydation de l'ascorbate (AH⁻) en acide déshydroascorbique (ADHA)
(Carr et Frei, 1999a)

L'acide ascorbique est un puissant antioxydant agissant dans les environnements aqueux de l'organisme. Il travaille en partenariat avec la vitamine E, les caroténoïdes et les enzymes antioxydantes. La vitamine C coopère avec la vitamine E (figure 2) contre les radicaux lipidiques et régénère l' α -tocophérol (vit E) à partir du radical α -tocophéryl (vit E[•]) dans les membranes et les lipoprotéines (Valko *et*

al., 2006). Cependant, *in vitro*, en présence de métaux, l'acide ascorbique peut agir en tant que prooxydant. Selon les résultats de Suh *et al.* (2003), l'ascorbate n'a pas une action prooxydante sur les protéines du plasma humain *in vitro*, et ce même sous les conditions du système de Udenfriend (peroxyde d'hydrogène, métal de transition et ascorbate), un mélange prooxydant générant le radical hydroxyle ($\bullet\text{OH}$). Néanmoins, *in vivo*, le rôle antioxydant de la vitamine C prédomine sur son éventuelle activité prooxydante car les métaux de transition se trouvent complexés aux protéines (Carr et Frei, 1999b).

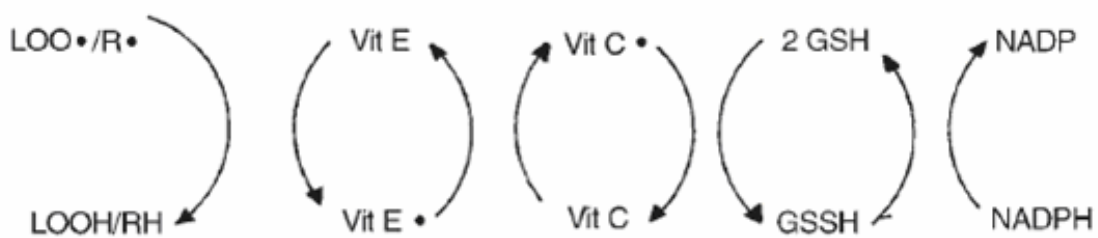


Figure 2: Interaction entre la vitamine E et la vitamine C dans la cascade du recyclage des radicaux. GSH : glutathion ; $\text{LOO}\bullet$ et $\text{R}\bullet$: radicaux (Hässig *et al.*, 1999).

b. Propriété anticancérigène

Le rôle de l'AA dans la prévention des maladies est probablement dû à sa propriété anti-radicalaire dans les systèmes biologiques. Le cancer, maladie due à une prolifération cellulaire incontrôlée, peut être initié par l'oxydation et par les dommages causés par les radicaux libres sur l'ADN et les cellules ; l'AA peut agir contre ces dommages et semble contribuer à l'activité des extraits de fruits et légumes (Block, 1993).

Selon les résultats des études épidémiologiques rapportées par Block (1991), il existe une relation significative entre l'activité protectrice de la vitamine C et la diminution du risque des cancers (poumons, seins, colon), mais cette association n'est pas retrouvée dans le cas du cancer des ovaires ou de la prostate.

La carence en vitamine C conduit à long terme au développement des tumeurs. Selon Irwin et Hutchins (1976) et Cameron *et al.* (1979), le scorbut est un syndrome de la désintégration des tissus qui mène à l'ulcération, à des hémorragies interstitielles et particulièrement à la prolifération des cellules non différenciées.

c. Vitamine C et maladies cardiovasculaires

La vitamine C est présente dans le fluide extracellulaire de la paroi artérielle, où, elle inhibe l'oxydation des LDL (lipoprotéines à basse densité) et augmente le potentiel antioxydant des cellules, menant ainsi à la stabilisation de la fonction vasculaire chez les patients atteints de maladies coronariennes et artérielles et exposés aux facteurs de risque tels que l'hypercholestérolémie, l'hypertension et le diabète (Frei, 1999). Selon Loria *et al.* (2000), une faible concentration en acide ascorbique dans le sérum des hommes adultes est directement liée aux taux de mortalité due aux maladies cardio-vasculaires et aux cancers. Par contre, cette concentration n'est pas liée à la mortalité chez les femmes.

III.1.2- Absorption intestinale de la vitamine C

Le flux de la vitamine C de part et d'autre de la cellule intestinale est contrôlé par des mécanismes spécifiques, incluant la diffusion facilitée et le transport actif, qui nécessitent des classes distinctes de protéines membranaires dont les transporteurs de glucose (requière l'oxydation extracellulaire de l'AA en ADHA, qui une fois acheminé dans la cellule sera réduit en ascorbate) et les co-transporteurs sodium-vitamine C (l'excès de sodium est exporté via la pompe « ATPase » en échange du potassium) (Li et Schellhorn, 2007).

Les résultats de Stevenson et Brush (1969) démontrent que l'AA, forme mobile de la vitamine C, est absorbé dans l'intestin par transport actif, le cas des cochons cobayes. Selon Naidu (2003), 80-90% de l'AA (si la dose est de 100mg/jour) sont absorbés. Cependant, si la dose dépasse 500 mg/jour, le surplus est rapidement éliminé. La demi-durée de vie de l'AA dans l'organisme d'un adulte est de 10-20 jours.

III.2- Les caroténoïdes

Ce sont des pigments synthétisés par les plantes et certains micro-organismes. Ils sont classés en *carotènes* (lycopène, β -carotène, ...) et en *xanthophylles* (lutéine, zéaxanthine, ...) (figure 3).

La coriandre est connue pour sa richesse en caroténoïdes avec une teneur de 54 mg/100g, dont 61 % de β -carotène (Guerra *et al.*, 2005). Une teneur de 58mg/100g a été obtenue dans le cas de la menthe poivrée (Capecka *et al.*, 2005). Pour le basilic, les teneurs en caroténoïdes (β -carotène, lutéine et zéaxanthine) varient de 11,63 à 16,59 mg/100g (Kopsell *et al.*, 2005). Lisiewska et Kmiecik (1997) rapportent une concentration de 9,4 mg de β -carotène/100g de persil.

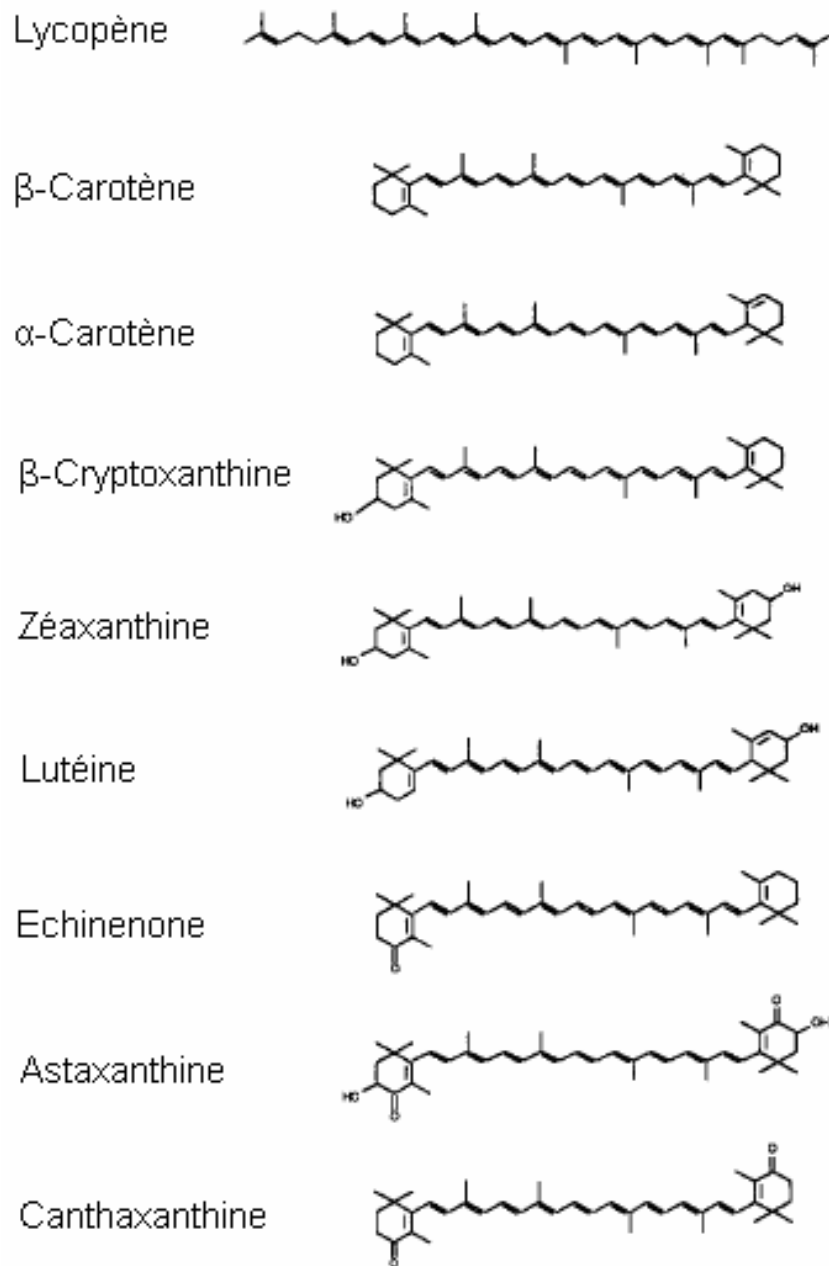


Figure 3: Structures des caroténoïdes (Miller *et al.*, 1996).

III.2.1- Propriétés

a. Propriétés antiradicalaire et antioxydante

Parmi les plus importantes propriétés physico-chimiques des caroténoïdes, figurent leur liaison aux surfaces hydrophobes (figure 4), leur capacité à bloquer les radicaux libres médiateurs de réactions (Rodriguez-Amaya, 1997) et à «quencher» l'oxygène singulet (Miller *et al.*, 1996 ; Edge *et al.*, 1997).

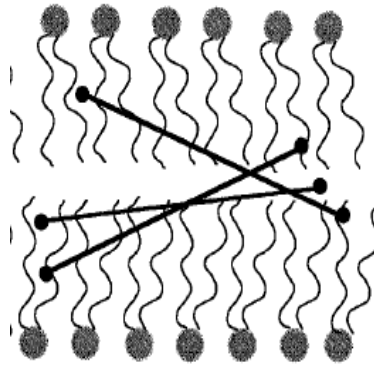


Figure 4: Conformation schématique du β -carotène dans la membrane lipidique montrant que la molécule occupe une position dans le cœur hydrophobe de la membrane (Young et Lowe, 2001).

Les caroténoïdes jouent un rôle important dans la protection des membranes cellulaires et des lipoprotéines contre les dommages oxydatifs (Stahl et Sies, 2003) en réagissant avec les radicaux peroxydes générés par le processus de peroxydation des lipides (El-Agamey *et al.*, 2004) et ce par trois mécanismes :



Il existe une véritable coopération entre les différents antioxydants dans la défense contre le stress oxydatif : le β -carotène régénère le tocophérol à partir du radical tocophéroxyle ; le radical caroténoïde est ensuite régénéré à son tour par la vitamine C (Edge *et al.*, 1997). Une interaction coopérative a été mise en évidence entre le β -carotène et l' α -tocophérol dans un modèle membranaire ; la combinaison

des deux antioxydants lipophiles augmente l'inhibition de la peroxydation des lipides (Stahl et Sies, 2003).

Plusieurs publications démontrent qu'il existe une relation inverse entre la consommation de caroténoïdes et le risque de cancers des poumons (Michaud *et al.*, 2000 ; Holick *et al.*, 2002), du colon (Slattery *et al.*, 2000) et de la prostate (Vogt *et al.*, 2002).

b. Activité prooxydante

Sous des conditions spécifiques, une pression d'oxygène élevée, les caroténoïdes peuvent agir en tant que prooxydants (Lowe *et al.*, 2003). En effet, les radicaux caroténoïde (CAR[•]) et peroxy-caroténoïde (ROOCAR[•]) induisent à leur tour l'oxydation des lipides (LH) (figure 5). Une telle propriété a été constatée *in vitro* et reliée aux effets adverses de doses élevées en β-carotène (Young et Lowe, 2001 ; El-Agamey *et al.*, 2004 ; Stahl et Sies, 2005).

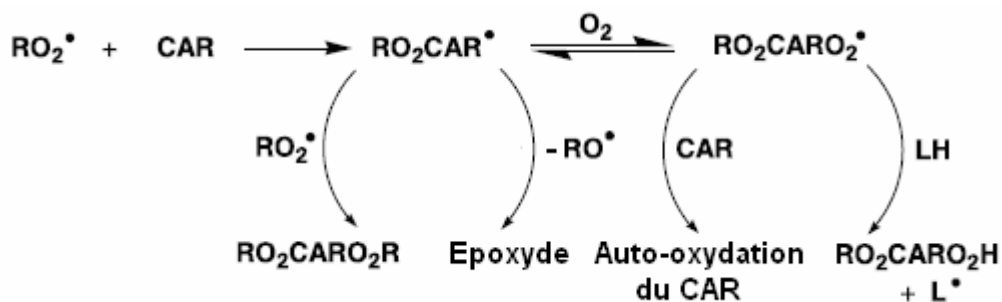


Figure 5: Réaction d'oxydation des caroténoïdes et effet prooxydant (El-Agamey *et al.*, 2004).

III.2.2- Métabolisme

L'absorption des caroténoïdes est influencée par plusieurs facteurs tels que la quantité, leur structure, la présence de phospholipides (Sugawara *et al.*, 2001 ; Chitchumroonchokchai *et al.*, 2004) et de fibres dans l'aliment (Riedl *et al.*, 1999). Le transport des caroténoïdes et de leurs métabolites (rétinol ou ester de rétinol) (Hébuterne *et al.*, 1995) est assuré par leur incorporation à des protéines (chylomicrons) *via* la circulation lymphatique (figure 6) ; les chylomicrons sont ensuite partiellement hydrolysés sous l'action de la lipoprotéine lipase et les caroténoïdes

sont transférés aux LDL (lipoprotéines à basse densité), HDL (lipoprotéines à haute densité) ou VLDL (lipoprotéines à très basse densité) *via* la circulation sanguine (Novotny *et al.*, 1995).

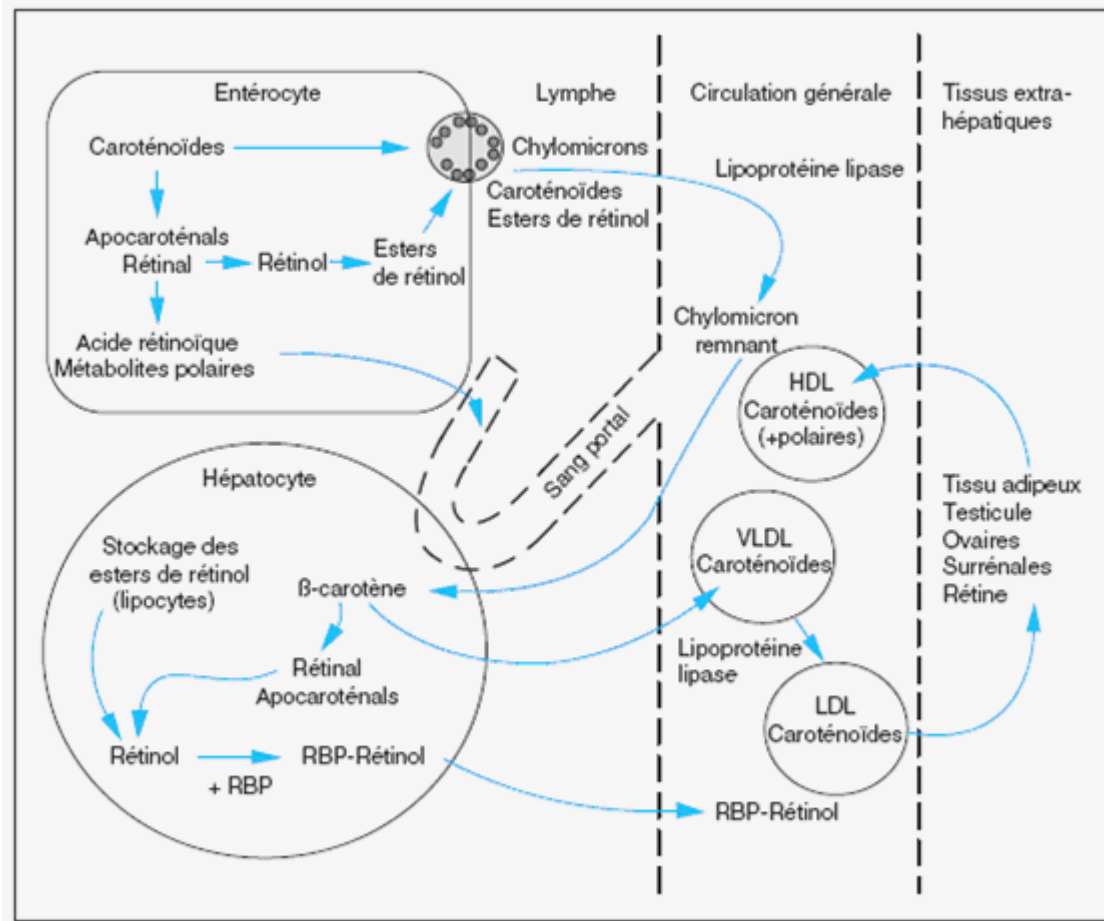


Figure 6: Voies impliquées dans l'absorption et le transport des caroténoïdes.

HDL : lipoprotéine à haute densité ; LDL : lipoprotéines à basse densité ; VLDL : lipoprotéines à très basse densité ; RBP : retinol binding protein (Borel *et al.*, 2005).

III.3- Les chlorophylles

Les chlorophylles (figure 7), faisant partie de la famille des tetrapyrroles, sont constituées d'une chlorine (4 noyaux de pyrroles en cercle) chélatant un atome de magnésium au centre. L'acide propionique occupe la position 17; la position 17³ est estérifiée par un alcool à longue chaîne le « phytol » qui confère à la molécule son hydrophobicité. La chlorophylle *b* diffère de la chlorophylle *a* par la présence d'un résidu aldéhyde à la place du groupement méthyle à la position 7 (Heller *et al.*, 1998).

Les chlorophylles sont susceptibles d'être dégradées par plusieurs réactions chimiques et enzymatiques. Parmi les produits de dégradation, les phéophytines (couleur jaunâtre et sans magnésium dans le cercle porphyrinique), qui apparaissent sous l'effet du pH ou de la chaleur (Koca *et al.*, 2006).

Les herbes aromatiques sont une source de chlorophylles. Les teneurs pour le persil varient de 68,5 à 203 mg/100g (Lisiewska et Kmiecik, 1997). Pour le basilic, des concentrations allant de 148,7 à 229,9 mg/100g ont été enregistrées par Kopsell *et al.* (2005).

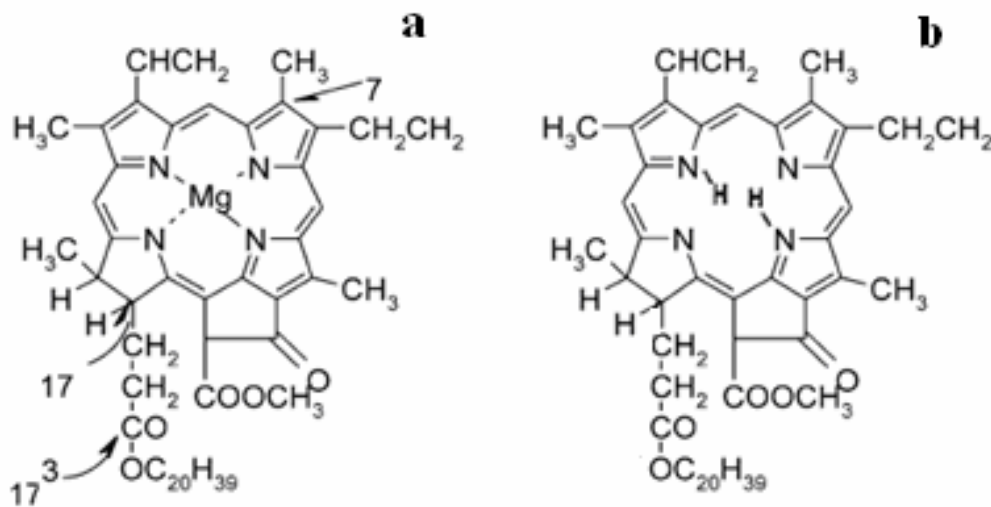


Figure 7: Structure de base des chlorophylles (a) et des phéophytines (b)
(Schoefs, 2002).

III.3.1- Propriétés

a. Activité antioxydante

La chlorophylline, un analogue structural des chlorophylles (de Vogel *et al.*, 2005), est une molécule hydrosoluble et semi-synthétique (Fahey *et al.*, 2005) formée par saponification des chlorophylles (Egner *et al.*, 2003), inhibe les enzymes responsables de l'activation des carcinogènes, induit la détoxification enzymatique, joue le rôle de « scavenger » *in situ* vis-à-vis des carcinogènes et a une activité antioxydante (Simonich *et al.*, 2008). Les résultats de Kumar *et al.* (2004) montrent que la chlorophylline inhibe la peroxydation lipidique et les ROS dans les lymphocytes les protégeant ainsi contre le stress oxydatif.

b. Propriété anticancérigène

Les chlorophylles et leurs dérivés dont la chlorophylline, peuvent empêcher certains produits chimiques d'endommager l'ADN, de causer des inflammations de la peau et d'initier ou de stimuler la progression des cancers (Park *et al.*, 2003). Les chlorophyllines agissent comme un intercepteur formant un complexe moléculaire avec les composés aromatiques aliphatiques y compris les hépato-carcinogènes potentiels tels que l'aflatoxine B₁ et le dibenzo-pyrène (Reddy *et al.*, 1999 ; Egner *et al.*, 2003 ; Simonich *et al.*, 2008) réduisant ainsi leur biodisponibilité.

III.3.2- Absorption intestinale des chlorophylles et dérivés

Les chlorophylles ingérées avec les aliments sont dégradées sous l'action du suc gastrique en phéophytines, qui en présence des sels biliaires et des lipides, forment des micelles qui seront absorbées au niveau des entérocytes. Par contre, la chlorophylline cuivre-sodium (figure 8), est directement transférée à la phase aqueuse du digestat, donc son association aux sels biliaires et aux lipides n'est pas requise. La molécule et/ou ses dérivés sont absorbés par un transport facilité au niveau des entérocytes où ils y sont accumulés ou transportés vers le lumen. Le métabolisme des chlorophylles et de la chlorophylline ainsi que leur passage *via* la circulation sanguine restent inconnus (Ferruzzi et Blakeslee, 2007).

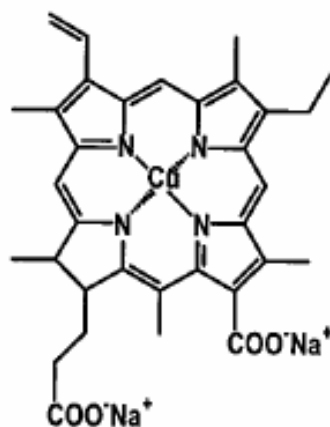


Figure 8: Structure de la chlorophylline cuivre-sodium (Ferruzzi *et al.*, 2002).

III.4- Les composés phénoliques

Les polyphénols peuvent être divisés au moins en 10 types selon leur structure de base ; les phénols simples, les acides phénoliques, les coumarines, les isocoumarines, les naphthoquinones, les xanthones, les stilbènes, les anthraquinones, les flavonoïdes et les lignines (Rhodes, 1998). Les polyphénols prédominants dans les végétaux supérieurs sont les flavones et les flavonols (le plus souvent sous forme O-hétérosides) qui sont rencontrés dans les fleurs et les feuilles des plantes vertes, les conjugués hydroxycinnamiques et les tannins condensés dans les feuilles et les autres tissus, ainsi que les anthocyanines dans les fleurs (Strack, 1997).

Les herbes aromatiques sont une source de composés phénoliques. Kaur et Kapoor (2002) ont rapporté une teneur de 399,8 mg/100g pour la menthe verte et seulement 82,5 mg/100g, pour la coriandre. Les graines de la coriandre sont également riches en polyphénols (150 mg/100g) (Wangensteen *et al.*, 2004). Hinneburg *et al.* (2006) indiquent que les extraits aqueux du basilic et du persil renferment 14700 et 2920 mg de composés phénoliques/100g, respectivement.

III.4.1- Les flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent la classe des polyphénols la plus importante avec plus de 5000 composés identifiés. Ils sont classés en cinq groupes : les flavones (apigénine, chrysin, lutéoline), les flavonols (kaempférol, myricétine, rutine, quercétine), les flavanones (hespéritine, naringénine, taxifoline), les catéchines (catéchine, épicatechine, épigallocatechine gallate) et les anthocyanidines (cyanidine, malvidine, pétonidine, ...) (Hollman et Katan, 1999 ; Nijveldt *et al.*, 2001).

Les flavonoïdes (figure 9) sont constitués de deux cycles benzéniques A et B reliés par un noyau pyrane (C). Ils diffèrent dans l'arrangement des groupements hydroxyles, méthyles, des unités glycosidiques et dans la conjugaison entre les cycle A et B (Ribéreau-Gayon, 1968 ; Hammerstone *et al.*, 2000).

Plusieurs études rapportent la richesse des herbes aromatiques en flavonoïdes. Le persil (*Petroselinum hortensis*) renferme une teneur de 52,2 mg/100g, 4

fois moins que celle du basilic (Ninfali *et al.*, 2005). Les flavonoïdes représentent 50% des composés phénoliques de la menthe verte avec une teneur de 1350 mg/100g (Kanatt *et al.*, 2007).

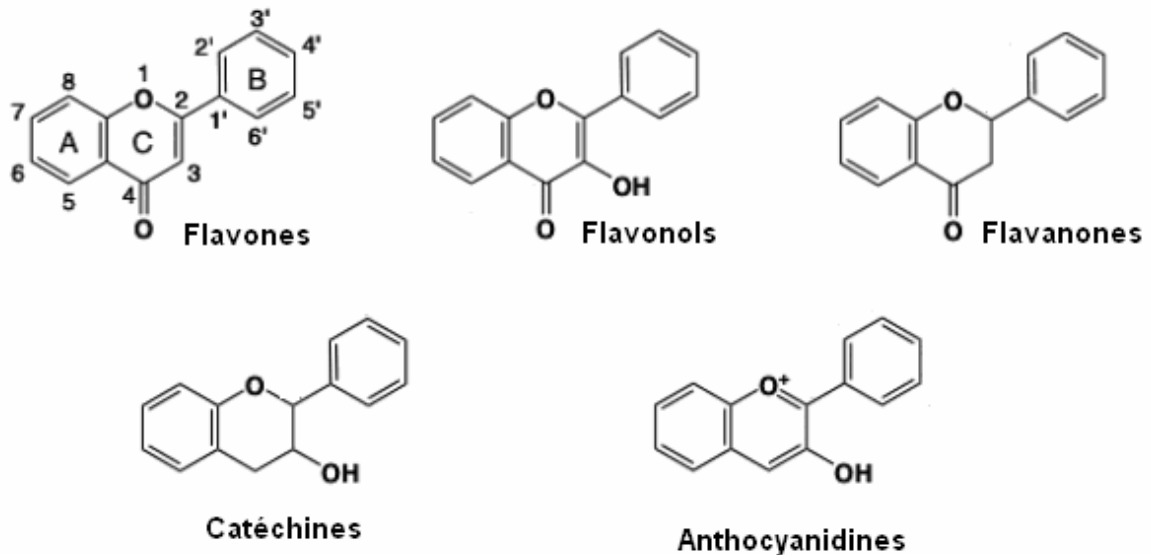


Figure 9: Structures chimiques des différentes classes de flavonoïdes (Hollman et Katan, 1999).

III.4.1.1- Propriétés

a. Activité antioxydante

Les flavonoïdes peuvent avoir un effet additif à l'activité des antioxydants endogènes et dans certains cas augmenter leur fonction (Nijveldt *et al.*, 2001). L'action des flavonoïdes sur les radicaux libres peut être expliquée par la réaction : flavonoïde (OH) + R• → flavonoïde (O•) + RH.

Selon Pietta (2000), les flavonoïdes inhibent les enzymes responsables de la production d'anions superoxydes (xanthine oxydase). Ils inhibent aussi la monoxygénase microsomale, la glutathion S-transférase, la succinoxydase mitochondriale et la NADH oxydase, toutes impliquées dans la génération d'espèces oxygénées. Certains flavonoïdes dont la quercétine et le kaempférol, chélatent efficacement les traces de métaux (figure 10), qui sont responsables de la formation des radicaux libres, tels que le radical hydroxyle, hautement agressif. Maher et Hanneken (2005)

et Hanneken et ses collaborateurs (2006) indiquent que des flavonoïdes notamment la quercétine, peuvent protéger les cellules rétiniennes, du stress oxydatif.

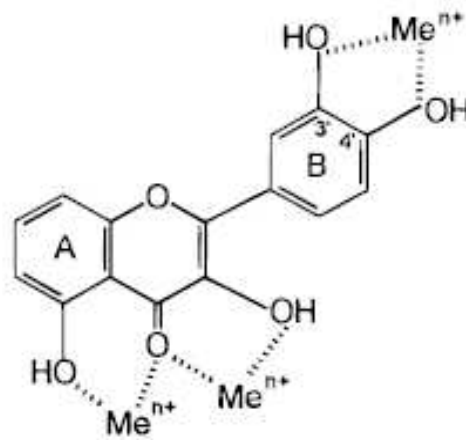


Figure 10: Chélation des métaux par les flavonoïdes (Pietta, 2000).

L'activité antioxydante des flavonoïdes dépend de l'arrangement et du nombre des groupements fonctionnels. La présence du groupement hydroxyle dans la position 3 de l'hétérocycle (C) contribue à cette activité en permettant la conjugaison entre les cycles aromatiques (Heim *et al.*, 2002) et la chélation des métaux (Ribéreau-Gayon, 1968). La présence de la double liaison entre les positions 2 et 3 permet également la conjugaison entre les cycles A et B, ce qui engendre un effet de résonance du noyau (C) stabilisant ainsi le radical flavonoïde (Heim *et al.*, 2002). En outre, l'activité antioxydante des flavonoïdes aglycones est plus élevée que celle des glycosides correspondants (Rice-Evans *et al.*, 1997).

b. Protection des lipoprotéines à basse densité

En inhibant les radicaux libres et les enzymes hydrolytiques et oxydatives (phospholipase A₂, lipooxygénase, cyclooxygénase) (Middleton *et al.*, 2000), les flavonoïdes ont un effet protecteur sur les lipoprotéines à basse densité (LDL) (Hollman et Katan, 1999 ; Auger *et al.*, 2004 ; Goupy *et al.*, 2007) ; de ce fait, ils ont une action préventive contre l'athérosclérose et la thrombose (Frankel, 1999 ; Aviram, 2004). Les individus hypercholestérolémiant sont sujets à un stress oxydatif plus élevé et requièrent des doses importantes en flavonoïdes afin de diminuer le degré d'oxydation des LDL (Frankel, 1999).

III.4.2- Les flavonols, flavones, flavanes et dérivés

Parmi les flavonols, la quercétine, est le composé phénolique le plus répandu dans la nature (Hollman *et al.*, 1996). Les flavanonols, ou dihydro-2,3-flavonols, dérivent des flavonols par hydrogénation de la double liaison 2-3 ; ils se rencontrent essentiellement associées aux tannins. Quant aux flavones, l'apigénine et la lutéoline sont des constituants assez fréquents dans les angiospermes. Les flavanes comme la catéchine, interviennent dans la constitution des tannins condensés, et se trouvent dans la nature sous forme d'aglycones, le plus souvent polymérisés, alors que les flavonols et les flavones sont toujours sous forme hétérosidique, en position 3 et 7 respectivement (Ribéreau-Gayon, 1968).

Les flavonoïdes du persil sont essentiellement des flavones dont l'apigénine (510-630 mg/100g). La coriandre est une source de quercétine (5 mg/100g) et la menthe est riche en apigénine (18-99 mg/100g) et en lutéoline (11-42 mg/100g) (Justesen et Knuthsen, 2001).

III.4.2.1- Propriétés

a. Propriétés antioxydantes et anticancérigènes

Les flavones et les catéchines sont les substances les plus puissantes dans la protection de l'organisme vis-à-vis des espèces oxygénées (Nijveldt *et al.*, 2001). Ballester *et al.* (2006) rapportent que les flavonoïdes, en particulier les isoflavones et les flavonols, inhibent *in vitro* la production de l'oxyde nitrique responsable des inflammations. Cette propriété anti-inflammatoire est également rapportée par Hämäläinen *et al.* (2007). Les flavonoïdes tels que la quercétine, protègent les cellules des dommages induits par le stress oxydatif mais causent eux-mêmes ces dommages en absence de stress (Kaindl *et al.*, 2008).

Les flavones inhibent la prolifération des cellules tumorales du colon humain et exercent un effet sur l'expression des gènes responsables de l'apoptose, de la différenciation et de la prolifération des cellules (Wenzel *et al.*, 2000). La consommation de flavonols, en particulier le kaempférol, est fortement associée à la diminution du risque de cancer du pancréas chez les sujets à risque (Nöthlings *et al.*, 2007). Cependant, quelques flavonoïdes, principalement des flavonols, ont montré,

in vitro, un effet mutagène (test d'Ames) et cancérigène (Suschetet *et al.*, 1996 ; Skibola et Smith, 2000).

b. Prévention des maladies cardiovasculaires

Selon Hertog (1998), les flavonols, en particulier la quercétine, interviennent dans la prévention des risques liés aux maladies cardiovasculaires. Erdman *et al.* (2007) rapportent également l'effet protecteur des flavonols et des isoflavones, vis-à-vis des maladies cardiovasculaires et coronariennes. Les résultats de Lin *et al.* (2007) montrent que la consommation du kaempférol par les femmes ménopausées entraîne une diminution efficace du risque de maladies coronariennes. Cependant, les auteurs n'ont obtenu aucune association entre la consommation de flavonols et de flavones et la diminution de la mortalité par les maladies coronariennes.

III.4.3- Les tannins

Selon la structure des molécules, on distingue les tannins hydrolysables et les tannins condensés ou proanthocyanidines. Les tannins hydrolysables font intervenir des liaisons de type ester et donnent par hydrolyse une fraction glucidique et une fraction phénolique constituée des acides gallique (gallotannin) ou éllagique (éllagitanin) (figure 11) (Ribéreau-Gayon, 1968 ; Hagerman, 2002). Quant aux tannins condensés (figure 12), ce sont des oligomères et des polymères d'unités de flavan-3-ol (catéchine) (Ribéreau-Gayon, 1968 ; Strack, 1997). La présence de proanthocyanidines a été rapportée dans plusieurs plantes aromatiques dont le romarin (Okuda, 1999) et l'origan (253mg/100g) (Škerget *et al.*, 2005).

III.4.3.1- Propriétés

a. Propriété anticancérigène

Les résultats de Mittal *et al.* (2003) montrent que l'alimentation des cobayes avec des proanthocyanidines prévient les cancers de la peau induits par les radiations ultraviolettes (UVB). Les proanthocyanidines inhibent les dommages dus aux UVB sur l'ADN et l'oxydation des lipides. Ces auteurs indiquent que les proanthocyanidines diminuent le taux des acides gras (acide arachidonique) dans les

phospholipides du derme ou de l'épiderme, réduisant ainsi la concentration en prostaglandines impliquées dans la carcinogénèse. Ceci est confirmé par les résultats de Sharma *et al.* (2007). Les auteurs indiquent également que les proanthocyanidines protègent la peau du stress oxydatif induit par les UVB et qui mène à la production, par les cellules épidermiques, des ROS inducteurs de tumeurs. La propriété anticancérigène des proanthocyanidines a été testée, *in vitro*, sur la viabilité des cellules métastatiques du cancer des seins. Mantena et ses collaborateurs (2006) rapportent que les tannins condensés inhibent la progression des tumeurs et induisent l'apoptose des métastases.

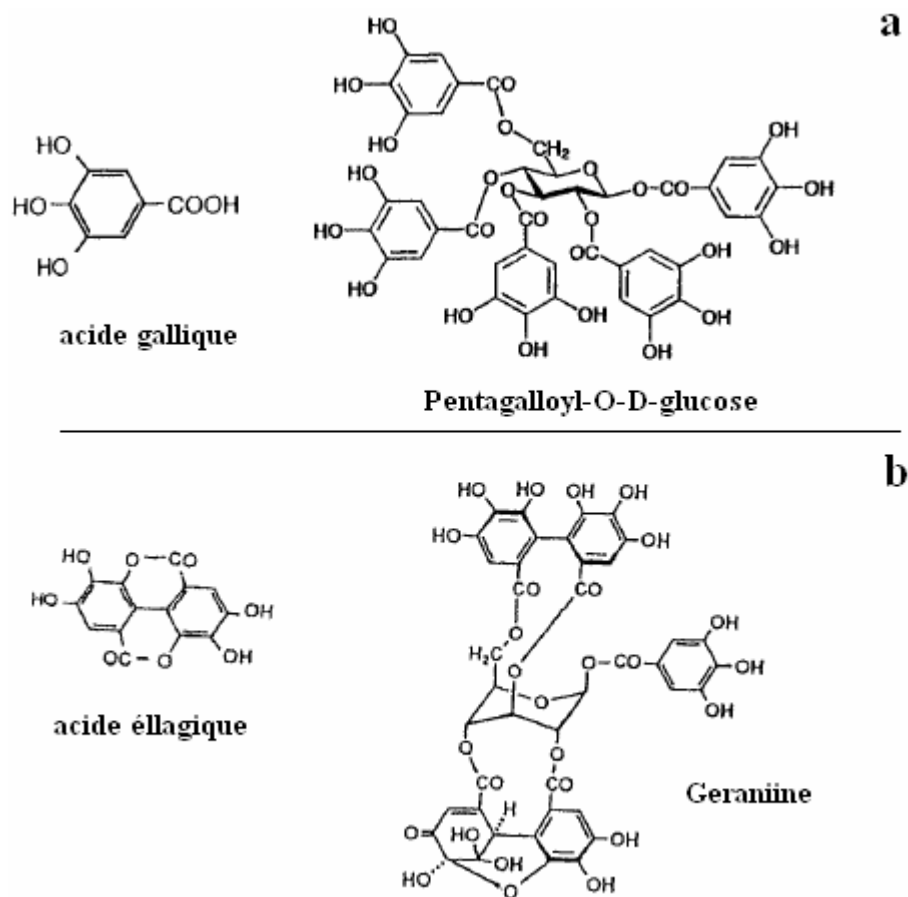


Figure 11: Structure des tannins hydrolysables : gallotannin (a) et éllagitannin (b) (Okuda, 1999).

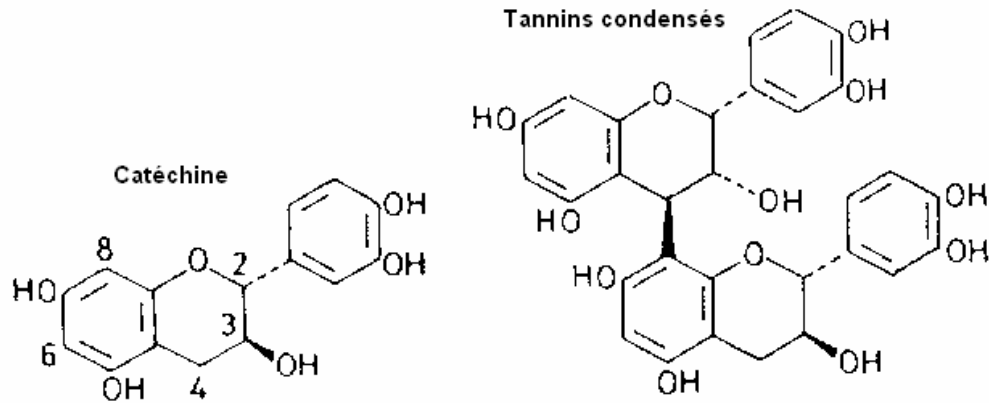


Figure 12: Structure générale des proanthocyanidines et de la catéchine (Hagerman et Butler, 1994).

b. Prévention des maladies cardiovasculaires et de la cataracte

Les résultats de Tebib *et al.* (1994) révèlent que la supplémentation de l'alimentation des cobayes en tannins polymériques réduit le taux du cholestérol dans le sang et diminue l'activité de certaines lipases (lipoprotéine lipase) impliquées dans le métabolisme du cholestérol dans le foie. Pataki *et al.* (2002) indiquent que les tannins condensés préviennent les maladies coronariennes en agissant contre les radicaux libres, en particulier le radical hydroxyle, formés dans le myocarde du cobaye et qui sont responsables des dommages sur les cardiomyocytes. Selon Osakabe *et al.* (2004), l'ingestion de proanthocyanidines inhibe la cataracte induite par le diabète chez le cobaye.

III.4.4- Les anthocyanines

Les anthocyanines ou anthocyanes (du grec anthos=fleur, kuanos=bleu sombre) sont des pigments hydrosolubles appartenant à la classe des flavonoïdes (Multon, 2002). Leur structure de base est le cation *flavylium* (figure 13) qui absorbe dans le visible et se colore rouge, violet ou bleu (Alais et Linden, 1997). Les anthocyanines existent dans les plantes sous forme de glycosides et varient selon les substituants glycosidiques (glucose, galactose, rhamnose, xylose et arabinose) (Lee *et al.*, 2008). Par hydrolyse acide, se forment des aglycones appelés *anthocyanidines* (tableau II). Les études menées par Phippen et Simon (2000) et

Simon *et al.* (1999) indiquent que le basilic pourpre renferme des anthocyanines à des teneurs variant de 6,5 à 18,7 mg/100g.

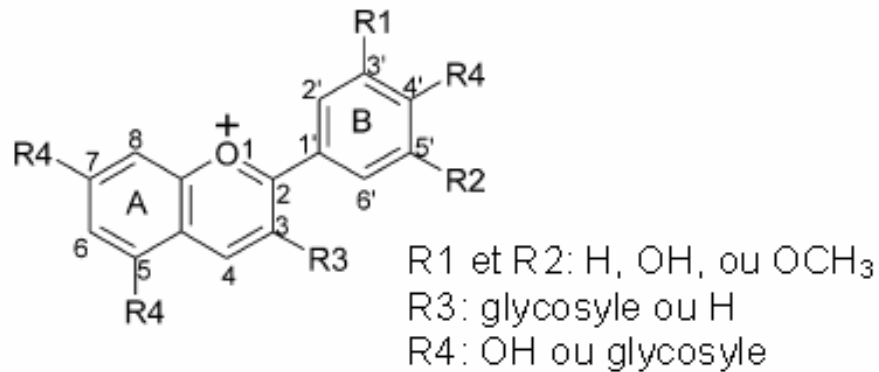


Figure 13: Structure du cation flavylum (Kong *et al.*, 2003).

Tableau II : Les substituants des différentes anthocyanidines (Kong *et al.*, 2003).

Nom	Abréviation	Les substituants						
		3	5	6	7	3'	4'	5'
Cyanidine	Cy	OH	OH	H	OH	OH	OH	H
Delphinidine	Dp	OH	OH	H	OH	OH	OH	OH
Malvidine	Mv	OH	OH	H	OH	OCH ₃	OH	OCH ₃
Pélagonidine	Pg	OH	OH	H	OH	H	OH	H
Péonidine	Pn	OH	OH	H	OH	OCH ₃	OH	H
Pétunidine	Pt	OH	OH	H	OH	OCH ₃	OH	OH

➤ Propriétés

La structure chimique influence les propriétés bioactives des anthocyanines ; ces dernières sont douées de propriétés thérapeutiques, anti-inflammatoires (Lila, 2004) et anti-cancérogènes (Kang *et al.*, 2003). Elles peuvent prévenir et protéger contre les dommages de l'ADN et inhiber la peroxydation des lipides (Ramirez-Tortosa *et al.*, 2001). Elles sont également utilisées dans le traitement des maladies impliquées dans les inflammations tissulaires ou la fragilité capillaire (Kong *et al.*, 2003). D'autre part, l'étude de Tsuda *et al.* (2003) a montré que les anthocyanines sont des substances fonctionnelles car elles préviennent l'obésité et le diabète chez les rats.

III.4.5- Absorption intestinale et métabolisme des composés phénoliques

En général, les polyphénols sont glycosylés avec une unité de glucide simple ou complexe (Ribéreau-Gayon, 1968). Le type et le nombre de glycosylations sont des facteurs importants qui affectent l'absorption intestinale des composés phénoliques (Scalbert et Williamson, 2000); la forme glycosylée de la quercétine est plus facilement absorbée que la forme aglycone (Hollman et Katan, 1999 ; Manach *et al.*, 2005). Ceci n'est pas le cas de tous les flavonoïdes ; la catéchine, qui n'est pas naturellement glycosylée, est absorbée dans les cellules intestinales par un système de conjugaison (Nijveldt *et al.*, 2001). Selon Wen et Walle (2006), les flavonoïdes méthylés sont mieux absorbés au niveau des cellules intestinales par rapport aux flavonoïdes non méthylés et leurs métabolites sont plus stables au niveau du foie.

La biodisponibilité, généralement inférieure à 1% de la quantité consommée dépend des individus (âge, métabolisme, état physique,...), du type des aliments ingérés en même temps, comme dans le cas des lipides et des protéines (Miniati, 2007), ainsi que du type des glycosides et des aglycones (Heim *et al.*, 2002).

Les composés phénoliques sont métabolisés dans le foie ; le mécanisme est très compliqué car à partir d'une seule molécule de phénol, plusieurs dérivés peuvent être obtenus (glucuronates, sulfonates, ou dérivés méthylés) (Scalbert et Williamson, 2000). Le pouvoir antioxydant des métabolites est différent de celui du précurseur ; en outre, leur concentration est 4 à 6 fois plus élevée (Miniati, 2007). La microflore intestinale peut métaboliser (figure 14) les composés phénoliques et produire des composés avec une activité plus ou moins élevée que celle du précurseur (Déprez *et al.*, 2000 ; Birt *et al.*, 2001 ; Williamson et Manach, 2005).

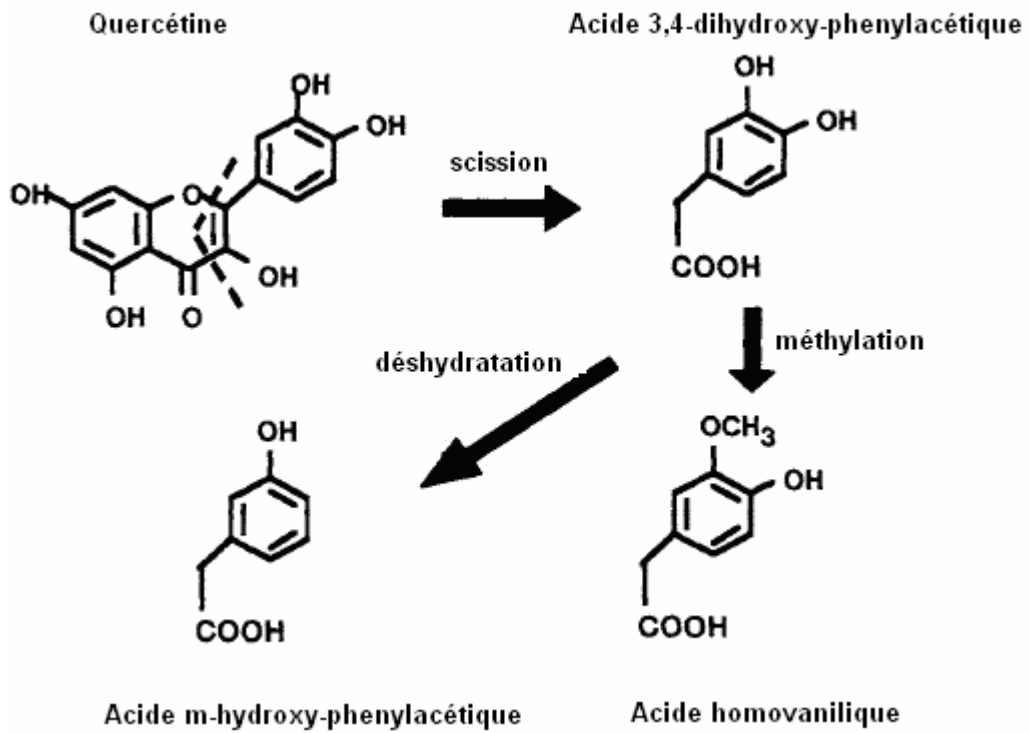


Figure 14: Dégradation de la quercétine par les entérobactéries (Terao, 1999).

Partie expérimentale

1. Echantillonnage

Les quatre herbes aromatiques étudiées (figure 15) ont été cultivées pendant une période allant du 07/02/2008 au 14/04/2008 dans trois stations de la Wilaya de Béjaïa (Akbou, Oued-Ghir et Aokas), à partir des semences dans le cas du persil, du basilic vert et de la coriandre et par voie végétative pour la menthe et le basilic pourpre.

Tableau III: Echantillons des herbes analysées

Plante	Echantillon	Région
Feuilles de persil (semence 1)	P1	Akbou
Feuilles de coriandre	C1	
Graines de coriandre	G	
Feuilles de basilic (variété pourpre)	B1	
Feuilles de menthe verte	M1	
Feuilles de persil (semence 1)	P2	Oued- Ghir
Feuilles de persil (semence 2)	P3	
Feuilles de coriandre	C2	
Fleurs de coriandre	F	
Feuilles de menthe verte	M2	
Feuilles de persil (semence 1)	P4	Aokas
Feuilles de persil (semence 2)	P5	
Tiges de persil	T	
Feuilles de coriandre	C3	
Feuilles de basilic (variété pourpre)	B2	
Feuilles de basilic (variété verte)	B3	

2. Dosage des antioxydants

Les feuilles des herbes aromatiques, les tiges de persil, les graines et les fleurs de la coriandre sont cueillies, lavées à l'eau distillée, broyées et soumises à l'extraction. Les résultats de tous les dosages sont exprimés par 100g de matière sèche (MS).

2.1. Teneur en matière sèche

5g d'herbe sont séchés à l'étuve (105°C) jusqu'à stabilisation du poids. La teneur en matière sèche est exprimée en pourcentage massique :

$$\text{Matière sèche (\%)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

Où : m_0 : poids du creuset vide ; m_1 : poids du creuset et de la prise d'essai ; m_2 : poids du creuset et de la prise d'essai après séchage.



Persil: *Petroselinum crispum* L.



Coriandre: *Coriandrum sativum* L.
(Graines)



(Fleurs)



Menthe: *Mentha spicata* L.



Basilic: *Ocimum basilicum* L.

Figure 15: Morphologie des herbes aromatiques étudiées.

2.2. L'acide ascorbique

L'extraction est réalisée selon la méthode rapportée par Hernandez *et al.* (2006) ; 0,25 g de broyat d'herbes fraîches sont mis dans 10 ml d'acide oxalique (1%). Après agitation, le mélange est centrifugé (30 min à 3000 tpm/10°C).

A 1ml de surnageant, sont additionnés 500 µl de 2,6-dichlorophénolindo-phénol ; les absorbances sont mesurées à 515 nm (Lisiewska *et al.*, 2006). Les résultats sont exprimés en mg équivalent acide ascorbique/100g, en se référant à une courbe d'étalonnage.

2.3. Les caroténoïdes

0,1 g de broyat de feuilles fraîches sont additionnés de 10 ml du mélange hexane/acétone/éthanol (2 :1 :1) ; après une agitation de 30 min, la phase hexanique est prélevée et 5 ml d'hexane sont ajoutés. Après 15 min d'agitation, les deux phases d'hexane sont combinées (Sass-Kiss *et al.*, 2005), 10 ml d'hydroxyde de potassium (10%) sont ajoutés. Le mélange est homogénéisé pendant 30 min. La phase hexanique, de couleur jaunâtre, est récupérée et est utilisée pour doser les caroténoïdes totaux à 430 nm. Une courbe d'étalonnage est préparée avec du β-carotène ; les teneurs sont exprimées en mg équivalent β-carotène/100g MS.

2.4. Les chlorophylles

L'extraction des chlorophylles est réalisée en se basant sur l'étude de Cubas *et al.* (2008) ; 0,1 g de broyat de feuilles fraîches sont extraits avec 10 ml de N,N-diméthylformamide (DMF). Après une homogénéisation de 20 min et une centrifugation de 20 min (4000 tpm/10°C), les chlorophylles sont détectées au spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes : 664 nm et 647 nm pour les chlorophylles *a* et *b*, respectivement. La teneur en chlorophylles (mg/l) est estimée par les équations de Inskeep et Bloom (1985):

$$\text{Chl a} = 12.70 A_{664} - 2.79 A_{647}$$

$$\text{Chl b} = 20.70 A_{647} - 4.62 A_{664}$$

$$\text{Chl totales} = 17.90 A_{647} + 8.08 A_{664}$$

Les résultats sont rapportés en g/100g MS.

2.5. Les composés phénoliques solubles

2.5.1. Préparation des extraits

L'extraction des composés phénoliques est réalisée à l'aide d'un seul solvant, l'eau distillée. L'extraction est effectuée avec un rapport matière/solvant de 1:100; les extraits aqueux à température ambiante ont été réalisés sous une agitation d'une heure à l'abri de la lumière, par contre les extraits à 100°C ont été obtenus par une extraction dans l'eau distillée à 100°C (ébullition) pendant 10 min; dans les deux cas, les extraits sont filtrés sur papier, centrifugés à 4000 tpm/20 min à 10°C et conservés à -18°C.

2.5.2. Les composés phénoliques totaux

Le dosage des composés phénoliques totaux est réalisé en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu qui est un mélange des acides phosphotungstique et phosphomolybdique ; 200 µl d'extrait sont additionnés de 500 µl de réactif de Folin-Ciocalteu ; après 5 min, 1,5 ml de carbonate de sodium (7,5%) sont ajoutés. Après 1heure, l'absorbance est mesurée à 765 nm (Singleton et Rossi, 1965). Les concentrations sont exprimées en g éq. acide gallique/100g MS, en se référant à la courbe d'étalonnage.

2.5.3. Les flavonoïdes totaux

Le dosage des flavonoïdes est réalisé selon la méthode rapportée par Djeridane *et al.* (2006) ; 1ml d'extrait est mélangé avec 1ml de chlorure d'aluminium (2%). Après 15 min d'incubation, l'absorbance est mesurée à 430 nm. Les résultats sont exprimés en g éq. quercétine/100g MS par référence à la courbe d'étalonnage.

2.5.4. Les flavonols

Le dosage est réalisé selon la méthode décrite par Kosalec *et al.* (2005) ; à 500µl d'extrait sont ajoutés 500 µl d'eau distillée, 500 µl de chlorure d'aluminium (10%) et 500 µl d'acétate de sodium (1M). Après 30 min d'incubation, l'absorbance est mesurée à 415 nm. Une courbe d'étalonnage est préparée avec la quercétine ; les résultats sont exprimés en mg/100g MS.

2.5.5. Les tannins condensés

Un volume d'extrait est additionné d'un volume équivalent du réactif de la vanilline. Après 15 min d'incubation, l'absorbance est mesurée à 500 nm (Hagerman et Butler, 1994). Les résultats sont exprimés en mg éq. catéchine/100g MS en utilisant une courbe standard.

2.5.6. Les anthocyanines

Une extraction est réalisée suivant les méthodes rapportées par Awika *et al.* (2004) et Fang *et al.* (2006). 1g de broyat est additionné de 10 ml d'eau acidifiée (10 µl d'acide chlorhydrique). Après 16h d'incubation au réfrigérateur, l'extrait est centrifugé pendant 10 min (4000 tpm/20°C). Le dosage des anthocyanines est effectué selon la méthode à pH différentiel décrite par Lee *et al.* (2005), basée sur la mesure de l'absorbance des extraits (surnageants) à pH 1 et à pH 4,5 et à 520 nm et 700 nm. La teneur des extraits en anthocyanines est :

$$\text{Anthocyanines (Equivalent cyanidine-3-glucoside, mg/l)} = \frac{A \times MM \times FD \times 10^3}{\epsilon \times l}$$

$$A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}1} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}4,5}$$

MM = 449,2 g/mol (poids moléculaire de la cyanidine-3-glucoside).

FD : Facteur de dilution extrait/tampon.

ϵ = 26900 L/mol·cm (coefficient d'extinction molaire de la cyanidine-3-glucoside).

Les résultats sont rapportés en mg/100g MS.

3. Activité antioxydante

3.1. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur des extraits est mesuré selon la méthode décrite par Juntachote *et al.* (2006). 250 µl d'extrait sont additionnés de 250 µl de tampon phosphate (0,2M, pH 6,6) et de 250 µl de ferricyanure de potassium (1%). Après une incubation de 20 min à 50°C, 250 µl d'acide trichloracétique (10%) sont ajoutés au mélange. Après centrifugation (3000 tpm/10 min), 750 µl de surnageant sont

mélangés avec 750 µl d'eau distillée et 150 µl de chlorure ferrique (0,1%). Le pouvoir réducteur des extraits est déterminé par la formation d'un complexe qui absorbe à 700 nm. Les résultats sont exprimés en g éq. acide ascorbique/100g MS, en se référant à une courbe d'étalonnage.

3.2. Activité anti-radicalaire

L'activité anti-radicalaire des extraits de plantes a été évaluée en utilisant le 2,2-diphényl-1-picryl hydrazyl (DPPH•). Le DPPH•, de couleur violette, vire au jaune et est réduit en 2,2-diphényl-1-picryl hydrazine, en présence de capteurs de radicaux libres (Brand-Williams *et al.*, 1995).

Une aliquote de 100 µl d'extrait aqueux est additionnée de 900 µl de la solution méthanolique de DPPH• ; après 15 min d'incubation, l'absorbance est mesurée à 517 nm (Katalinic *et al.*, 2006). Le pourcentage d'inhibition :

$$\text{Inhibition (\%)} = [(A_{C(0)} - A_{A(t)}) / A_{C(0)}] \times 100$$

$A_{C(0)}$: absorbance du témoin.

$A_{A(t)}$: absorbance de la solution test (échantillon + DPPH•).

En parallèle une courbe d'étalonnage est préparée avec l'acide L-ascorbique ; les résultats sont exprimés en mg éq. acide ascorbique/100g MS.

3.3. Inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique

Une émulsion d'acide linoléique est préparée selon le protocole de Wong et Kitts (2006) ; 3g d'acide linoléique sont mélangés avec 200 ml d'éthanol (30%). Une aliquote de 1ml d'extrait est ajoutée à 5 ml de l'émulsion ; le mélange est incubé pendant 10 jours à 50°C. Le degré de l'oxydation lipidique est quantifié selon la méthode au thiocyanate (Gülçin *et al.*, 2007). Une aliquote de 0,1 ml du mélange est additionnée de 2,7 ml d'éthanol, de 0,1 ml de thiocyanate d'ammonium (30%) et de 0,1 ml de chlorure ferreux (20 mM). Après 10 min, l'absorbance est mesurée à 500 nm.

Le pourcentage d'inhibition de la peroxydation est calculé selon l'équation (Gülçin *et al.*, 2004):

$$\text{Inhibition (\%)} = 100 - [(A_{\text{echt}}/A_{\text{témoin}}) \times 100]$$

$A_{\text{témoin}}$: absorbance du témoin.

A_{echt} : absorbance en présence de l'échantillon.

4. Analyse statistique

Une analyse statistique des résultats à l'aide du logiciel STATISTICA 5.5 (analyse de la variance ANOVA) est réalisée avec le test LSD (Little Significant Difference ; la plus petite différence significative) ; le degré de signification des données est pris avec une probabilité $P < 0,05$.

*Résultats et
discussion*

1. Les antioxydants

1.1. L'acide ascorbique

Les résultats obtenus pour les quatre herbes lors du dosage de l'acide ascorbique (figure 16) sont significativement différents ($P < 0,05$) ; ils varient de 9mg/100g (coriandre C1) à 136 mg/100g MS (menthe M1). Les teneurs en acide ascorbique des échantillons de persil P4 (123 mg/100g) et de la coriandre C3 (119mg/100g) ne présentent pas de différence significative.

L'origine géographique influence les teneurs des herbes aromatiques en acide ascorbique ; la différence est significative ($P < 0,05$) pour les échantillons de menthe M1 (136 mg/100g) et M2 (38 mg/100g), de la coriandre C1 (9 mg/100g) et C3 (119 mg/100g), et du basilic B1 (14 mg/100g) et B2 (116 mg/100g). Pour le persil, la coriandre et le basilic, les teneurs en acide ascorbique diminuent dans les régions les moins humides (Aokas>Oued-Ghir>Akbou).

Dans le cas du basilic, le facteur variétal influence largement la teneur des feuilles en acide ascorbique ; les variétés pourpre (B2) et verte (B3) présentent des teneurs de 116 mg/100g et 25 mg/100g, respectivement.

Outre l'effet de l'origine géographique, l'origine des semences affecte les teneurs du persil en acide ascorbique ; l'échantillon P2 (semence 1) renferme une teneur (71 mg/100g) supérieure à celle de l'échantillon P3 (semence 2) (55mg/100g) ; ceci est également constaté entre les échantillons P4 (semence 1) et P5 (semence 2) (123 mg/100g et 109mg/100g, respectivement).

Les résultats du présent travail indiquent que les fleurs de la coriandre C2 sont nettement plus riches en acide ascorbique (103 mg/100g) que les feuilles (21mg/100g). Les graines de la coriandre C1 contiennent une teneur en acide ascorbique supérieure (15 mg/100g) à celle des feuilles (9 mg/100g). Cependant, les tiges de persil P5 renferment des teneurs inférieures (17 mg/100g) à celles des feuilles (109mg/100g).

Arabshahi-D *et al.* (2007) ont obtenu une teneur en acide ascorbique dans les feuilles de menthe (40 mg/100g MS) proche de celle de notre échantillon de menthe M2 (38 mg/100g).

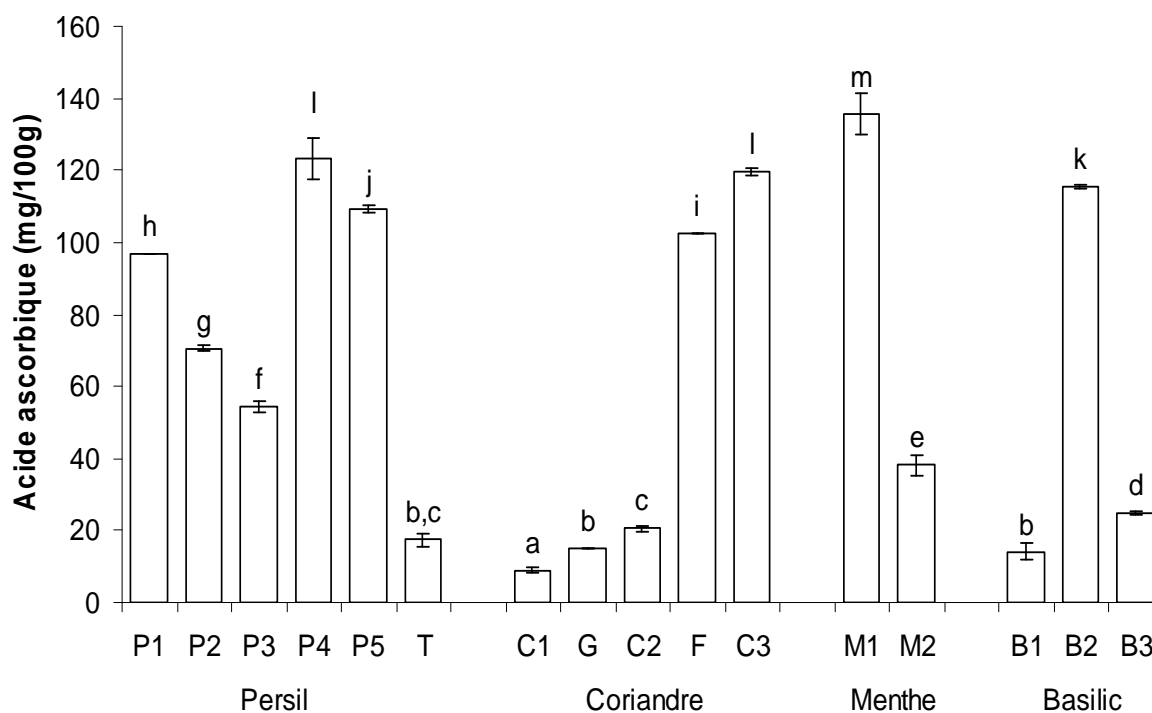


Figure 16: Teneurs des herbes aromatiques en acide ascorbique

(Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents avec $P < 0,05$)

Agte *et al.* (2000) ont enregistré des teneurs de 6 et 42 mg/100g de feuilles fraîches de menthe et de coriandre, respectivement. Dans le cas de nos échantillons, les teneurs sont égales à 6 et 26 mg/100g de matière fraîche (MF) pour la menthe M2 et M1, et de 2 et 18 mg pour la coriandre C1 et C3, respectivement.

Bessey et King (1933) ont obtenu une teneur de 176 mg/100g MF pour le persil (extrait dans l'acide acétique 8%). Concernant nos échantillons de persil P4 et P1, les teneurs sont seulement de 18 et 20 mg/100g MF, respectivement. Lisiewska et Kmiecik (1997) rapportent une teneur de 310 mg de vitamine C dans le persil frisé « Hamburg cv Berlitiska » contre 257 mg/100g MF dans le persil type à feuilles « cv Paramount ».

1.2. Les caroténoïdes

Les résultats du dosage des caroténoïdes présentent des différences significatives ($P < 0,05$) pour les quatre herbes (figure 17); les teneurs varient entre 179mg/100g (B3) et 434 mg/100g (C3). Cependant, certaines herbes contiennent des teneurs similaires; c'est le cas des échantillons de persil P1 (259 mg/100g), de

la menthe M1 (257 mg/100g) et du basilic B1 (257 mg/100g). L'effet de l'origine géographique sur les teneurs en caroténoïdes est notable pour les quatre herbes aromatiques; c'est le cas des échantillons de persil P1 (259mg/100g) et P4 (408 mg/100g), de la coriandre C1 (336 mg/100g) et C3 (434mg/100g), et du basilic B1 (257 mg/100g) et B2 (199 mg/100g).

Pour la coriandre, Guerra *et al.* (2005) ont enregistré une teneur en caroténoïdes (CCM) de 54 mg/100g MS (dont 61% de β -carotène) dans les extraits à l'éther éthylique.

Le facteur variétal influence également les teneurs des herbes étudiées en antioxydants, et particulièrement en caroténoïdes ; les variétés pourpre (B2) et verte (B3) du basilic contiennent 199 et 179 mg/100g, respectivement. Ceci est en accord avec les résultats de Kopsell *et al.* (2005).

Pour le persil, les teneurs en caroténoïdes des échantillons P2 (339 mg/100g) et P3 (331 mg/100g) sont semblables ($P < 0,05$) ; les échantillons P4 et P5 contiennent 408 et 212 mg/100g, respectivement.

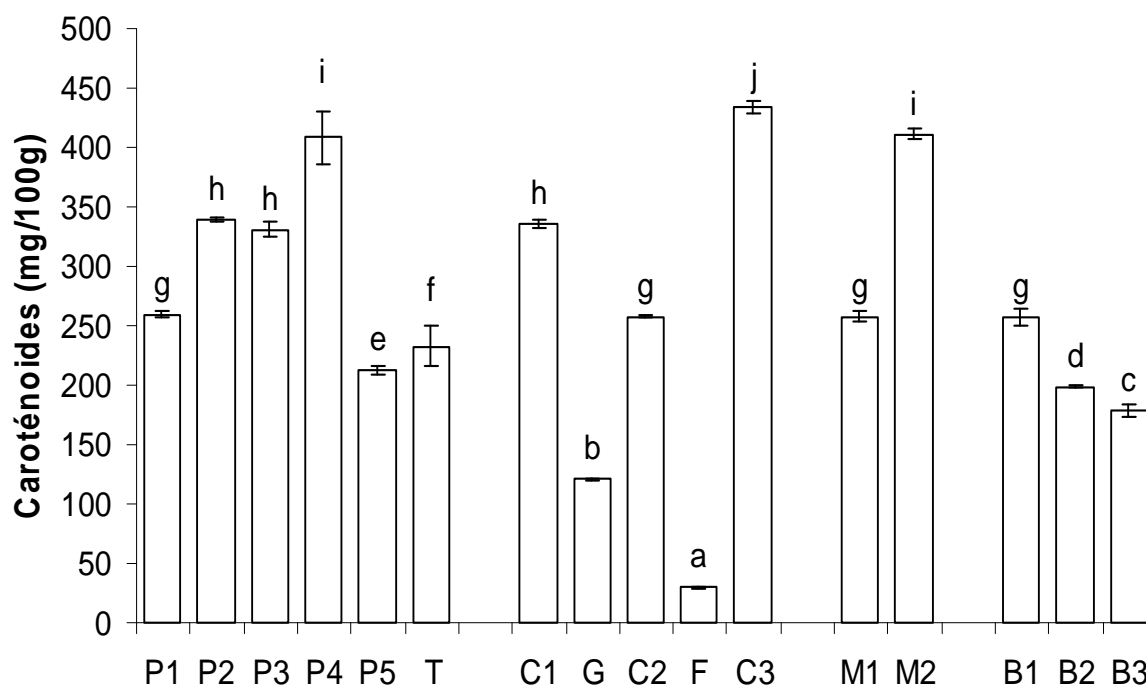


Figure 17: Teneurs des herbes aromatiques en caroténoïdes.

En ce qui concerne les organes des plantes, la tige de persil P5 est plus riche en caroténoïdes (233 mg/100g) que les feuilles (212 mg/100g). Les graines de la coriandre C1 renferment une teneur en caroténoïdes (121 mg/100g) inférieure à celle des feuilles (336 mg/100g). Les teneurs des fleurs (30 mg/100g) de la coriandre C2 sont nettement inférieures à celles des feuilles (258 mg/100g).

L'origine géographique, la composition du sol et des engrais, la température, la période de récolte, le cultivar et le stade de maturité des fruits et légumes influencent significativement la concentration en caroténoïdes. Les caroténoïdes sont sensibles à l'isomérisation et à l'oxydation ce qui provoque la perte de leur activité biologique (Rodriguez-Amaya, 2001).

1.3. Les chlorophylles

Les résultats obtenus lors du dosage des chlorophylles totales (figure 18) pour les quatre herbes aromatiques sont significativement différents ($P < 0,05$) ; les teneurs varient entre 0,64 g/100g (B3) et 2,29 g/100g (M2).

En tenant compte de l'origine géographique, les teneurs en chlorophylles présentent des différences significatives ($P < 0,05$) ; citons le cas des échantillons de persil P1 (0,82 g/100g) et P4 (1,72 g/100g). Les teneurs du persil, de la coriandre et de la menthe, en chlorophylles augmentent progressivement en allant vers les régions humides (Akbou < Oued-Ghir < Aokas). Pour le basilic, la différence entre les teneurs en chlorophylles est significative, avec des teneurs de 1,31 g/100g et de 0,64g/100g, pour les variétés pourpre (B2) et verte (B3), respectivement.

Pour les organes de plante où seulement la tige de persil P5 a été analysée, les teneurs obtenues (0,28 g/100g) sont significativement différentes de celles des feuilles (1,29 g/100g).

Les résultats de l'étude menée par Kopsell *et al.* (2005) montrent que les concentrations des caroténoïdes ainsi que celles des chlorophylles augmentent dans les feuilles de basilic exposées aux radiations solaires plus longtemps. Une forte corrélation ($r = 0,87$) existe entre les teneurs des feuilles de basilic en caroténoïdes et en chlorophylles ; les auteurs stipulent qu'il est possible, par la teneur en chlorophylles, d'estimer les valeurs relatives des xanthophylles dans le basilic. Dans la

présente étude, le coefficient de corrélation globale obtenu entre ces deux pigments est de 0,50 (figure 19). Cette corrélation est moyenne dans le cas du persil ($r=0,59$) et de la coriandre ($r=0,51$) ; cette relation est forte pour la menthe ($r=0,94$) et le basilic ($r=0,80$). Les chlorophylles et les caroténoïdes sont des pigments photosynthétiques des plantes supérieures ; ils co-existent de manière proportionnelle mais les chlorophylles ont tendance à masquer les caroténoïdes (Schoefs, 2002).

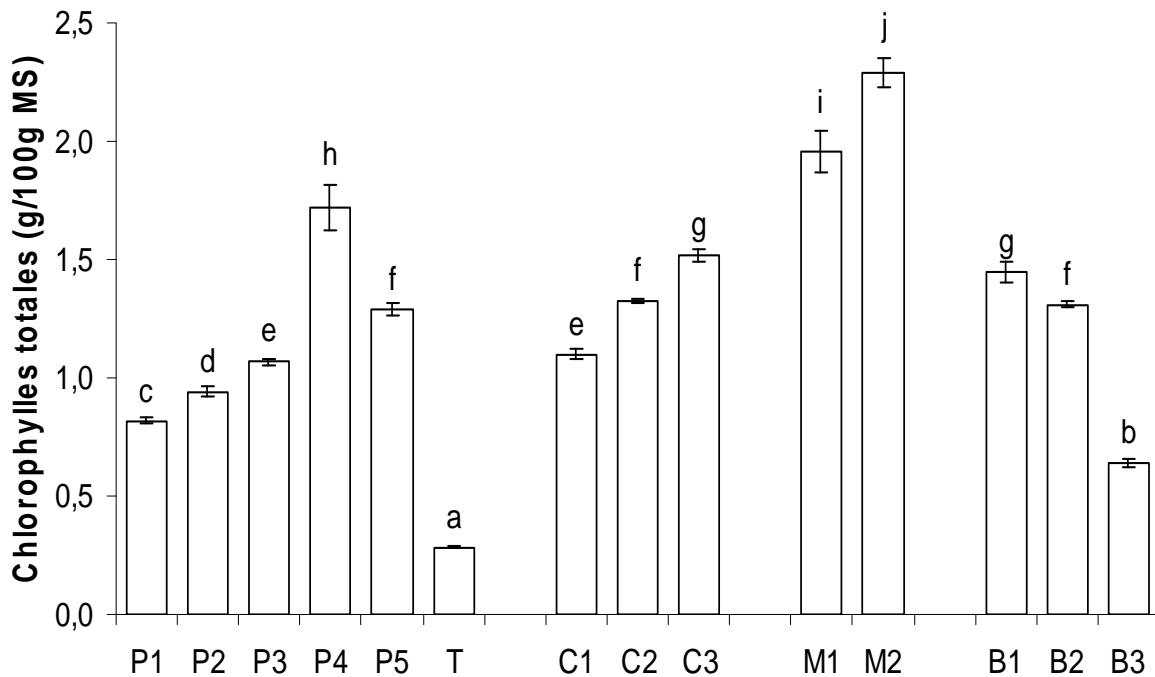


Figure 18: Teneurs des herbes aromatiques en chlorophylles.

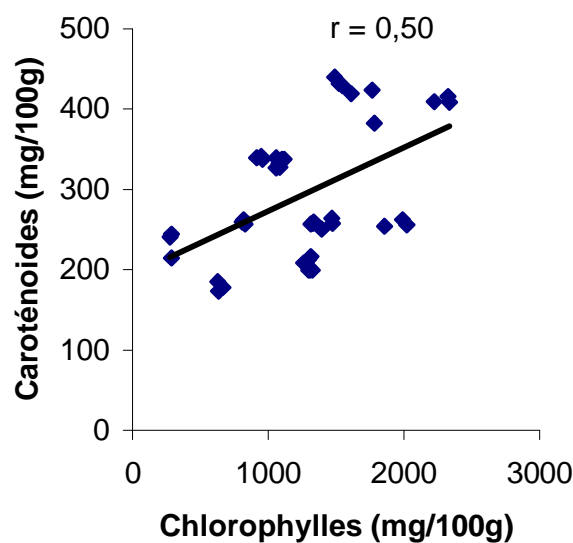


Figure 19: Corrélation entre les caroténoïdes et les chlorophylles.

1.4. Les composés phénoliques totaux solubles

Deux types d'extraits aqueux sont préparés ; l'un est réalisé à température ambiante et l'autre à 100°C. Les résultats du dosage des composés phénoliques sont illustrés dans les figures 20 et 21. Les teneurs en composés phénoliques varient de 0,50 g/100g (B3) à 3,43 g/100g (M2) pour les extraits à température ambiante, et de 1,19 g/100g (C2) à 7,35 g/100g (M2) pour les extraits à 100°C.

À température ambiante, les teneurs des quatre herbes en composés phénoliques présentent des différences significatives ($P < 0,05$) : c'est le cas du persil P4 (2,22 g/100g) et du basilic B3 (0,50 g/100g). Par contre, les teneurs de la coriandre C3 (1,96g/100g) et du basilic B2 (1,92 g/100g) sont égales.

Les résultats obtenus pour les extraits des échantillons de persil à température ambiante varient selon la région : P1 (1,77 g/100g) et P2 (1,56 g/100g). La différence est également significative ($P < 0,05$) pour les échantillons de la menthe et de la coriandre : M1 (Akbou) et M2 (Oued-Ghir) présentent des teneurs respectives de 2,72 g/100g et 3,43g/100g; C2 (Oued-Ghir) et C3 (Aokas) ont des teneurs respectives de 1,00 et 1,96g/100g.

Pour les extraits obtenus à 100°C, il existe également des différences significatives ($P < 0,05$) : cas de P4 (4,36 g/100g) et C3 (2,08 g/100g). Cependant, les teneurs du persil P5 (3,51 g/100g) et du basilic B2 (3,44 g/100g) sont similaires.

Les résultats obtenus à 100°C pour les échantillons de persil présentent des différences significatives : P1 (1,64 g/100g) et P4 (4,36 g/100g). Les teneurs des extraits de la coriandre en polyphénols semblent aussi être influencées par l'origine géographique ; les échantillons C1 (Akbou), C2 (Oued-Ghir) et C3 (Aokas) ont des teneurs respectives de 3,29, 1,19 et 2,08 g/100g.

L'effet de la variété est notable dans le cas du basilic ; les échantillons B2 et B3 ont des teneurs en polyphénols différentes ($P < 0,05$) dans le cas des extraits à température ambiante (1,92 g/100g et 0,50 g/100g, respectivement) ; ceci est également constaté pour les extraits à 100°C (3,44 g/100g et 3,82 g/100g).

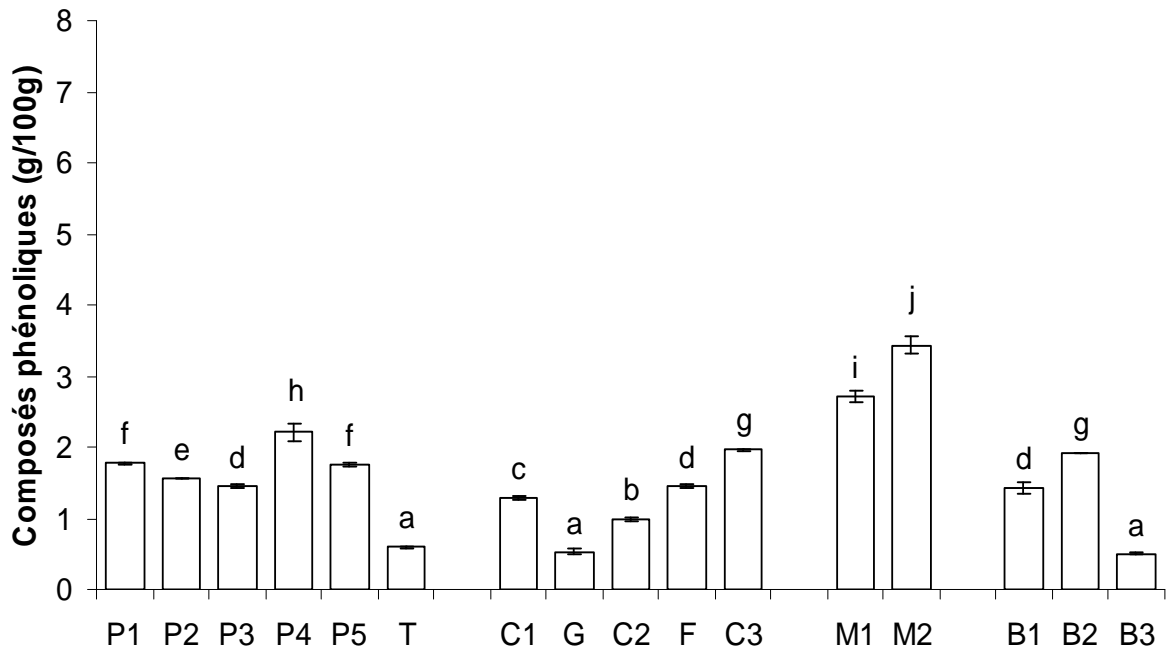


Figure 20: Teneurs des herbes aromatiques en composés phénoliques : température ambiante.

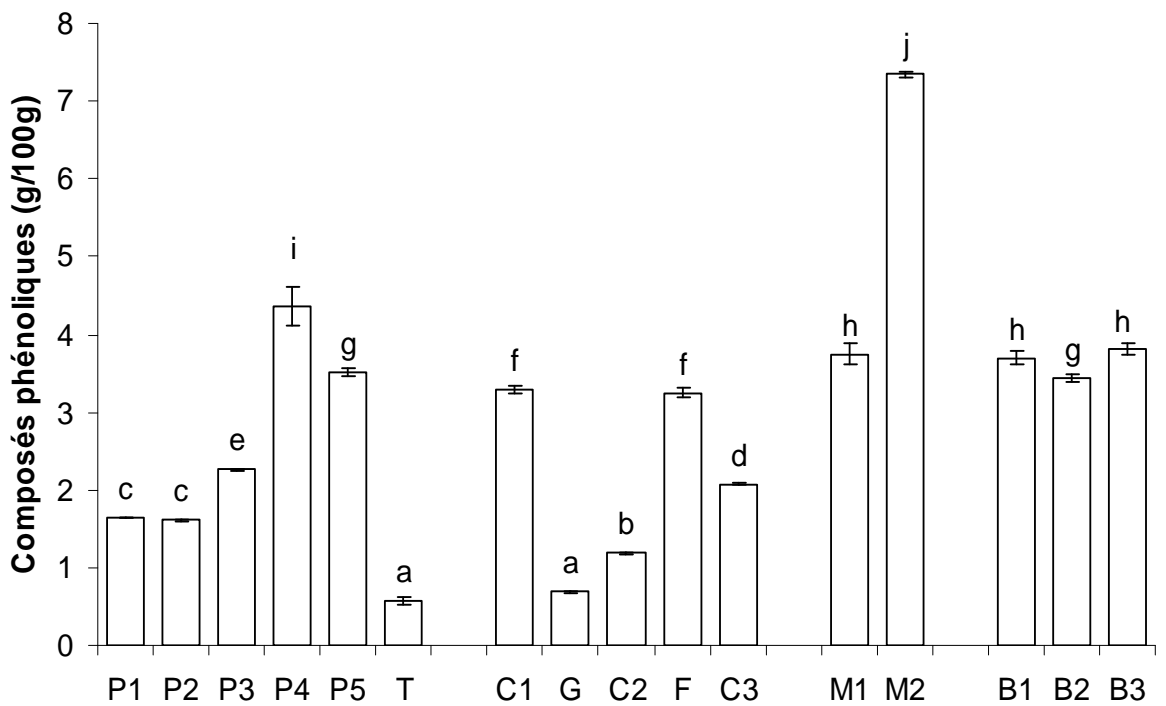


Figure 21: Teneurs des herbes aromatiques en composés phénoliques : 100°C.

Selon Kaur et Kapoor (2002), il existe des différences dans les teneurs en polyphénols des herbes aromatiques ; c'est le cas des extraits éthanoliques de la menthe (399,8 mg éq. catéchol/100g MF) et de la coriandre (82,5mg/100g). Shyamala *et al.* (2005) ont enregistré des teneurs en polyphénols égales à 2200 mg éq. acide tannique/100g dans les extraits éthanoliques de la coriandre. Dans une autre étude, des différences sont obtenues entre les extraits (hydrodistillation) du basilic et du persil, qui renferment respectivement 14,7 et 2,92 g éq. acide gallique/100g d'extrait (Hinneburg *et al.*, 2006).

Selon, Juliani et Simon (2002), les teneurs en polyphénols des extraits éthanoliques de variétés pourpres de basilic (8,17 à 12,62 g /100g MS) sont plus élevées que celles des variétés vertes (3,56 g/100g). Javanmardi *et al.* (2003) ont constaté que les teneurs en polyphénols des extraits acétoniques (80% ; 1H) de variétés de basilic (*Ocimum basilicum*) varient de 2,29 à 6,55 g/100g MS. Juntachote *et al.* (2006) rapportent que les extraits éthanoliques (75%) du basilic sacré (*Ocimum sanctum* Linn), qui est une autre espèce de basilic, présentent une teneur totale en composés phénolique de 4,71 g/100g MS. Tawaha *et al.* (2007) ont obtenu des teneurs en polyphénols dans les extraits aqueux (1H, 80°C) de menthe égales à 4760 mg/100g MS. Mata et ses collaborateurs (2007) ont noté une teneur en composés phénoliques de 6450 mg/100g MS dans les extraits aqueux (eau bouillante) de la menthe.

Concernant les organes de plante, les fleurs de la coriandre C2 sont plus riches en composés phénoliques que les feuilles ; pour les extraits aqueux à 100°C, les teneurs sont 3,25 g/100g et 1,19 g/100g. Par contre, les graines de la coriandre C1 contiennent des teneurs inférieures à celles des feuilles. Ceci est en accord avec les résultats obtenus par Wangensteen *et al.* (2004).

Pour les deux types d'extraits, les tiges de persil renferment des teneurs inférieures à celles des feuilles. Ceci confirme les résultats de Wong et Kitts (2006) ; les extraits aqueux (4h, 80°C) des feuilles de persil renferment 89,3mg/100g de composés phénoliques contre 51,6 mg/100g mg éq. acide caféique/100 g MF, pour les tiges. Les auteurs ont également analysé les feuilles et

les tiges de la coriandre; les extraits aqueux des feuilles de coriandre contiennent 189 mg/100g contre 117 mg/100g pour les tiges.

Concernant l'effet de la température d'extraction, les teneurs en polyphénols ne présentent pas de différence significative ($P>0,05$) pour les extraits de l'échantillon de persil P2 (1,56 g/100g et 1,61 g/100g à 100°C) et les extraits de tige de persil. Pour les autres échantillons analysés, les extraits obtenus à 100°C sont plus riches en polyphénols que les extraits préparés à température ambiante : pour l'échantillon de menthe M2, les teneurs sont égales à 3,43 g/100g (température ambiante) et 7,35 g/100g (100°C). Par contre, dans le cas de l'échantillon de persil P1, la teneur en polyphénols (1,77 g/100g) diminue légèrement avec une extraction à 100°C (1,64 g/100g). La teneur en polyphénols est affectée par plusieurs facteurs dont la variété, l'organe du végétal, la saison, les conditions environnementales, les pratiques culturales, l'origine géographique et les procédés technologiques (Khanizadeh *et al.*, 2007).

L'analyse globale des résultats montre que les teneurs en composés phénoliques des extraits à 100°C sont deux fois plus élevées que celles des extraits à température ambiante ; une relation étroite (figure 22) existe entre les teneurs en polyphénols des extraits à température ambiante et celles des extraits à 100°C ($r=0,72$).

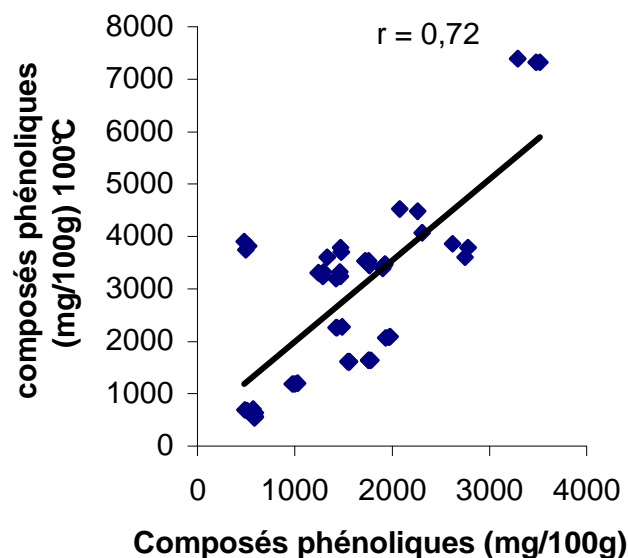


Figure 22: Corrélation entre les teneurs en polyphénols des extraits à température ambiante et des extraits à 100°C.

1.4.1. Les flavonoïdes totaux

Les résultats du dosage des flavonoïdes montrent des différences significatives ($P < 0,05$) pour les quatre herbes étudiées ; ils varient de 0,27 g/100g (B3) à 1,66g/100g (M2) pour les extraits à température ambiante (figure 23) et de 0,46g/100g (P4) à 4,72 g/100g (M2) pour les extraits obtenus à 100°C (figure 24).

Dans les deux types d'extraits, les échantillons de menthe présentent les teneurs en flavonoïdes les plus élevées (1,66 g/100g et 4,72 g/100g à 100°C). Les résultats de Kanatt *et al.* (2007) montrent que les flavonoïdes représentent 50% des composés phénoliques des extraits aqueux de la menthe verte, avec une teneur de 1350 mg éq. catéchine/100g MF. Les teneurs obtenues pour nos deux échantillons de menthe (M1 et M2) à température ambiante sont de 206 et 255 mg/100g MF.

Ninfali *et al.* (2005) ont analysé les extraits (acétone/acide perchlorique 5%, 80:20 v/v) de quelques herbes aromatiques pour leur teneur en flavonoïdes: *Petroselinum hortensis*, une autre espèce de persil, contient 52,2 mg/100g MF ; la menthe poivrée (*Mentha piperita*) contient 592,5 mg/100g; et enfin le basilic qui présente une teneur de 230 mg/100g MF. En procédant par HPLC, Justesen et Knuthsen (2001) ont estimé les teneurs en flavonoïdes principaux de quelques herbes aromatiques: la coriandre renferme 5 mg de quercétine/100g MF; la menthe (*Mentha var.*) et le persil contiennent 18 à 99 mg d'apigénine/100g, et 510 à 630mg d'apigénine/100g MF.

L'effet de l'origine géographique n'est pas observé dans les résultats de certains extraits aqueux obtenus à température ambiante ; C1 (0,71 g/100g) et C3 (0,71 g/100g), et B1 (0,89 g/100g) et B2 (0,90 g/100g). Par contre, les différences entre les résultats des extraits de persil des trois régions sont significatives ($P < 0,05$); les échantillons de persil P2 (0,87 g/100g) et P4 (0,46 g/100g). Les teneurs des échantillons de menthe M1 (1,06 g/100g) et M2 (1,66 g/100g) diffèrent également selon la région. Les résultats obtenus pour les extraits à 100°C des herbes de chaque région présentent des différences significatives ($P < 0,05$) : à titre d'exemple, l'échantillon de menthe M2 cultivé à Oued-Ghir renferme des teneurs (4,72 g/100g) supérieures à celles de l'échantillon M1 cultivé à Akbou (2,23 g/100g).

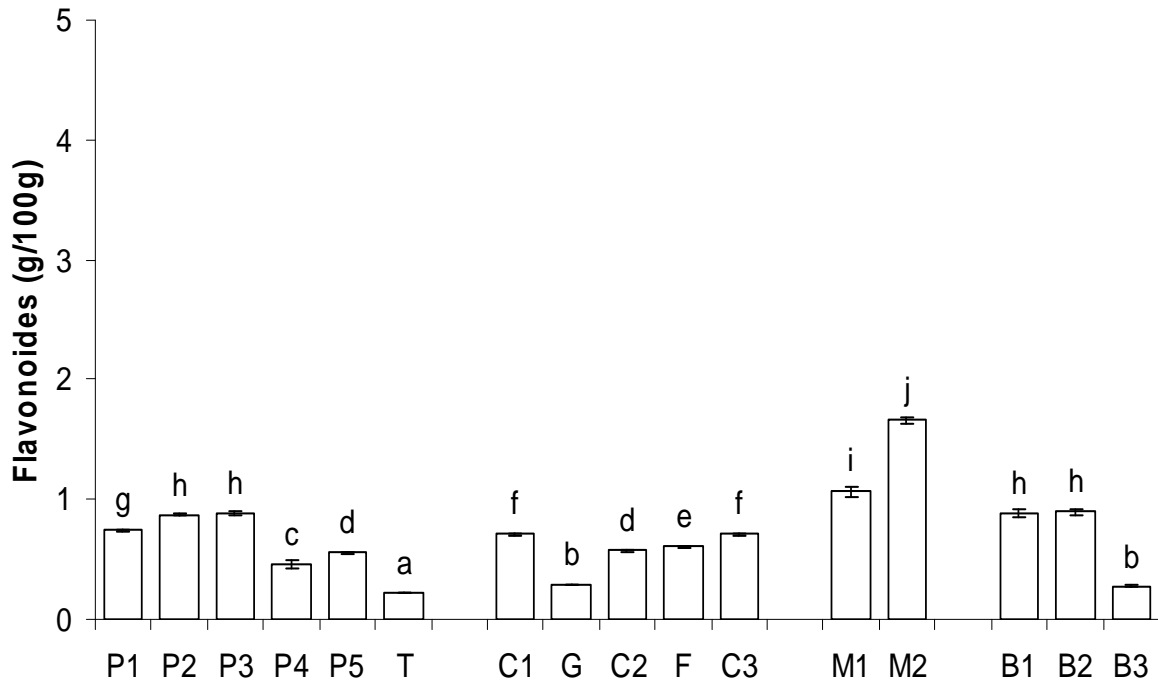


Figure 23: Teneurs des herbes aromatiques en flavonoïdes : température ambiante.

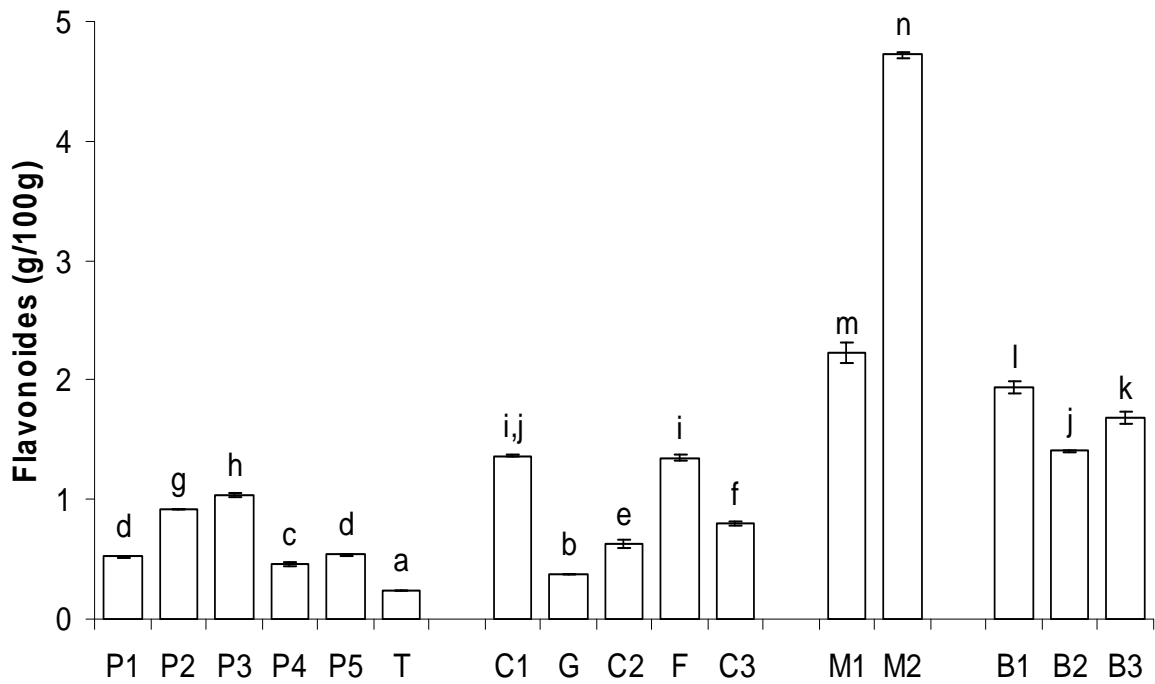


Figure 24: Teneurs des herbes aromatiques en flavonoïdes : 100°C.

L'effet du cultivar est observé pour les variétés pourpre (B2) et verte (B3) du basilic dont les teneurs respectives en flavonoïdes sont de 0,90g/100g et 0,27g/100g à température ambiante.

Les fleurs de la coriandre ont une teneur en flavonoïdes supérieure à celle des feuilles, 1,35 g/100g et 0,63 g/100g, respectivement à 100°C.

Pour les échantillons de persil P4 (0,46 g/100g) et P5 (0,55 g/100g) et la tige du persil, la température n'a pas d'effet sur les teneurs des extraits en flavonoïdes. Cependant, pour les autres herbes, la teneur en flavonoïdes est influencée par la température d'extraction ; elle est meilleure à 100°C. La teneur de l'extrait de la coriandre C1 est de 0,71g/100g à température ambiante et de 1,37 g/100g à 100°C ; l'extrait de fleurs la coriandre renferme 1,35 g/100g à 100°C contre 0,61 g/100g, à température ambiante.

L'étude globale des résultats montre que les teneurs en flavonoïdes dans les deux types d'extraits (figure 25) sont bien corrélées ($r=0,82$).

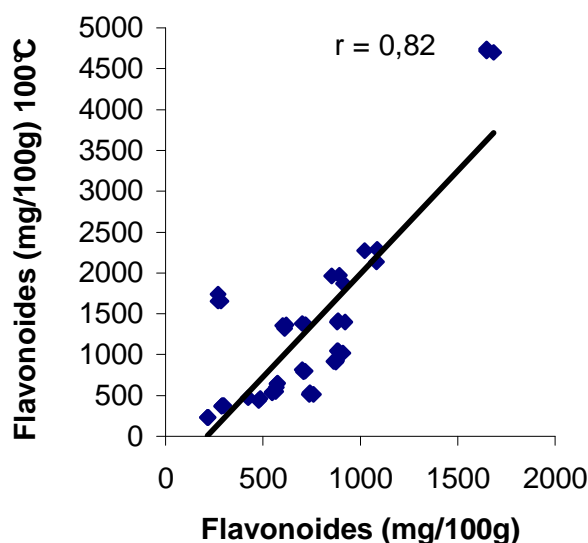


Figure 25: Corrélation entre les teneurs en flavonoïdes dans les extraits à température ambiante et à 100°C.

1.4.2. Les flavonols

Les résultats obtenus pour les quatre herbes présentent des différences significatives (figures 26 et 27). Les teneurs en flavonols des extraits obtenus à température ambiante s'échelonnent entre 43 mg/100g (P5) et 548 mg/100g (M1)

alors que celles des extraits préparés à 100°C, varient de 65 mg/100g (P5) à 1859mg/100g (M2).

Concernant l'origine géographique, les teneurs des herbes aromatiques en flavonols, dans les extraits à température ambiante, présentent des différences significatives ($P < 0,05$): les échantillons de persil P1 (Akbou) et P2 (Oued-Ghir) présentent des teneurs respectives de 50 mg/100g et 221 mg/100g. Par contre, les échantillons de persil P1 (50 mg/100g) et P4 (54 mg/100g) provenant d'Akbou et d'Aokas ne présentent pas de différence. Pour les autres herbes, la différence n'est pas significative ($P > 0,05$); c'est le cas de C1 (274 mg/100g) et C2 (240 mg/100g), de M1 (548 mg/100g) et M2 (512 mg/100g), et de B1 (363 mg/100g) et B2 (346 mg/100g).

Pour les extraits obtenus à 100°C, l'origine géographique n'a pas d'effet significatif sur les teneurs en flavonols des échantillons de la coriandre C1 (163 mg/100g) et C2 (165 mg/100g), et C2 (165 mg/100g) et C3 (183,5 mg/100g). Ceci n'est pas le cas des échantillons de persil P2 (248 mg/100g) et P4 (98 mg/100g).

Les résultats obtenus pour le basilic ne varient pas significativement en fonction de l'origine géographique (B1 : 539 mg/100g, B2 : 496 mg/100g) et de la variété (B2 : 496 mg/100g et B3 : 561 mg/100g). Cependant, pour la menthe, l'origine géographique influence les teneurs en flavonols (M2 contient 1859mg/100g, donc deux fois plus que M1 : 971 mg/100g).

En tenant compte de l'organe de la plante, à température ambiante, les fleurs de la coriandre sont plus riches en flavonols (524 mg/100g) que les feuilles (240 mg/100g) ; la tige de persil (80 mg/100g) est également plus riche que les feuilles (43 mg/100g). Par contre, les graines de la coriandre présentent des teneurs inférieures (120 mg/100g) à celles des feuilles (274 mg/100g).

Pour les extraits à 100°C, les fleurs de la coriandre renferment des teneurs en flavonols (833 mg/100g), 5 fois plus élevées que celles des feuilles (165 mg/100g). Quant à la tige du persil, elle renferme une teneur (137 mg/100g) supérieure à celle des feuilles (65 mg/100g).

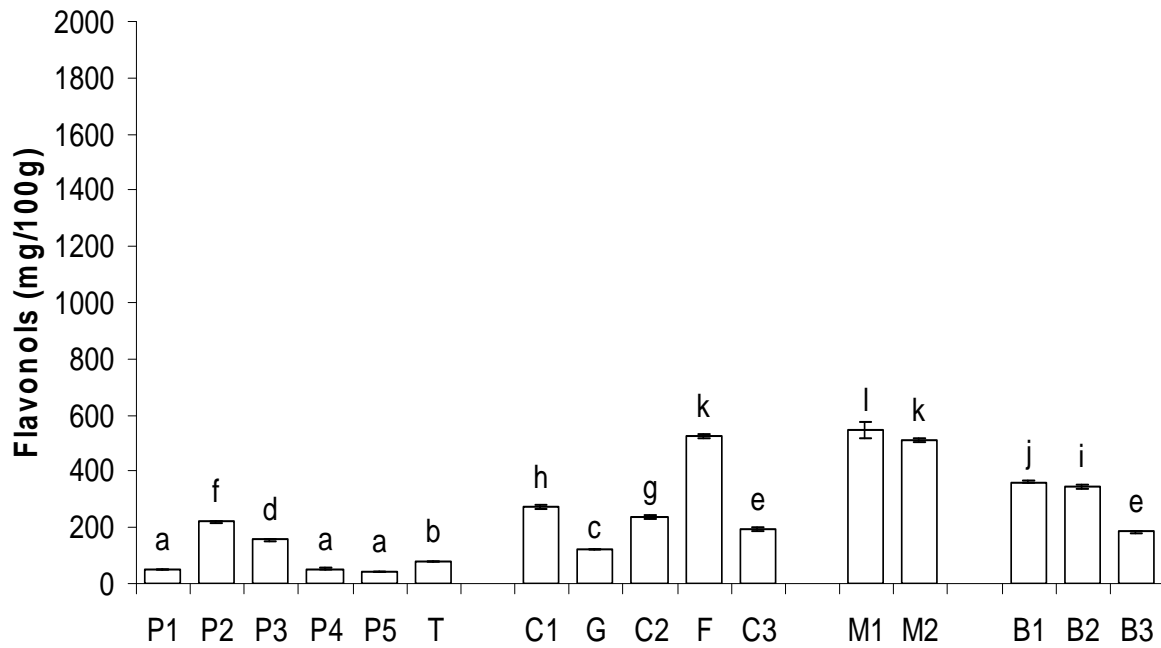


Figure 26: Teneurs des herbes aromatiques en flavonols : température ambiante.

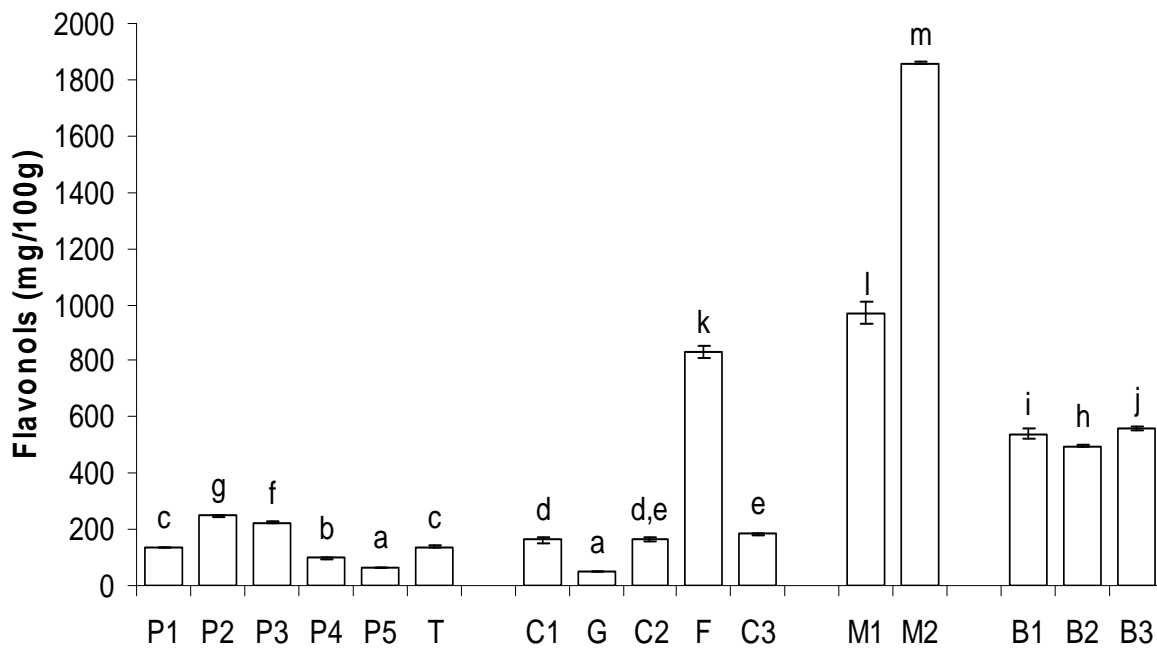


Figure 27: Teneurs des herbes aromatiques en flavonols : 100°C.

Les teneurs en flavonols varient significativement selon la température d'extraction. Elles augmentent avec la température d'extraction ; c'est le cas de M2 (512 et 1859 mg/100g) et des fleurs de la coriandre (524 et 833 mg/100g). Par contre, dans le cas des feuilles et des graines (G) de la coriandre, les teneurs en flavonols sont meilleures dans les extraits obtenus à température ambiante. Pour les graines, les teneurs sont de 120 et 49 mg/100g ; pour les extraits de la coriandre, ces teneurs sont de 274 et 163 mg/100g, pour l'échantillon C1.

Selon Ribéreau-Gayon (1968), l'ébullition peut hydrolyser certains hétérosides des flavonoïdes ce qui peut causer leur détérioration.

Pour la majorité des échantillons, il existe une forte corrélation (figure 28) entre les teneurs en flavonols à température ambiante et celles à 100°C ($r=0,81$).

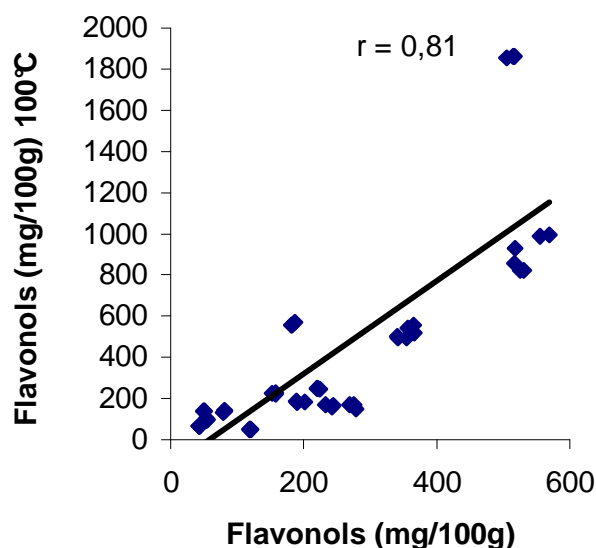


Figure 28: Corrélation entre les teneurs en flavonols des extraits à température ambiante et des extraits à 100°C.

1.4.3. Les tannins condensés

Les résultats du dosage des tannins condensés dans les extraits à température ambiante varient de 126 mg/100g (B3) à 657 mg/100g (M1) (figure 29) et de 222mg/100g (P4) à 2040 mg/100g (M2) pour les extraits obtenus à 100°C (figure 30).

Dans le cas des extraits à température ambiante (figure 29), les données du dosage des tannins condensés présentent des différences significatives ($P<0,05$)

pour les quatre herbes ; l'exemple de P1 (265 mg/100g), C1 (438 mg/100g) et B1 (413 mg/100g). Comme dans le cas des flavonols, l'échantillon de menthe M1 est plus riche en tannins (657 mg/100g) que les autres plantes.

L'origine géographique n'a pas d'effet sur les teneurs en tannins des extraits à température ambiante du basilic B1 (413 mg/100g) et B2 (409 mg/100g), mais l'effet de la variété est observé entre B2 (409 mg/100g) et B3 (126 mg/100g). Les échantillons de persil des trois régions présentent aussi des résultats différents ($P < 0,05$) ; P1 (265 mg/100g), P2 (448 mg/100g) et P4 (147 mg/100g).

Les teneurs en tannins des extraits obtenus à 100°C (figure 30) présentent également des différences significatives ($P < 0,05$) pour les quatre herbes : P1 (407mg/100g), C1 (1090 mg/100g), M1 (1404 mg/100g) et B1 (1359 mg/100g).

Dans le cas des extraits à 100°C, les résultats diffèrent significativement ($P < 0,05$) en fonction de l'origine géographique (figure 30) ; à titre d'exemple, les échantillons de la coriandre C1 (Akbou) et C2 (Oued-Ghir) qui présentent des teneurs respectives de 1090mg/100g et 443 mg/100g.

Le facteur variétal influence les teneurs en tannins dans les extraits à 100°C ; les teneurs des variétés pourpre (B2) et verte (B3) du basilic sont de 1140 mg/100g et 1441 mg/100g, respectivement.

Comme pour les polyphénols, les extraits des fleurs de la coriandre renferment une teneur en tannins condensés supérieure à celle des extraits de feuilles ; pour les extraits préparés à température ambiante, les teneurs respectives sont de 393 mg/100g et 210 mg/100g. Par contre, les graines de la coriandre présentent des teneurs inférieures à celles des feuilles : à 100 °C, les teneurs sont de 259 mg/100g et 1090 mg/100g, respectivement.

L'effet de la température d'extraction sur les teneurs en tannins condensés est observé pour les quatre herbes. Les résultats du dosage des tannins condensés dans les extraits réalisés à température ambiante et ceux obtenus à 100°C sont significativement différents ($P < 0,05$) ; les teneurs en tannins augmentent considérablement lors de l'extraction à 100°C : coriandre C1 (438 à 1090 mg/100g), menthe M2 (550 à 2040 mg/100g), et basilic B3 (126 à 1441 mg/100g).

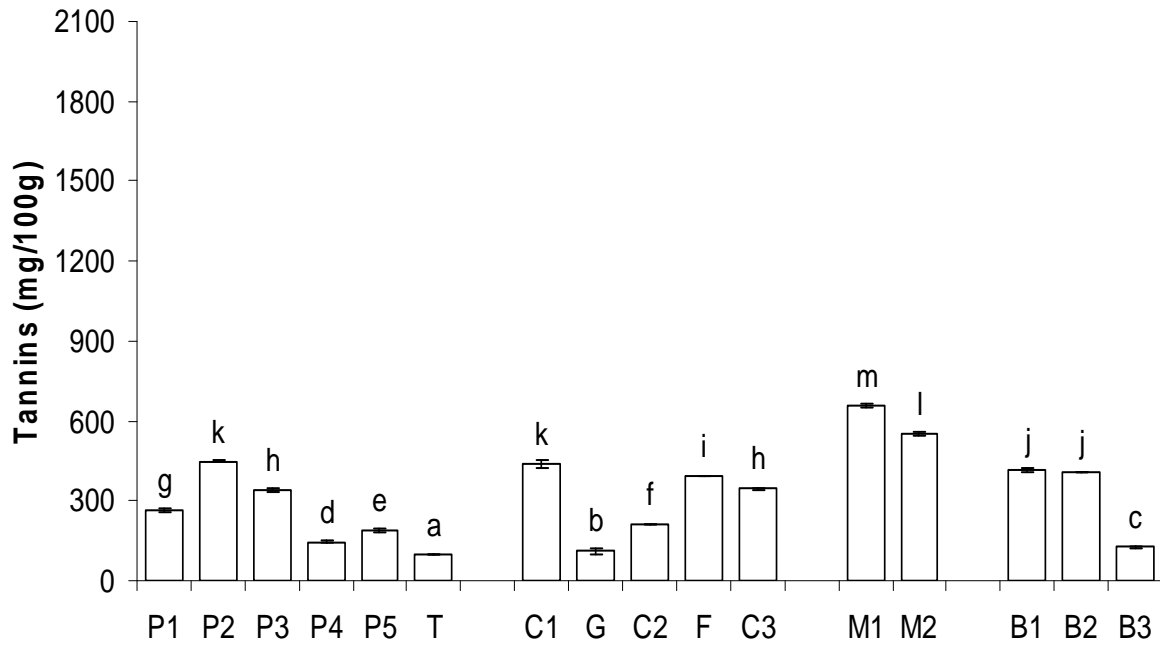


Figure 29: Teneurs des herbes aromatiques en tannins condensés: température ambiante.

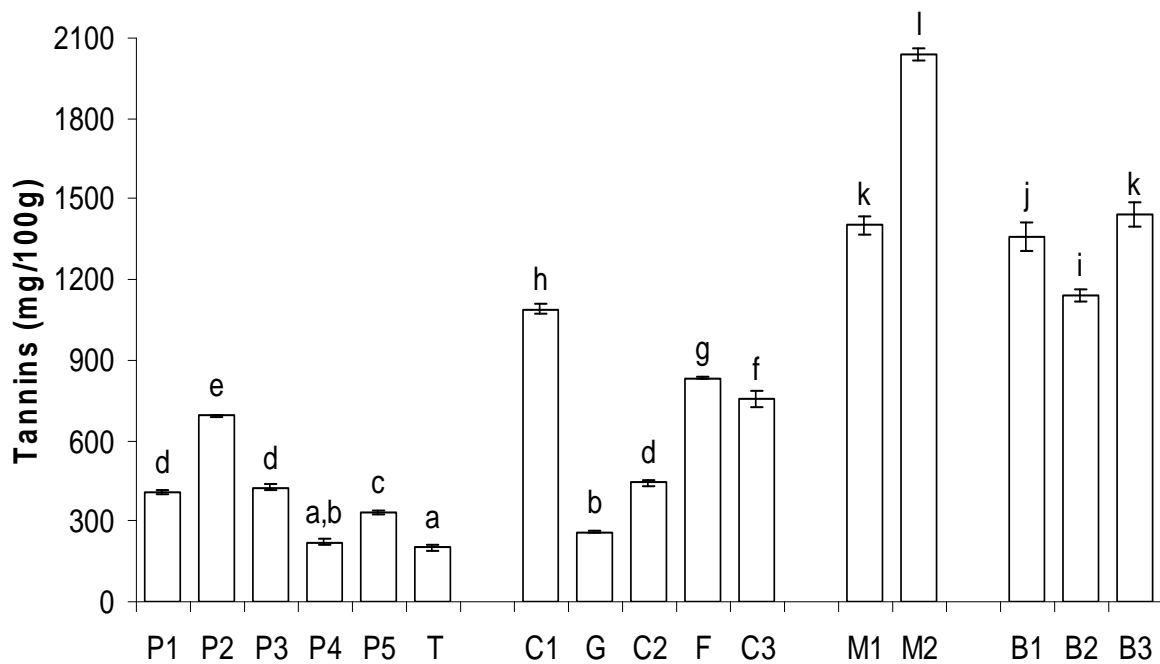


Figure 30: Teneurs des herbes aromatiques en tannins condensés: 100°C.

Les résultats obtenus pour les quatre herbes aromatiques présentent une corrélation positive ($r=0,68$) pour les extraits aqueux aux deux températures (figure 31).

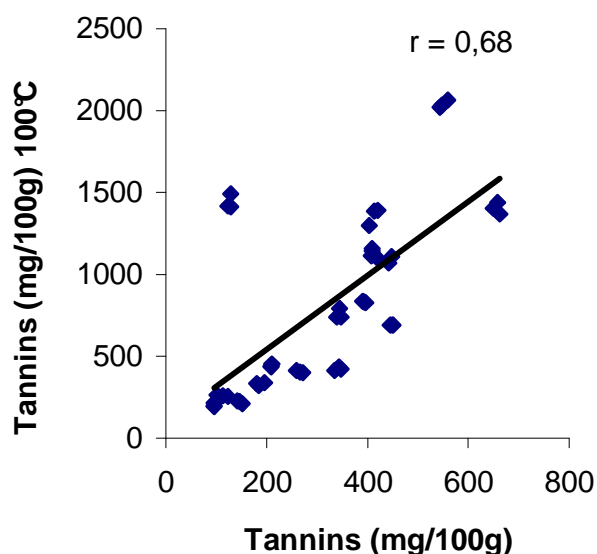


Figure 31: Corrélation entre les teneurs en tannins condensés des extraits à température ambiante et des extraits à 100°C.

1.4.4. Les anthocyanines

Les résultats du dosage des anthocyanines dans les herbes aromatiques (tableau IV) indiquent l'absence de ces pigments dans la plupart des extraits. Pour la coriandre, seul l'échantillon C1, renferme des anthocyanines (14,32 mg/100g).

Les fleurs de la coriandre, dont les pétales sont de couleur rose claire, sont une source d'anthocyanines (65,43 mg/100g).

La différence qui existe entre les deux variétés de basilic est soulignée par la présence d'anthocyanines dans les échantillons de la variété pourpre (B1 : 16,02mg/100g et B2 : 11,20 mg/100g) et l'absence de ces composés dans la variété verte (B3). Ceci est en accord avec les résultats de Phippen et Simon (2000).

Simon *et al.* (1999) indiquent que les feuilles du basilic pourpre analysées par HPLC renferment des teneurs en anthocyanines allant de 6,5 à 18,7 mg/100g MF. Dans le cas de nos échantillons, des teneurs obtenues sont seulement de 1,79mg/100g (B2) et 2,86 mg/100g MF (B1).

Tableau IV: Teneurs des herbes aromatiques en anthocyanines

Echantillons	Anthocyanines (mg/100g)
Persil (feuilles et tiges)	ND
Coriandre (C1)	14,32 ± 0,55 ^b
Coriandre (C2 et C3)	ND
Graines de la coriandre (G)	
Fleurs de la coriandre (F)	65,43 ± 1,71 ^c
Menthe (M1 et M2)	ND
Basilic B1	16,02 ± 0,37 ^b
Basilic B2	11,20 ± 0,11 ^a
Basilic B3	ND

ND : Non Détecté

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents avec $P < 0,05$.

2. Activité antioxydante

2.1. Pouvoir réducteur

Les résultats du pouvoir réducteur (exprimés en g d'acide ascorbique/100g) des extraits aqueux à température ambiante (figure 32) présentent des différences significatives ($P < 0,05$) pour les quatre herbes ; le pouvoir réducteur varie entre 1,1g/100g (B3) et 4,8 g/100g (M2).

Pour les extraits obtenus à 100°C (figure 33), les capacités réductrices sont également différentes ; elles varient entre 1,6 g/100g (C2) et 10,1 g/100g (M2), indiquant ainsi que les extraits de menthe présentent le meilleur pouvoir réducteur. Ceci serait dû à la richesse de ces extraits en composés phénoliques.

Selon Hinneburg *et al.* (2006), l'extrait aqueux (hydrodistillation) du basilic montre un pouvoir réducteur plus élevé (54 mmol AA/100g d'extrait) que celui du persil (6 mmol/100g). Dans le cas de notre étude, les extraits du persil préparés à température ambiante présentent une capacité réductrice supérieure à celle des extraits du basilic, mais le contraire est noté pour les extraits obtenus à 100°C.

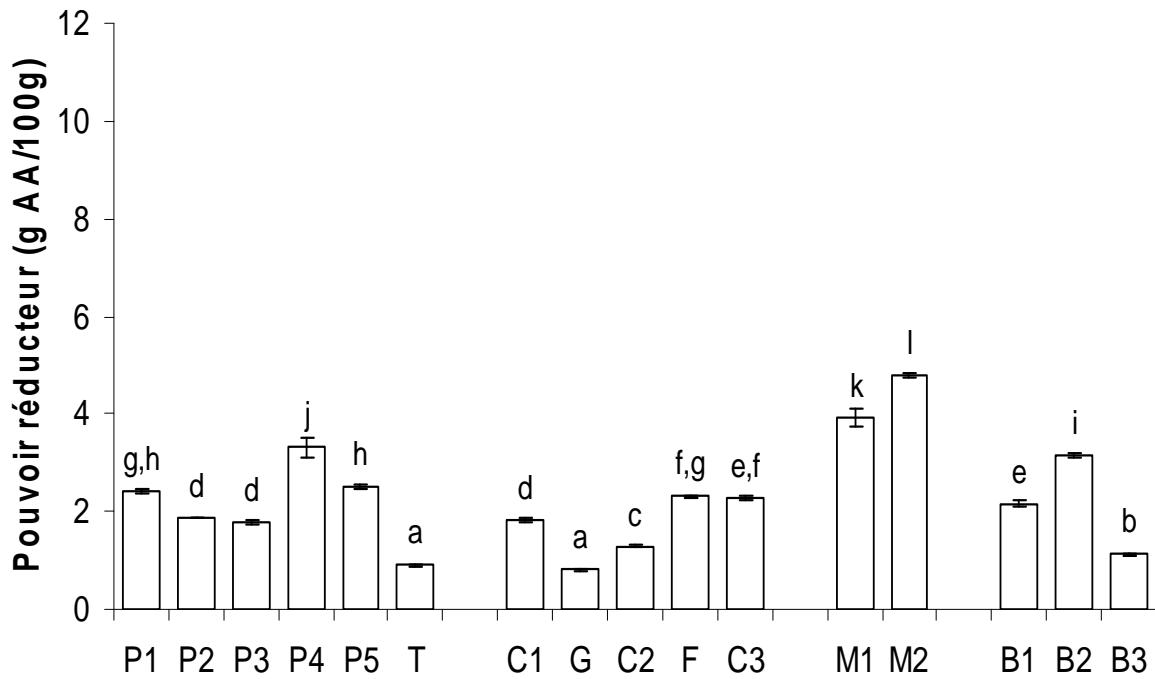


Figure 32: Pouvoir réducteur des extraits d'herbes aromatiques : température ambiante.

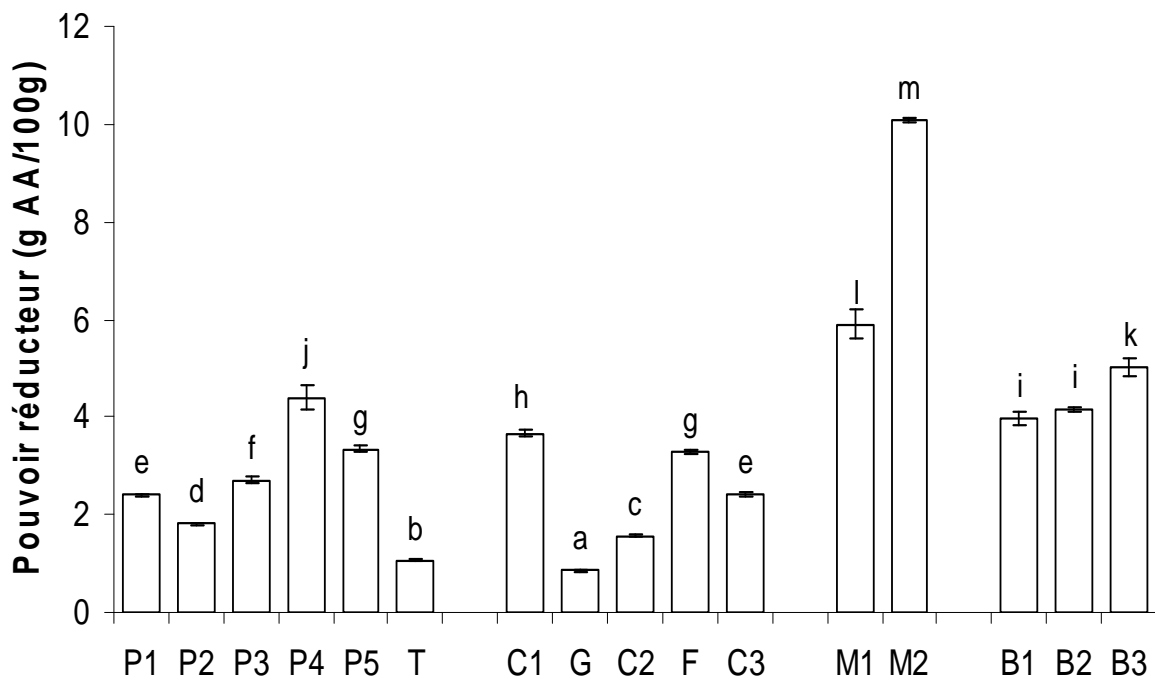


Figure 33: Pouvoir réducteur des extraits d'herbes aromatiques : 100°C.

Les données des figures 32 et 33 montrent que le pouvoir réducteur des herbes étudiées varie selon l'origine ; à 100°C, les échantillons de persil P2 (Oued-Ghir) et P4 (Aokas) présentent des pouvoirs réducteurs de 1,8 g/100g et 4,4 g/100g, respectivement. Pour la menthe, les échantillons M1 (Akbou) et M2 (Oued-Ghir) ont des pouvoirs réducteurs de 5,9 et 10,1 g/100g, respectivement.

En considérant les variétés, les deux échantillons du basilic B2 (variété pourpre) et B3 (variété verte) présentent des différences significatives ($P < 0,05$): à température ambiante, les valeurs du pouvoir réducteur sont de 3,1 g/100g et 1,1 g/100g, respectivement.

Pour les organes, les fleurs ont un pouvoir réducteur (2,3 g/100g) supérieur à celui des feuilles de la coriandre (1,3 g/100g) (figure 32).

Le pouvoir réducteur de certains extraits est influencé par la température d'extraction : c'est le cas de l'échantillon du basilic B3 dont la capacité réductrice est de 1,1 g/100g à température ambiante et de 5 g/100g à 100°C ; ceci serait dû à la meilleure libération des antioxydants, principalement des composés phénoliques, à partir de la matrice végétale, à 100 °C.

Une forte corrélation existe entre les capacités réductrices obtenues pour les extraits obtenus à température ambiante et à 100°C ($r = 0,82$) (figure 34).

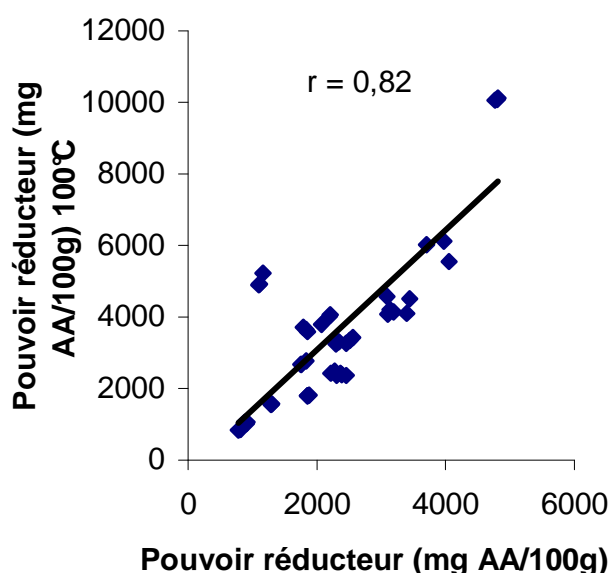


Figure 34: Corrélation entre le pouvoir réducteur des extraits à température ambiante et des extraits à 100°C.

2.2. Pouvoir anti-radicalaire

Les résultats de l'activité anti-radicalaire (exprimés en mg équivalent acide ascorbique/100g) des extraits aqueux présentent des différences significatives ($P < 0,05$) pour les quatre herbes. Pour les extraits à température ambiante, l'activité anti-radicalaire varie entre 103,5 mg/100g (B3) et 352,4 mg/100g (M2) (figure 35). Dans le cas des extraits obtenus à 100°C, l'activité est comprise entre 104,6 mg/100g (C1) et 512,7 mg/100g (M2) (figure 36). Par contre, aucune différence n'est observée entre les résultats du pouvoir anti-radicalaire du persil P1 (132,3mg/100g) et de la coriandre C1 (143,5 mg/100g); les échantillons de persil P5 (180,7mg/100g) et de la coriandre C3 (181,7 mg/100g) présentant également la même activité (figure 35). Les données obtenues pour les extraits à 100°C, pour les échantillons C3, P4 et P5 sont similaires (218, 225,4 et 225,3 mg/100g, respectivement). Les extraits du basilic B1 (342,7 mg/100g) et de la menthe M1 (332,8mg/100g) ne présentent pas de différence significative ($P > 0,05$) (figure 36).

Concernant l'effet de la région sur l'activité anti-radicalaire des herbes aromatiques étudiées, aucune différence significative ($P > 0,05$) n'est constatée pour les extraits à température ambiante des échantillons de la coriandre C1 (143,5 mg/100g) et C2 (151,6 mg/100g). Par contre, il existe une différence significative ($P < 0,05$) entre les échantillons de menthe M1 (294,5 mg/100g) et M2 (352,4 mg/100g), du basilic B1 (241,5 mg/100g) et B2 (224,7 mg/100), du persil P1 (132,3mg/100g), P2 (199,6mg/100g) et P4 (156,6 mg/100g) et de la coriandre C1 (143,5 mg/100g) et C3 (181,7 mg/100g).

La différence de cultivar explique la différence constatée entre les deux variétés de basilic B2 (225 mg/100g) et B3 (103 mg/100g).

Le pouvoir anti-radicalaire des extraits à 100°C diffère significativement ($P < 0,05$) selon l'origine géographique : les échantillons de basilic B1 (Akbou) et B2 (Aokas) ont des activités respectives égales à 342,7 mg/100g et 274,14 mg/100g ; les échantillons de menthe M1 (Akbou) et M2 (Oued-Ghir) ont des activités de 332,8 et 512,7 mg/100g, respectivement. Pour les extraits de la coriandre C1 (Akbou) et C2 (Oued-Ghir), le pouvoir anti-radicalaire est de 104,6 et 261,6mg/100g, respectivement.

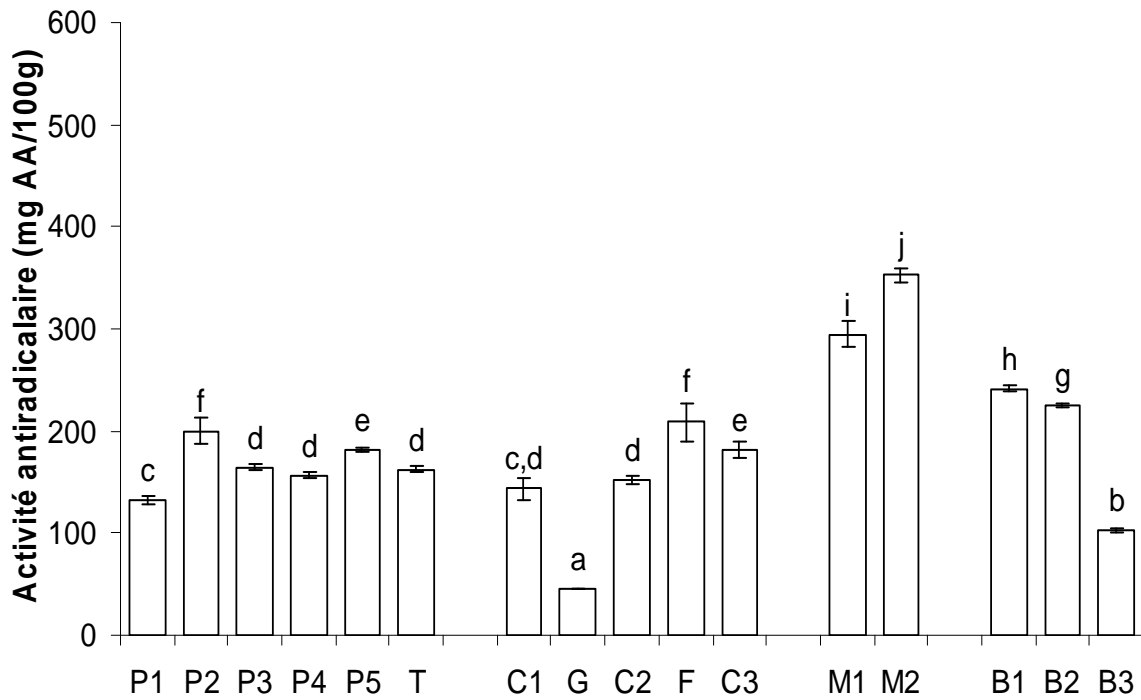


Figure 35: Inhibition du radical DPPH \cdot par les extraits aqueux d'herbes aromatiques : température ambiante.

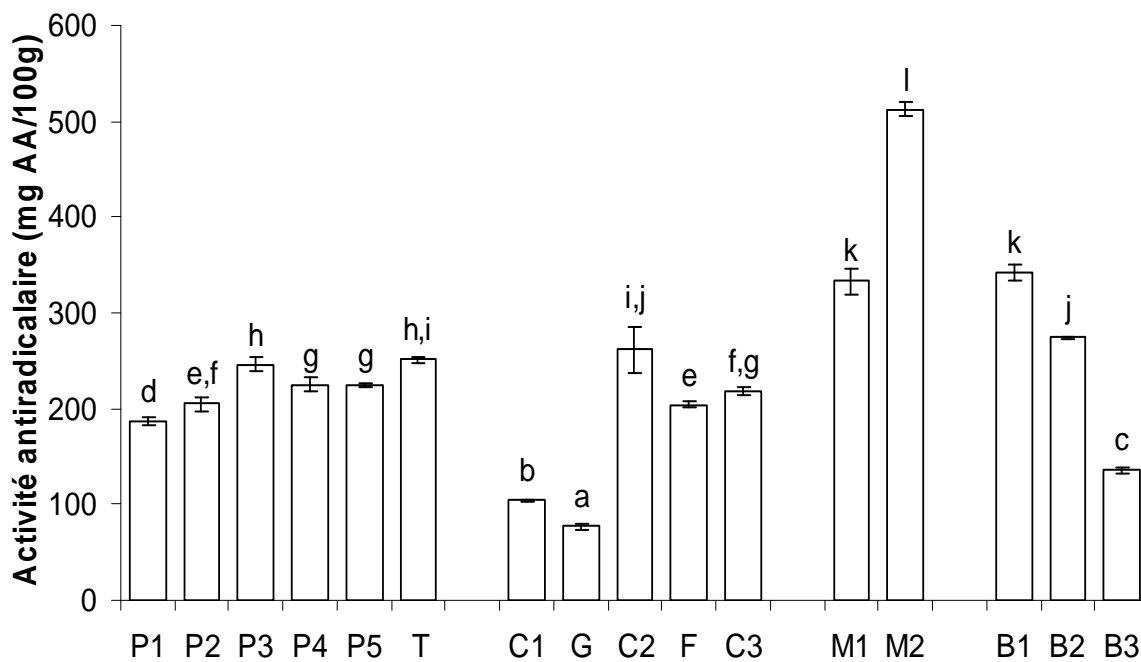


Figure 36: Inhibition du radical DPPH \cdot par les extraits aqueux d'herbes aromatiques : 100°C.

Les résultats enregistrés pour les extraits à 100°C des échantillons de persil P2 (204,9 mg/100g) et P3 (246,3 mg/100g) montrent des différences. Par contre les valeurs obtenues pour P4 (225,4 mg/100g) et P5 (225,3 mg/100g) ne sont pas significativement différentes.

A température ambiante, le pouvoir anti-radicalaire des extraits de fleurs de la coriandre (209 mg/100g) est supérieur à celui des feuilles (151,6 mg/100g). Cependant, à 100°C, la capacité anti-radicalaire des extraits de feuilles de la coriandre (261,6 mg/100g) est supérieure à celle des fleurs (203,8 mg/100g).

Le pouvoir anti-radicalaire des extraits des herbes aromatiques étudiées varie significativement selon la température d'extraction. Pour l'échantillon de menthe M2, le pouvoir antiradicalaire des extraits est de 352,4 mg/100g, à température ambiante, et de 512,7 mg/100g, à 100°C ; pour l'échantillon du basilic B3, cette activité est de 103,5 mg/100g et de 136 mg/100g. Ceci est en accord avec les résultats de l'étude menée par Katalinic *et al.* (2006) ; l'activité anti-radicalaire des infusions de la mélisse (*Melissae folium*) à 20°C et à 98°C (30min) est de 47,91% et 85,55%, respectivement. Par contre, pour notre échantillon de la coriandre C1, le pouvoir anti-radicalaire est plus faible à 100°C (104,6 mg/100g) qu'à température ambiante (143,5 mg/100g). Roy *et al.* (2007) indiquent que l'activité anti-radicalaire du jus d'épinards, chauffé à 100°C pendant 10 min, diminue de 40% par rapport au jus cru. Ceci serait dû à la dégradation des substances anti-radicalaires sous l'effet de la chaleur.

Les activités anti-radicalaires obtenues pour les extraits aqueux à température ambiante et à 100°C sont fortement corrélées ($r=0,90$) (figure 37), ce qui prouve que le pouvoir anti-radicalaire des extraits des herbes aromatiques étudiées augmente avec la température d'extraction.

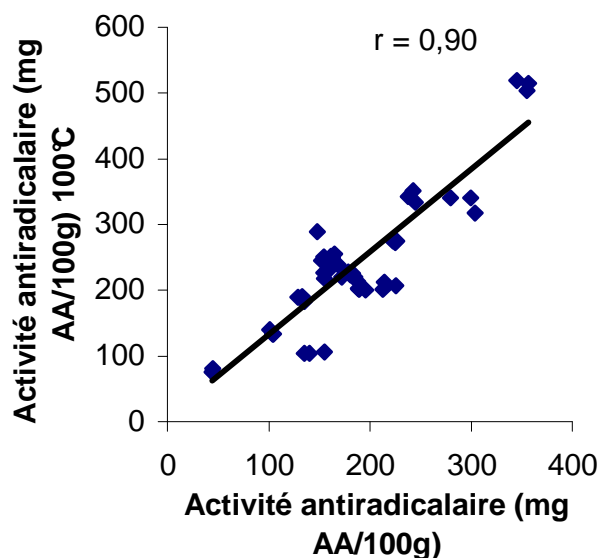


Figure 37: Corrélacion entre l'activité anti-radicalaire des extraits à température ambiante et des extraits à 100°C.

2.3. Inhibition de la peroxydation de l'acide linoléique

Les résultats montent que les extraits obtenus à température ambiante inhibent l'oxydation de l'acide linoléique avec un taux compris entre 17,5 % (basilic B3) et 69,1 % (coriandre C3) (figure 38). Les extraits de certaines herbes présentent un effet inhibiteur similaire ; il s'agit notamment des extraits des échantillons de la coriandre C1 (66,8%), de la menthe M1 (65,2 %), et du basilic B1 (65,7 %) cultivés à Akbou. Les échantillons de persil P4 (67,5 %) et de la coriandre C3 (69,1 %) cultivés à Aokas présentent également un pourcentage d'inhibition semblable.

Pour les extraits à 100°C, les données indiquent également qu'il existe des différences entre les herbes étudiées (figure 39); les taux d'inhibition varient entre -72,3 % (basilic B1) et 68,8% (menthe M1). Par contre, les résultats obtenus pour les échantillons C3 (62,4%) et B2 (54,4 %) ne présentent pas de différence significative ($P > 0,05$).

Des différences sont observées pour les herbes étudiées selon l'origine ; c'est le cas des échantillons de persil cultivés à Akbou (32,4 %) et à Aokas (67,5%), de la coriandre cultivée à Akbou (66,8 %) et à Oued-Ghir (37,3 %), et de la menthe cultivée à Akbou (65,2 %) et à Oued-Ghir (39,7 %)(figure 38).

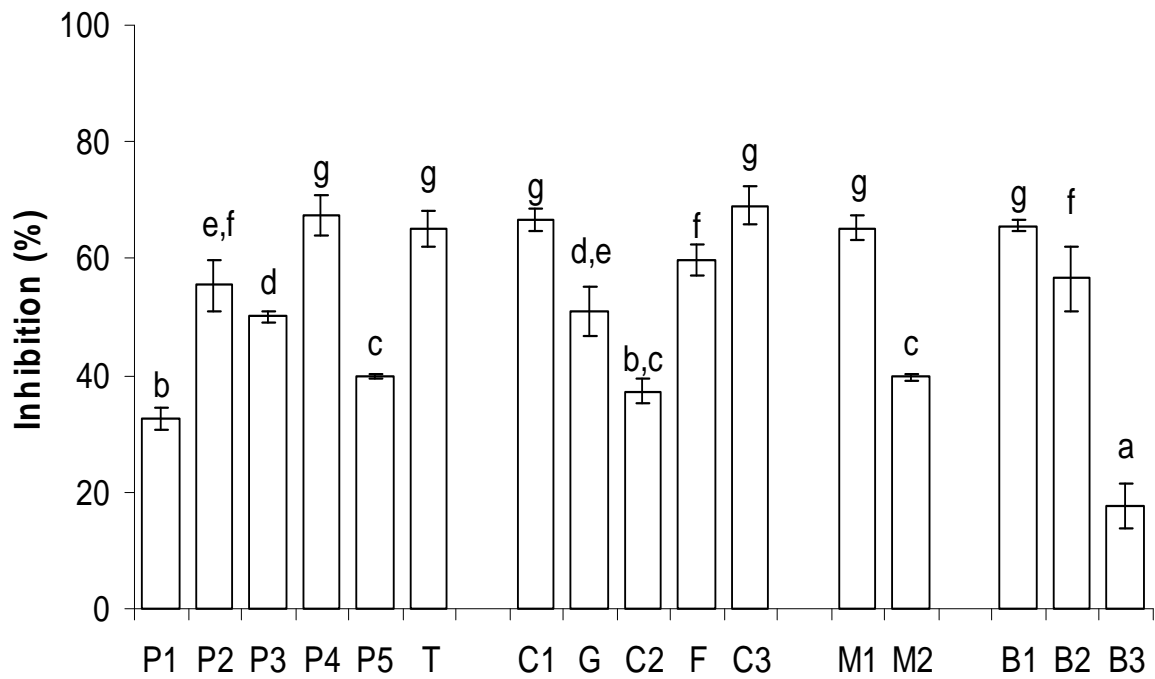


Figure 38: Inhibition de la peroxydation de l'acide linoléique par les extraits obtenus à température ambiante.

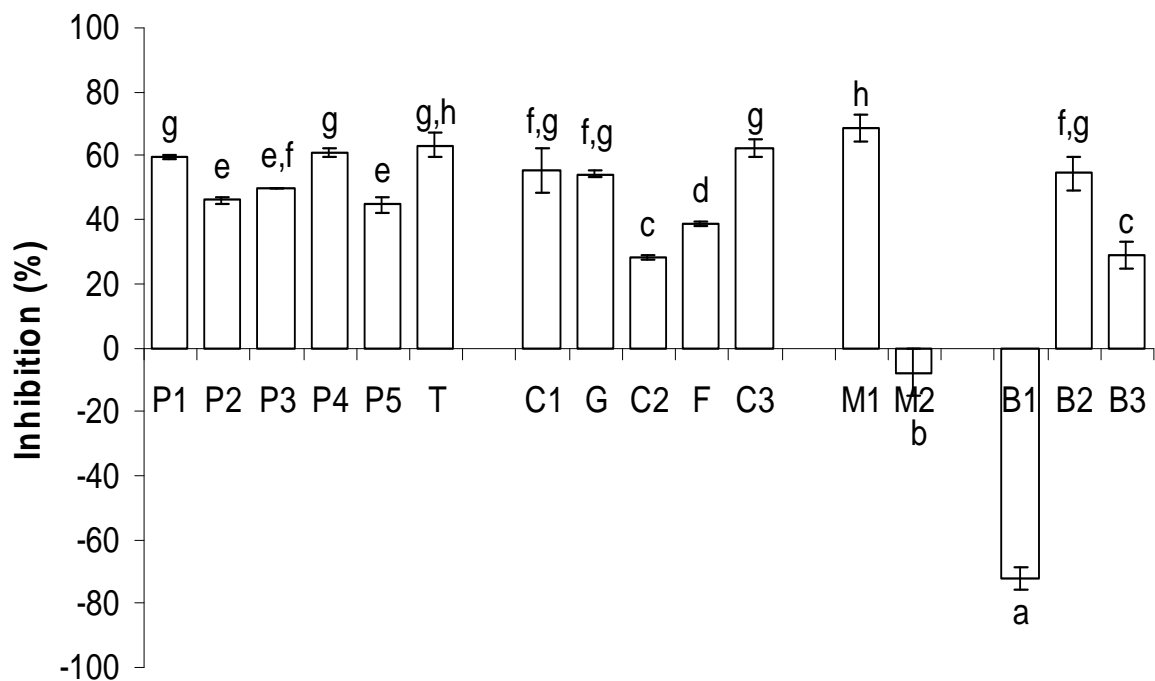


Figure 39: Inhibition de la peroxydation de l'acide linoléique par les extraits obtenus à 100°C.

L'effet de la variété est observé sur les résultats des extraits du basilic ; les extraits obtenus à température ambiante des variétés pourpre et verte inhibent l'oxydation avec des taux respectifs de 56,5 % et 17,5 %.

Pour les extraits à 100°C (figure 39), il existe une nette différence entre les échantillons de menthe provenant d'Akbou (68,8 %) et de Oued-Ghir (-7,8 %) et du basilic cultivé à Akbou (-72,3 %) et à Aokas (54,4 %).

Les extraits de tige de persil sont plus inhibiteurs de la peroxydation que les extraits de feuilles ; à température ambiante, les taux d'inhibition sont de 65,1 % et 40 %. Les extraits des graines (54,1 %) et des feuilles de la coriandre (55,1 %) ne présentent pas de différence significative ($P > 0,05$) dans le cas des extraits à 100°C. A température ambiante, l'activité antioxydante des extraits de graines (51 %) est inférieure à celle des extraits de feuilles de cette même herbe (66,8 %).

Pour la majorité des extraits analysés, l'inhibition de la peroxydation est significativement dépendante de la température d'extraction. Ainsi, dans certains cas comme l'échantillon de la coriandre C2 (37,3 et 28,2 %), l'inhibition de la peroxydation diminue lorsque cette température augmente. Dans d'autres cas (M2 et B1), un effet pro-oxydant est observé à 100°C. Néanmoins, cet effet disparaît lorsque les extraits sont dilués.

Les résultats de Wong et Kitts (2006) indiquent que les extraits aqueux des tiges de persil ont un effet pro-oxydant dans une émulsion d'acide linoléique, mais qui diminue dans le temps de -80% (0H) à -20% (24H).

Un autre cas d'étude est rapporté par Arabshahi-D *et al.* (2007), montrant qu'un chauffage d'un extrait de menthe à 100°C pendant 15 min, s'accompagne d'une augmentation de sa capacité antioxydante (acide linoléique), de 15%. Selon ces auteurs, le traitement thermique a peut être augmenté la biodisponibilité des antioxydants présents dans l'extrait ou a induit la formation de composés ayant des propriétés antioxydantes dans l'extrait.

De manière générale, dans les émulsions, les molécules de polyphénols ont la capacité de réduire les peroxydes, là elles jouent le rôle d'antioxydants car la forme radicalaire est stable; cependant, si leur concentration est élevée dans les extraits, le

nombre des molécules phénoliques oxydées augmente, de ce fait elles arrachent des protons sur d'autres molécules et deviennent des oxydants.

Aucune corrélation n'existe entre la capacité inhibitrice de la peroxydation de l'acide linoléique des extraits à température ambiante et de ceux obtenus à 100°C (figure 40) ; il existe en fait une relation inverse entre la capacité à inhiber l'oxydation des acides gras et la concentration des extraits en composés phénoliques.

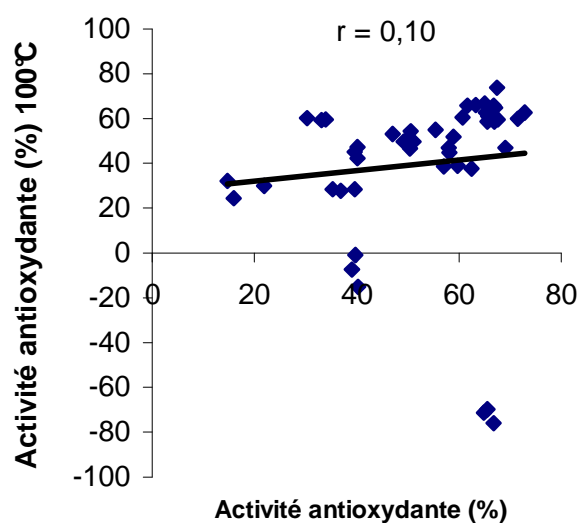


Figure 40: Corrélation entre les pourcentages d'inhibition de la peroxydation de l'acide linoléique des extraits à température ambiante et à 100°C.

3. Corrélations entre les teneurs en antioxydants et l'activité antioxydante

D'après les résultats de l'analyse statistique, une bonne corrélation existe entre les teneurs en composés phénoliques et en flavonoïdes ($r=0,8$). Par contre, une relation faible existe entre les teneurs en flavonols et en polyphénols des extraits préparés à température ambiante ($r=0,48$) ; pour les extraits à 100°C, le coefficient de corrélation est meilleur ($r=0,78$). Dans le cas des tannins, la corrélation est également meilleure à 100 °C (tableaux V et VI).

Une bonne corrélation linéaire existe entre le pouvoir réducteur et les teneurs en composés phénoliques des extraits des herbes aromatique étudiées à température ambiante ($r=0,97$) et à 100°C ($r=0,96$). Ceci confirme les résultats de Hinneburg *et al.* (2006) sur le basilic et le persil. Les teneurs en flavonoïdes, classe principale de

composés phénoliques, et en tannins condensés sont en relation étroite avec le pouvoir réducteur des extraits (tableaux V et VI).

Les classes de composés phénoliques dosées dans les extraits aqueux des herbes analysées montrent une corrélation linéaire avec l'activité anti-radicalaire (tableaux V et VI) similaire à celle rapportée par Javanmardi *et al.* (2003) lors de l'étude des extraits acétoniques du basilic Iranien ($r=0,84$). Mais les auteurs indiquent que cette activité n'est pas limitée qu'aux polyphénols.

Les résultats de Wangensteen *et al.* (2004) montrent l'existence d'une relation directe entre les teneurs en composés phénoliques polaires et le pouvoir anti-radicalaire des extraits éthanoliques de la coriandre; les auteurs suggèrent que les flavonoïdes, les acides phénoliques et les terpénoïdes présents dans la coriandre contribuent probablement à cet effet. Les résultats de Kanatt *et al.* (2007) indiquent également qu'une corrélation existe entre les teneurs en composés phénoliques des extraits de menthe et le pouvoir anti-radicalaire ($r=0,99$). Par contre, Hinneburg *et al.* (2006) n'ont constaté aucune relation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité anti-radicalaire des extraits aqueux du basilic et du persil.

Pour les extraits à température ambiante, la capacité inhibitrice de la peroxydation de l'acide linoléique n'est pas due aux composés phénoliques, car les coefficients de corrélation (tableau V) sont faibles dans le cas des polyphénols ($r=0,17$) et des flavonoïdes ($r=0,05$) et moyennement faibles dans le cas des flavonols ($r=0,20$) et des tannins ($r=0,31$).

Selon Hinneburg *et al.* (2006), les teneurs en polyphénols des extraits aqueux du basilic et du persil montrent une bonne corrélation linéaire ($r=0,86$) avec l'activité antioxydante (acide linoléique).

Concernant la relation qui existe entre le pouvoir réducteur et l'activité anti-radicalaire des extraits des herbes étudiées, les coefficients de corrélation obtenus sont de 0,82 à température ambiante contre 0,70 à 100 °C (tableaux V et VI).

D'après les résultats obtenus, une corrélation faible (tableau V) existe entre l'activité antioxydante (inhibition de la peroxydation de l'acide linoléique) et le pouvoir réducteur des extraits des quatre herbes aromatiques ($r=0,13$), et entre les activités antioxydante et anti-radicalaire ($r=0,22$). Cependant, des corrélations

négatives sont observées dans le cas des extraits préparés à 100°C (tableau VI), entre l'activité antioxydante et le pouvoir réducteur, ainsi qu'entre l'activité antioxydante et l'activité anti-radicalaire. Par contre, Hinneburg *et al.* (2006) indiquent l'existence d'une relation étroite entre l'activité antioxydante des extraits aqueux du basilic et du persil (acide linoléique) et le pouvoir réducteur ($r=0,95$) et entre les activités antioxydante et anti-radicalaire ($r=0,72$).

Les relations ambiguës qui existent entre les teneurs en antioxydants et l'activité antioxydante sont difficiles à expliquer en se basant uniquement sur une analyse quantitative. La synergie qui existe entre ces composés bioactifs et les autres constituants de la plante peut aussi influencer la différence dans la capacité antioxydante des extraits de plantes.

Tableau V: Matrice de corrélation entre les teneurs en substances anti-oxydantes et l'activité anti-oxydante des extraits aqueux à température ambiante.

Paramètres	Composés phénoliques			Pouvoir réducteur	Activité anti-radicalaire	Activité anti-oxydante %	
	Composés phénoliques	Flavonoïdes	Flavonols				Tannins
Composés phénoliques	-	0,84***	0,48***	0,69***	0,97***	0,82***	0,17
Flavonoïdes		-	0,64***	0,85***	0,79***	0,84***	0,05
Flavonols			-	0,81***	0,54***	0,74***	0,20
Tannins				-	0,67***	0,80***	0,31*
Pouvoir réducteur					-	0,82***	0,13
Activité anti-radicalaire						-	0,22
Activité anti-oxydante %							-

Significativité statistique ; * : corrélation significative ($P < 0,05$), ** : corrélation hautement significative ($P < 0,01$), *** : corrélation très hautement significative ($P < 0,001$), les coefficients de corrélations ne portant aucune étoile ne sont pas significatifs.

Tableau VI: Matrice de corrélation entre les teneurs en substances anti-oxydantes et l'activité anti-oxydante des extraits aqueux à 100°C.

Paramètres	Composés phénoliques	Flavonoïdes	Flavonols	Tannins	Pouvoir réducteur	Activité anti- radicalaire	Activité anti- oxydante %
Composés phénoliques	-	0,83***	0,78***	0,75***	0,96***	0,63***	-0,41**
Flavonoïdes		-	0,95***	0,91***	0,91***	0,74***	-0,50***
Flavonols			-	0,84***	0,87***	0,75***	-0,41**
Tannins				-	0,83***	0,56***	-0,51***
Pouvoir réducteur					-	0,70***	-0,35*
Activité anti- radicalaire						-	-0,49***
Activité antioxydante %							-

Significativité statistique ; * : corrélation significative ($P < 0,05$), ** : corrélation hautement significative ($P < 0,01$), *** : corrélation très hautement significative ($P < 0,001$), les coefficients de corrélation ne portant aucune étoile ne sont pas significatifs.

Conclusion

Conclusion

Les plantes aromatiques étudiées sont une source de composés actifs, dont l'acide ascorbique qui est un puissant antioxydant ; il est présent dans les herbes à des teneurs allant de 9 mg/100g à 136 mg/100g MS. La menthe et le persil se situent en premier (136 mg/100g et 123/100g, respectivement). Les plantes étudiées sont également riches en caroténoïdes (179 à 434 mg/100g) et en chlorophylles (0,64 à 2,29 g/100g) qui sont des antioxydants lipophiles.

Les concentrations en antioxydants et l'activité anti-oxydante varient selon le type de plante, la variété, l'origine des semences, l'organe de la plante, l'origine géographique et la température d'extraction.

Les polyphénols, métabolites secondaires des plantes supérieures, qui sont d'excellents antioxydants, sont présents en quantités appréciables (0,50 à 3,43g/100g MS) dans les extraits aqueux des herbes étudiées, dont 20 à 64% sous forme de flavonoïdes (0,27 à 1,66 g/100g), 2 à 39% de flavonols (43 à 548 mg/100g) et 6 à 35% de tannins condensés (127 à 657 mg/100g). Les extraits de la menthe renferment la plus grande teneur en composés phénoliques totaux avec une moyenne de 3,07 g/100g MS, suivis par le persil (1,75 g/100g), la coriandre (1,41g/100g) et enfin le basilic (1,28 g/100g).

La température de 100°C a permis d'extraire de meilleures quantités de composés phénoliques (1,19-7,35 g/100g MS) ; les flavonoïdes représentent 10 à 65% (0,46-4,72 g/100g) des polyphénols totaux, 2 à 39% (65-1859 mg/100g) des composés phénoliques sont sous forme de flavonols et 5 à 43% (222-2039mg/100g) de tannins condensés. Les extraits des échantillons de la menthe, préparés à 100°C, présentent également des teneurs en polyphénols (5,55 g/100g) plus élevées que le basilic (3,65 g/100g), le persil (2,68 g/100g) et la coriandre (2,18 g/100g).

L'activité anti-oxydante des extraits aqueux a été évaluée au moyen de trois méthodes : le test du pouvoir réducteur (1,12-4,79 g EAA/100g MS), l'activité anti-radicalaire (104-352 mg EAA/100g) et l'inhibition de la peroxydation de l'acide linoléique (18-69 %). Les extraits de la menthe montrent le meilleur pouvoir réducteur avec une moyenne de 4,35 g EAA/100g MS, par rapport aux extraits du persil (2,37 g/100g), du basilic (2,14 g/100g) et de la coriandre (1,79g/100g). En se basant sur l'activité anti-radicalaire, les herbes étudiées peuvent être classées dans l'ordre suivant : menthe>basilic>persil>coriandre, avec des activités moyennes respectives de 323, 190, 167 et 159 mg EAA/100g MS. Concernant l'activité anti-oxydante, les extraits de la coriandre présentent le meilleur taux d'inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique (56%), suivis par la menthe (52%), le persil (49%) et enfin le basilic (47%).

Le pouvoir réducteur (0,85-10 g EAA/100g MS) et l'activité antiradicalaire (136-513 mg EAA/100g) des extraits aqueux obtenus à 100°C sont supérieurs à ceux des extraits préparés à température ambiante. Cependant, les résultats de l'inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique sont inférieurs à ceux des extraits aqueux à température ambiante. Le meilleur pouvoir réducteur est obtenu avec les extraits de la menthe (7,99 g EAA/100g MS), suivis par le basilic (4,37 g/100g), le persil (2,93 g/100g) et enfin la coriandre (2,55 g/100g). Les extraits de la menthe, obtenus à 100°C, montrent également une activité anti-radicalaire (423 mg/100g MS) plus élevée que basilic (251 mg/100g), le persil (218 mg/100g) et la coriandre (195 mg/100g). Par contre, les extraits de persil, préparés à 100°C, montrent une meilleure activité antioxydante (52%), par rapport aux extraits de la coriandre (49%), de la menthe (30%) et du basilic (4%).

Concernant l'effet de l'origine géographique sur les teneurs en composés phénoliques totaux, l'analyse globale des résultats indique que les concentrations en polyphénols dans les extraits de la menthe et du persil diminuent en allant vers les

régions les moins humides (Aokas>Oued-Ghir>Akbou) ; l'effet inverse est constaté pour la coriandre et le basilic.

Une corrélation linéaire positive ($p < 0,05$) existe entre les teneurs en composés phénoliques et le pouvoir réducteur, et l'activité anti-radicalaire. Par contre, pour les extraits préparés à 100°C, il existe une relation inverse entre la concentration en polyphénols et la capacité à inhiber l'oxydation de l'acide linoléique. Les résultats indiquent que les activités réductrice et anti-radicalaire sont bien corrélées ; ceci signifie que les substances présentes dans les extraits des herbes étudiées, possèdent la propriété de réduire les oxydants et de piéger les radicaux libres.

Comme perspectives, il est nécessaire d'approfondir et de compléter la présente étude:

- en identifiant les substances bio-actives ;
- en augmentant le nombre d'échantillons et le type de plantes aromatiques ;
- en évaluant l'effet de la conservation ;
- en réalisant des essais sur des organes d'animaux isolés, sur des cultures de cellules ou sur des animaux.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

A

Agte V.V., Tarwadi K.V., Mengale S. and Chiplonkar S.A. 2000. Potential of Traditionally Cooked Green Leafy Vegetables as Natural Sources for Supplementation of Eight Micronutrients in Vegetarian Diets. *Journal of Food Composition and Analysis*. 13: 885-891.

Alais C. et Linden G. 1997. Pigments. In “Abrégé de biochimie alimentaire”. pp 119-125. Masson, Paris.

Arabshahi-D S., Devi D.V. and Urooj A. 2007. Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their heat, pH and storage stability. *Food Chemistry*. 100: 1100-1105.

Auger C., Al-Awwadi N., Bornet A., Rouanet J-M., Gasc F., Cros G. and Teissedre P-L. 2004. Catechins and procyanidins in Mediterranean diets. *Food Research International*. 37: 233-245.

Aviram M. 2004. Flavonoids-rich nutrients with potent antioxidant activity prevent atherosclerosis development: the licorice example. *International Congress Series*. 1262 : 320-327.

Awika J.M., Rooney L.W. and Waniska R. D. 2004. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. *Food Chemistry*. 90: 293-301.

B

Ballester I., Camuesco D., Gálvez J., Sánchez De Medina F. and Zarzuelo A. 2006. Flavonoides and Inflammatory bowel disease. *Ars Pharm*. 47 (1): 5-21.

Belitz H.-D., Grosch W. and Schieberle P. 2004. *Food Chemistry*. 3rd revised Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Berić T., Nikolić B., Stanojević J., Vuković-Gačić B. and Knežević-Vukčević J. 2008. Protective effect of basil (*Ocimum basilicum* L.) against oxidative DNA damage and mutagenesis. *Food and Chemical Toxicology*. 46: 724-732.

Bessey O.A and King C.G. 1933. The distribution of vitamin C in plant and animal tissues, and its determination. *The Journal of Biological Chemistry*. 103: 687-698.

Bézanger-Beauquesne L., Pinkas M., Torck M. et Trotin F. 1990. *Plantes médicinales des régions tempérées*. Maloine, Paris.

Bhattacharya K., Alink G. and Dopp E. 2007. Oxidative Stress and Changed Gene Expression Profiles in Fiber-/Particle-Induced Carcinogenesis. *International Journal of Human Genetic*. 7(1): 1-21.

Birt D.F., Hendrich S. and Wang W. 2001. Dietary agents in cancer prevention: flavonoids and isoflavonoids. *Pharmacology & Therapeutics*. 90: 157- 177.

Block G. 1991. Vitamin C and cancer prevention: the epidemiologic evidence. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 53: 270S-282S.

Block G. 1993. Vitamin C, Cancer and aging. *Age*. 16: 55-58.

Bolukbas C., Bolukbas F.F., Horoz M., Aslan M., Celik H. and Erel O. 2005. Increased oxidative stress associated with the severity of the liver disease in various forms of hepatitis B virus infection. *BMC Infectious Diseases*. 5: 95-101.

Borel P., Drai J., Faure H., Fayol V., Galabert C., Laromiguière M. et Le Moël G. 2005. Données récentes sur l'absorption et le catabolisme des caroténoïdes. *Ann. Biol. Clin*. 63 (2): 165-177.

Brand-Williams W., Cuvelier M. E. and Berset C. 1995. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol*. 28: 25-30.

Bruneton J. 1999. *Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes médicinales*. 3^{ème} édition. Tec&Doc.

C

Cameron E., Pauling L. and Leibovitz B. 1979. Ascorbic Acid and Cancer: A Review. *Cancer Research*. 39: 663-681.

Capecka E., Mareczek A. and Leja M. 2005. Antioxidant activity of fresh and dry herbs of some Lamiaceae species. *Food Chemistry*. 93: 223-226.

Carr A. and Frei B. 1999a. Does vitamin C act as a pro-oxidant under physiological conditions?. *The FASEB Journal*. 13: 1007-1024.

Carr A. and Frei B. 1999b. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 69: 1086-1107.

Ceconi C., Boraso A., Cargnoni A. and Ferrari R. 2003. Oxidative stress in cardiovascular disease: myth or fact?. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 420: 217-221.

Charles D.J. 2004. Parsley. In Peter K.V. In "Handbook of herbs and spices". pp 226. Volume 2. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge, England.

Chien T.Y., Chen L.G., Lee C.J., Lee F.Y. and Wang C.C. 2008. Anti-inflammatory constituents of Zingiber zerumbet. Food Chemistry. 110 (3): 584-589.

Chitchumroonchokchai C., Schwartz S.J. and Failla M.L. 2004. Assessment of lutein bioavailability from meals and a supplement using simulated digestion and Caco-2 human intestinal cells. The Journal of Nutrition. 134: 2280-2286.

Clarkson P.M. and Thompson H.S. 2000. Antioxidants: what role do they play in physical activity and health?. The American Journal of Clinical Nutrition. 72 (suppl): 637S-646S.

Craig W.J. 1999. Health-promoting properties of common herbs. The American Journal of Clinical Nutrition. 70 (suppl): 491S-499S.

Cubas C., Lobo M.G. and Gonzalez M. 2008. Optimization of the extraction of chlorophylls in green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by N,N-dimethylformamide using response surface methodology. Journal of Food Composition and Analysis. 21: 125-133.

D

de Vogel J., Jonker-Termont D.S.M.L., Katan M.B. and van der Meer R. 2005. Natural Chlorophyll but Not Chlorophyllin Prevents Heme-Induced Cytotoxic and Hyperproliferative Effects in Rat Colon. The Journal of Nutrition. 135: 1995-2000.

Déprez S., Brezillon C., Rabot S., Philippe C., Mila I., Lapiere C. and Scalbert A. 2000. Polymeric proanthocyanidins are catabolized by human colonic microflora into low-molecular-weight phenolic acids. The Journal of Nutrition. 130: 2733-2738.

Deutsch J.C. 2000. Dehydroascorbic acid. Journal of Chromatography A. 881: 299-307.

Deysson G. 1979. Organisation et classification des plantes vasculaires. Tome II. CDU et SEDES réunis.

Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P. and Vidal N. 2006. Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. Food Chemistry. 97: 654-660.

Dröge W. 2002. Free Radicals in the Physiological Control of Cell Function. Physiological Reviews. 82: 47-95.

E

Edge R., McGarvey D.J. and Truscott T.G. 1997. The carotenoids as anti-oxidants - a review. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 41: 189-200.

Egner P.A., Muñoz A. and Kensler T.W. 2003. Chemoprevention with chlorophyllin in individuals exposed to dietary aflatoxin. *Mutation Research*. 523–524: 209-216.

El-Agamey A., Lowe G.M., McGarvey D.J., Mortensen A., Phillip D.M., Truscott T.G. and Young A.J. 2004. Carotenoid radical chemistry and antioxidant/pro-oxidant properties. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 430: 37-48.

Encyclopédie des plantes médicinales. 2001. Larousse / VUEF.

Erdman J.W., Balentine D., Arab L., Beecher G., Dwyer J.T., Folts J., Harnly J., Hollman P., Keen C.L., Mazza G., Messina M., Scalbert A., Vita J., Williamson G., and Burrowes J. 2007. Flavonoïds and Heart Health: Proceedings of the ILSI North America Flavonoïds Workshop. *The Journal of Nutrition*. 137: 718S-737S.

F

Fahey J.W., Stephenson K.K., Dinkova-Kostova A.T., Egner P.A., Kensler T.W. and Talalay P. 2005. Chlorophyll, chlorophyllin and related tetrapyrroles are significant inducers of mammalian phase 2 cytoprotective genes. *Carcinogenesis*. 26 (7): 1247-1255.

Fang Z-X., Zhang M., Wang L-X. and Sun J-C. 2006. Identification of Anthocyanin in Bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) by HPLC-DAD-ESIMS and GC. *Journal of Food and Drug Analysis*. 14 (4): 368-372.

Ferruzzi M.G., Failla M.L. and Schwartz S.J. 2002. Sodium Copper Chlorophyllin: In Vitro Digestive Stability and Accumulation by Caco-2 Human Intestinal Cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50 (7): 2173-2179.

Ferruzzi M.G. and Blakeslee J. 2007. Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research*. 27(1): 1-12.

Flora S.J.S., Mittal M. and Mehta A. 2008. Heavy metal induced oxidative stress & its possible reversal by chelation therapy. *Indian J. Med. Res*. 128: 501-523.

Frankel E.N. 1999. Natural phenolic antioxidants and their impact on health. *Antioxidant Food Supplements in Human Health*. 25: 385-392.

Frei B. 1999. On the role of vitamin C and other antioxidants in atherogenesis and vascular dysfunction. *P.S.E.B.M.* 222: 196-204.

Fukuda K., Davies S.S., Nakajima T., Ong B-H., Kupersmidt S., Fessel J., Amarnath V., Anderson M.E., Boyden P.A., Viswanathan P.C., Roberts II L.J. and Balser J.R. 2005. Oxidative mediated lipid peroxidation recapitulates proarrhythmic effects on cardiac sodium channels. *Circulation Research.* 97: 1262-1269.

Fukuto J.M., Cho J.Y. and Switzer C.H. 2000. The Chemical Properties of Nitric Oxid and Related Nitrogen Oxides. In Ignarro L.J. In "Nitric Oxide: Biology and Pathobiology". pp 23. Elsevier Inc.

G

Goupy P., Vulcain E., Caris-Veyrat C. and Dangles O. 2007. Dietary antioxidants as inhibitors of the heme-induced peroxidation of linoleic acid: Mechanism of action and synergism. *Free Radical Biology & Medicine.* 43: 933-946.

Gray A.M. and Flatt P.R. 1999. Insulin-releasing and insulin-like activity of the traditional anti-diabetic plant *Coriandrum sativum* (coriander). *British Journal of Nutrition.* 81 : 203-209.

Guerra N.B., de Almeida Melo E. and Filho J.M. 2005. Antioxidant compounds from coriander (*Coriandrum sativum* L.) etheric extract. *Journal of Food Composition and Analysis.* 18: 193-199.

Gülçin I., Şat İ.G., Beydemir Ş., Elmastaş M. and Küfrevioğlu Ö.İ. 2004. Comparison of antioxidant activity of clove (*Eugenia caryophyllata* Thunb) buds and lavender (*Lavandula stoechas* L.). *Food Chemistry.* 87: 393-400.

Gülçin I., Elias R., Gepdiremen A., Boyer L. and Köksal E. 2007. A comparative study on the antioxidant activity of fringe tree (*Chionanthus virginicus* L.) extracts. *African Journal of Biotechnology.* 6(4): 410-418.

H

Hagerman A.E. and Butler L.G. 1994. Assay of Condensed Tannins or Flavonoïd oligomers and related flavonoïds in plants. *Methods in Enzymology.* 234 (42): 429-437.

Hagerman A.E. 2002. Modified vanillin assay (for molecular weight estimation). In "Tannins chemistry". Miami University. USA.

Halliwell B. and Chirico S. 1993. Lipid peroxidation: its mechanism, measurement, and significance. *The American Journal of Clinical Nutrition.* 57 (suppl): 715S-725S.

- Hämäläinen M., Nieminen R., Vuorela P., Heinonen M. and Moilanen E. 2007. Anti-Inflammatory Effects of Flavonoids: Genistein, Kaempferol, Quercetin, and Daidzein Inhibit STAT-1 and NF- κ B Activations, Whereas Flavone, Isorhamnetin, Naringenin, and Pelargonidin Inhibit only NF- κ B Activation along with Their Inhibitory Effect on iNOS Expression and NO Production in Activated Macrophages. *Mediators of Inflammation*. 2007: 1-10.
- Hammerstone J.F., Lazarus S.A. and Schmitz H.H. 2000. Procyanidin content and variation in some commonly consumed food. *The Journal of Nutrition*. 130 : 2086S-2092S.
- Hanneken A., Lin F-F., Johnson J. and Maher P. 2006. Flavonoïds Protect Human Retinal Pigment Epithelial Cells from Oxidative-Stress-Induced Death. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 47 (7): 3164-3177.
- Hässig A., Liang W.X., Schwabl H. and Stampfli K. 1999. Flavonoïds and tannins: plant-based antioxidants with vitamin character. *Medical Hypotheses*. 52(5): 479-481.
- Hébuterne X., Wang X-D., Johnson E.J., Krinsky N.I. and Russell R.M. 1995. Intestinal absorption and metabolism of 9-cis- β -carotene in vivo: biosynthesis of 9-cis-retinoic acid. *Journal of Lipid Research*. 36: 1264-1273.
- Heim K.E., Tagliaferro A.R., Bobilya D.J. 2002. Flavonoïd antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 13: 572-584.
- Heller R., Esnault R et Lance C. 1998. *Physiologie végétale: Nutrition*. Tome 1. 6^{ème} édition de l'Abrégé. DUNOD, Paris.
- Hernandez Y., Lobo M.G. and Gonzalez M. 2006. Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chemistry*. 96: 654-664.
- Hertog M.G.L. 1998. Flavonols in wine and tea and prevention of coronary heart disease. In Vercauteren J., Chèze C. and Triaud J. In "Polyphenols 96". pp 117. INRA, Paris.
- Hinneburg I., Dorman H.J.D. and Hiltunen R. 2006. Antioxidant activities of extracts from selected culinary herbs and spices. *Food Chemistry*. 97: 122-129.
- Holick C.N., Michaud D.S., Stolzenberg-Solomon R., Mayne S.T., Pietinen P., Taylor P.R., Virtamo J. and Albanes D. 2002. Dietary Carotenoids, Serum β -Carotene, and Retinol and Risk of Lung Cancer in the Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cohort Study. *American Journal of Epidemiology*. 156 (6): 536-547.

Hollman P.C.H., M.G.L Hertog and Katan M.B. 1996. Analysis and health effects of flavonoïds. *Food Chemistry*. 51 (1): 43-46.

Hollman P.C.H. and Katan M.B. 1999. Dietary Flavonoïds: Intake, Health Effects and Bioavailability. *Food and Chemical Toxicology*. 37: 937-942.

I

Inskeep W.P. and Bloom P.R. 1985. Extinction Coefficients of Chlorophyll a and b in N,N-Dimethylformamide and 80% Acetone. *Plant Physiology*. 77: 483-485.

Irwin M.I. and Hutchins B.K. 1976. A conspectus of research on vitamin c requirements of man. *The Journal of Nutrition*. 106 (6) : 823-879.

Ischiropoulos H. and Thom S.R. 2000. A Comparison of the Biological Reactivity of Nitric Oxid and Peroxynitrite. In Ignarro L.J. In "Nitric Oxide: Biology and Pathobiology" pp 83. Elsevier Inc.

J

Javanmardi J., Stushnoff C., Locke E. and Vivanco J.M. 2003. Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian *Ocimum* accessions. *Food Chemistry*. 83: 547-550.

Juliani H.R. and Simon J.E. 2002. Antioxidant Activity of Basil. Trends in new crops and new uses. J. Janick and A. Whipkey (eds.). ASHS Press, Alexandria, VA. 575-579.

Juntachote T., Berghofer E., Siebenhandl S. and Bauer F. 2006. The antioxidative properties of Holy basil and Galangal in cooked ground pork. *Meat Science*. 72: 446-456.

Justesen U. and Knuthsen P. 2001. Composition of flavonoïds in fresh herbs and calculation of flavonoïd intake by use of herbs in traditional Danish dishes. *Food Chemistry*. 73: 245-250.

K

Kaindl U., Eyberg I., Rohr-Udilova N., Heinzle C. and Marian B. 2008. The dietary antioxidants resveratrol and quercetin protect cells from exogenous pro-oxidative damage. *Food and Chemical Toxicology*. 46: 1320-1326.

Kanatt S.R., Chander R. and Sharma A. 2007. Antioxidant potential of mint (*Mentha spicata* L.) in radiation-processed lamb meat. *Food Chemistry*. 100: 451-458.

Kang S-Y., Seeram N.P., Nair M.G. and Bourquin L.D. 2003. Tart cherry anthocyanins inhibit tumor development in ApcMin mice and reduce proliferation of human colon cancer cells. *Cancer Letters*. 194: 13-19.

Katalinic V., Milos M., Kulisic T. and Jukic M. 2006. Screening of 70 medicinal plant extracts for antioxidant capacity and total phenols. *Food Chemistry*. 94: 550-557.

Kaur C. and Kapoor H. C. 2002. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. *International Journal of Food Science and Technology*. 37: 153-161.

Kelly F.J., Dunster C. and Mudway I. 2003. Air pollution and the elderly: oxidant/antioxidant issues worth Consideration. *European Respiratory Journal*. 21 (Suppl. 40): 70s-75s.

Khanizadeh S., Ding L., Tsao R., Rekika D., Yang R., Charles M-T., Vigneault C. and Rupasinghe H.P.V. 2007. Phytochemical Distribution Among Selected Advanced Apple Genotypes Developed for Fresh Market and Processing. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences*. 1(2): 1-13.

Kirsch J.R., Hurn P.D. and Traystman R.J. 2000. Nitric Oxid and Cerebral Ischemia. In Ignarro L.J. In "Nitric Oxide: Biology and Pathobiology". pp 439. Elsevier Inc.

Koca N., Karadeniz F. and Burdurlu H.S. 2006. Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry*. 100: 609-615.

Kohen R. and Nyska A. 2002. Oxidation of biological systems: oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions, and methods for their quantification. *Toxicologic Pathology*. 30 (6): 620-650.

Kong J-M., Chia L-S., Goh N-K., Chia T-F. and Brouillard R. 2003. Analysis and biological activities of Anthocyanins. *Phytochemistry*. 64: 923-933.

Kopsell D.A., Kopsell D.E. and Curran-Celentano J. 2005. Carotenoid and chlorophyll pigments in sweet basil grown in the field and greenhouse. *HortScience*. 40 (5): 1230-1233.

Kosalec I., Pepeljnjak S., Bakmaz M. and Vladimir-Knežević S. 2005. Flavonoid analysis and antimicrobial activity of commercially available propolis products. *Acta Pharm*. 55: 423-430.

Kumar S.S., Shankar B. and Sainis K.B. 2004. Effect of chlorophyllin against oxidative stress in splenic lymphocytes in vitro and in vivo. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1672 : 100-111.

L

- Lee J., Durst R.W. and Wrolstad R.E. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorant, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International*. 88 (5): 1269-1278.
- Lee J., Rennaker C. and Wrolstad R.E. 2008. Correlation of two anthocyanin quantification methods: HPLC and spectrophotometric methods. *Food Chemistry*. 110: 782-786.
- Levine M., Dhariwal K.R., Welch R.W., Wang Y. and Park J.B. 1995. Determination of optimal vitamin C requirements in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 62 (suppl): 1347S-1356S.
- Li Y. and Schellhorn H.E. 2007. New Developments and Novel Therapeutic Perspectives for Vitamin C. *The Journal of Nutrition*. 137: 2171-2184.
- Lila M.A. 2004. Anthocyanins and human health : An in vitro investigative approach. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. 2004 (5): 306-313.
- Lin J., Rexrode K.M., Hu F., Albert C.M., Chae C.U., Rimm E.B., Stampfer M.J. and Manson J.E. 2007. Dietary Intakes of Flavonols and Flavones and Coronary Heart Disease in US Women. *American Journal of Epidemiology*. 165 (11): 1305-1313.
- Lisiewska Z. and Kmiecik W. 1997. Effect of freezing and storage on quality factors in Hamburg and leafy parsley. *Food Chemistry*. 60 (4): 633-637.
- Lisiewska Z., Kmiecik W. and 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.
- Liu R.H. 2004. Potential Synergy of Phytochemicals in Cancer Prevention: Mechanism of Action. *The Journal of Nutrition*. 134: 3479S-3485S.
- Loria C.M., Klag M.J., Caulfield L.E. and Whelton P.K. 2000. Vitamin C status and mortality in US adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 72: 139-45.
- Lowe G.M., Vlismas K. and Young A.J. 2003. Carotenoids as prooxidants?. *Molecular Aspects of Medicine*. 24: 363-369.
- Luo Y., Henle E.S. and Linn S. 1996. Oxidative Damage to DNA Constituents by Iron-mediated Fenton Reactions : The deoxycytidine family. *The Journal of Biological Chemistry*. 271(35) : 21167-21176.

M

Maher P. and Hanneken A. 2005. Flavonoïds Protect Retinal Ganglion Cells from Oxidative Stress–Induced Death. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 46 (12): 4796-4803.

Manach C., Williamson G., Morand C., Scalbert A. and Rémésy C. 2005. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 81 (suppl): 230S-242S.

Mantena S.K., Baliga M.S. and Katiyar S.K. 2006. Grape seed proanthocyanidins induce apoptosis and inhibit metastasis of highly metastatic breast carcinoma cells. *Carcinogenesis*. 27 (8): 1682-1691.

Marzouk B., Ben Hadj Fredj M., Chraief I., Mastouri M., Boukef K. and Marzouk Z. 2008. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from Tunisian *Mentha pulegium* L. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 6 (1): 78-82.

Mata A.T., Proença C., Ferreira A.R., Serralheiro M.L.M., Nogueira J.M.F. and Araújo M.E.M. 2007. Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of five plants used as Portuguese food spices. *Food Chemistry*. 103: 778-786.

Michaud D.S., Feskanich D., Rimm E.B., Colditz G.A., Speizer F.E., Willett W.C. and Giovannucci E. 2000. Intake of specific carotenoïds and risk of lung cancer in 2 prospective US cohorts. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 72: 990-997.

Middleton E., Kandaswami C. and Theoharides T.C. 2000. The Effects of Plant Flavonoïds on Mammalian Cells: Implications for Inflammation, Heart Disease, and Cancer. *Pharmacological Reviews*. 52 (4): 673-751.

Miller N.J., Sampson J., Candeias L.P., Bramley P.M. and Rice-Evans C.A. 1996. Antioxidant activities of carotenes and xanthophylls. *FEBS Letters*. 384: 240-242.

Miniati E. 2007. Assessment of phenolic compounds in biological samples. *Ann Ist Super Sanità*. 43 (4): 362-368.

Mittal A., Elmets C.A. and Katiyar S.K. 2003. Dietary feeding of proanthocyanidins from grape seeds prevents photocarcinogenesis in SKH-1 hairless mice: relationship to decreased fat and lipid peroxidation. *Carcinogenesis*. 24 (8): 1379-1388.

Multon J-L. 2002. Les colorants utilisés en alimentation humaine. In “Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires”. pp 371-379. Lavoisier.

N

Naidu K.A. 2003. Vitamin C in human health and disease is still a mystery ? An overview. *Nutrition Journal*. 2 (1): 7-17.

Nielsen S.E., Young J.F., Daneshvar B., Lauridsen S.T., Knuthsen P., Sandstrom B. and Dragsted L.O. 1999. Effect of parsley (*Petroselinum crispum*) intake on urinary apigenin excretion, blood antioxidant enzymes and biomarkers for oxidative stress in human subjects. *British Journal of Nutrition*. 81: 447-455.

Nijveldt R.J., van Nood E., van Hoorn D.E.C., Boelens P.G., van Norren K., and van Leeuwen P.A.M. 2001. Flavonoïds: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 74: 418-425.

Ninfali P., Mea G., Giorgini S., Rocchi M. and Bacchiocca M. 2005. Antioxidant capacity of vegetables, spices and dressings relevant to nutrition. *British Journal of Nutrition*. 93: 257-266.

Nöthlings U., Murphy S.P., Wilkens L.R., Henderson B.E. and Kolonel L.N. 2007. Flavonols and Pancreatic Cancer Risk : The Multiethnic Cohort Study. *American Journal of Epidemiology*. 166 (8): 924-931.

Novotny J.A., Dueker S.R., Zech L.A. and Clifford A.J. 1995. Compartmental analysis of the dynamics of β -carotene metabolism in an adult volunteer. *Journal of Lipid Research*. 36: 1825-1838.

O

Okuda T. 1999. Antioxidants in Herbs: Polyphenols. *Antioxidant Food Supplements in Human Health*. 26: 393-410.

Osakabe N., Yamagishi M., Natsume M., Yasuda A. and Osawa T. 2004. Ingestion of proanthocyanidins derived from Cacao inhibits diabetes-induced cataract formation in rats. *Experimental Biology and Medicine*. 229: 33-39.

P

Park K-K., Park J-H., Jung Y-J. and Chung W-Y. 2003. Inhibitory effects of chlorophyllin, hemin and tetrakis (4-benzoic acid) porphyrin on oxidative DNA damage and mouse skin inflammation induced by 12-*O*-tetradecanoylphorbol-13-acetate as a possible anti-tumor promoting mechanism. *Mutation Research*. 542: 89-97.

Pataki T., Bak I., Kovacs P., Bagchi D., Das D.K. and Tosaki A. 2002. Grape seed proanthocyanidins improved cardiac recovery during reperfusion after ischemia in isolated rat hearts. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 75: 894-899.

Peter K.V. 2004. Introduction to herbs and spices. In "Handbook of herbs and spices". pp 2. Volume 2. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge, England.

Phippen W.B. and Simon J.E. 2000. Anthocyanin inheritance and instability in purple basil (*Ocimum basilicum* L.). The Journal of Heredity. 91 (4): 289-269.

Pietta P-G. 2000. Flavonoïds as antioxidants. Journal of Natural Products. 63 (7): 1035-1042.

Pinkas M., Bézanger-Beauquesne L. et Torck M. 1986. Les plantes dans la thérapeutique moderne. Maloine, Paris.

R

Ramirez-Tortosa C., Andersen Ø.M., Gardner P.T., Morrice P.C., Wood S.G., Duthie S.J., Collins A.R. and Duthie G.G. 2001. Anthocyanin-rich extract decreases indices of lipid peroxidation and DNA damage in vitamin E-depleted rats. Free Radical Biology and Medicine. 31 (9) : 1033-1037.

Reddy A.P., Harttig U., Barth M.C., Baird W.M., Schimerlik M., Hendricks J.D. and Bailey G.S. 1999. Inhibition of dibenzo [*a,l*] pyrene-induced multi-organ carcinogenesis by dietary chlorophyllin in rainbow trout. Carcinogenesis. 20 (10): 1919-1926.

Rhodes M.J.C. 1998. Physiological roles of phenolic compounds in plants and their interaction with microorganisms and humans. In Vercauteren J., Chèze C. and Triaud J. In "Polyphenols 96". pp 13. INRA, Paris.

Ribéreau-Gayon P. 1968. Les composés phénoliques des végétaux. Dunod, Paris.

Ricciardolo F.L.M., Sterk P.J., Gaston B. and Folkerts G. 2004. Nitric oxide in health and disease of the respiratory system. Physiological Reviews. 84: 731-765.

Rice-Evans C.A, Miller N.J and Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic Compounds. Trends in plant science. 2(4): 152-159.

Riedl J., Linseisen J., Hoffmann J. and Wolfram G. 1999. Some dietary fibers reduce the absorption of carotenoids in women. The Journal of Nutrition. 129: 2170-2176.

Rodriguez-Amaya D.B.1997. Carotenoids and Food Preparation: The Retention of Provitamin A Carotenoids in Prepared, Processed, and Stored Foods. John Snow, Inc/OMNI Project. USA

Rodriguez-Amaya D.B. 2001. A Guide to Carotenoid Analysis in Food. OMNI Research Publications, ILSI Human Nutrition Institute One Thomas Circle, N.W. Washington. USA.

Ross H.A., McDougall G.J. and Stewart D. 2007. Antiproliferative activity is predominantly associated with ellagitannins in raspberry extracts. *Phytochemistry*. 68: 218-228.

Roy M.K., Takenaka M., Isobe S. and Tsushida T. 2007. Antioxidant potential, anti-proliferative activities and phenolic content in water-soluble fractions of some commonly consumed vegetables: effects of thermal treatment. *Food Chemistry*. 103: 106-114.

S

Saintot M., Astre C., Pujol H. and Gerber M. 1996. Tumor progression and oxidant-antioxidant status. *Carcinogenesis*. 17 (6): 1267-1271.

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

Scalbert A. and Williamson G. 2000. Dietary Intake and Bioavailability of Polyphenols. *The Journal of Nutrition*. 130: 2073S-2085S.

Schoefs B. 2002. Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. *Trends in Food Science & Technology*. 13: 361-371.

Sharma M.M. and Sharma R.K. 2004. Coriander. In Peter K.V. In "Handbook of herbs and spices". pp 141. Volume 2. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge, England.

Sharma S.D., Meeran S.M. and Katiyar S.K. 2007. Dietary grape seed proanthocyanidins inhibit UVB-induced oxidative stress and activation of mitogenactivated protein kinases and nuclear factor- κ B signaling in in vivo SKH-1 hairless mice. *Molecular Cancer Therapeutics*. 6 (3): 995-1005.

Shyamala B.N., Gupta S., Lakshmi A.J. and Prakash J. 2005. Leafy vegetable extracts-antioxidant activity and effect on storage stability of heated oils. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 6: 239-245.

Siekmeier R., Steffen C. and März W. 2007. Role of oxidants and antioxidants in atherosclerosis: Results of in vitro and in vivo investigations. *Journal of Cardiovascular Pharmacology and Therapeutics*. 12 (4): 265-282.

Simon J.E., Morales M.R., Phippen W.B., Vieira R.F. and Hao Z. 1999. Basil: A Source of Aroma Compounds and a Popular Culinary and Ornamental Herb. Reprinted from: Perspectives on new crops and new uses. J. Janick (ed.), ASHS Press, Alexandria, VA.

Simonich M.T., McQuistan T., Jubert C., Pereira C., Hendricks J.D., Schimerlik M., Zhu B., Dashwood R.H., Williams D.E. and Bailey G.S. 2008. Low-dose dietary chlorophyll inhibits multi-organ carcinogenesis in the rainbow trout. *Food and Chemical Toxicology*. 46: 1014-1024.

Simopoulos A.P. 2001. The Mediterranean diets: what is so special about the diet of Greece? The scientific evidence. *The Journal of Nutrition*. 131: 3065S-3073S.

Singleton V.L. and Rossi J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 16: 144-58.

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

Skibola C.F. and Smith M.T. 2000. Potential health impacts of excessive flavonoid intake. *Free Radical Biology & Medicine*. 29 (3/4): 375-383.

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

Stadtman E.R. and Berlett B. 1991. Fenton Chemistry : Amino acid oxidation. *The Journal of Biological Chemistry*. 266 (26) : 17201-17211.

Stahl W. and Sies H. 2003. Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*. 24: 345-351.

Stahl W. and Sies H. 2005. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1740: 101-107.

Stevenson N.R. and Brush M.K. 1969. Existence and Characteristics of NatiDependent Active Transport of Ascorbic Acid in Guinea Pig. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 22 (3): 318-326.

Strack D. 1997. Phenolic metabolism. In Dey P.M. and Harborne J.B. In « Plant Biochemistry ». pp 387. Elsevier Ltd.

Sugawara T., Kushiro M., Zhang H., Nara E., Ono H. and Nagao A. 2001. Lysophosphatidylcholine enhances carotenoid uptake from mixed micelles by Caco-2 human intestinal cells. *The Journal of Nutrition*. 131: 2921-2927.

Suh J., Zhu B-Z. and Frei B. 2003. Ascorbate does not act as a pro-oxidant towards lipids and proteins in human plasma exposed to redox-active transition metal ions and hydrogen peroxide. *Free Radical Biology & Medicine*. 34 (10): 1306-1314.

Suschetet M., Siess M.H., Le Bon A.M. and Canivenc-Lavier M.C. 1996. Anticarcinogenic properties of some flavonoids. In Vercauteren J., Chèze C. and Triaud J. In "Polyphenols 96". pp 165. INRA, Paris.

T

Tawaha K., Alali F.Q., Gharaibeh M., Mohammad M. and El-Elimat T. 2007. Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. *Food Chemistry*. 104: 1372-1378.

Tebib K., Besançon P. and Rouanet J-M. 1994. Dietary grape seed tannins affect lipoproteins, lipoprotein lipases and tissue lipids in rats fed hypercholesterolemic diets. *The Journal of Nutrition*. 124: 2451-2457.

Tepperman B.L. and Whittle B.J.R. 2000. Physiological and Patho-physiological Roles of Nitric Oxide in Gastrointestinal Function. In Ignarro L.J. In "Nitric Oxide: Biology and Pathobiology". pp 725. Elsevier Inc.

Terao J. 1999. Dietary Flavonoids as Plasma Antioxidants on Lipid Peroxidation: Significance of Metabolic Conversion. *Antioxidant Food Supplements in Human Health*. 17: 255-268.

Teuscher E., Anton R. et Lobstein A. 2005. *Plantes aromatiques : Epices, aromates, condiments et huiles essentielles*. Lavoisier.

Tohti I., Tursun M., Umar A., Turdi S., Imin H. and Moore N. 2006. Aqueous extracts of *Ocimum basilicum* L. (sweet basil) decrease platelet aggregation induced by ADP and thrombin in vitro and rats arterio-venous shunt thrombosis in vivo. *Thrombosis Research*. 118: 733-739.

Tsuda T., Horio F., Uchida K., Aoki H. and Osawa T. 2003. Dietary cyanidin 3-O-beta-Dglucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *The Journal of Nutrition*. 133: 2125-2130.

V

Valko M., Rhodes C.J., Moncola J., Izakovic M. and Mazur M. 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*. 160: 1-40.

Valko M., Leibfritz D., Moncola J., Cronin M.T.D., Mazura M. and Telser J. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 39: 44-84.

Vanier P. 2006. *La menthe au fil du temps, Usages culinaires, Conservation, Jardinage biologique, Écologie et environnement*. Institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnels (INAF), Université Laval.

Vogt T.M., Mayne S.T., Graubard B.I., Swanson C.A., Sowell A.L., Schoenberg J.B., Swanson G.M., Greenberg R.S., Hoover R.N., Hayes R.B. and Ziegler R.G. 2002. Serum Lycopene, Other Serum Carotenoids, and Risk of Prostate Cancer in US Blacks and Whites. *American Journal of Epidemiology*. 155 (11): 1023-1032.

W

Wangensteen H., Samuelsen A.B. and Malterud K.E. 2004. Antioxidant activity in extracts from coriander. *Food Chemistry*. 88: 293-297.

Wargovich M.J., Woods C., Hollis D.M. and Zander M.E. 2001. Herbals, Cancer Prevention and Health. *The Journal of Nutrition*. 131: 3034S–3036S.

Wen X. and Walle T. 2006. Methylated flavonoïds have greatly improved intestinal absorption and metabolic stability. *Drug Metabolism and Disposition*. 34 (10): 1786-1792.

Wenzel U., Kuntz S., Brendel M.D. and Daniel H. 2000. Dietary flavone is a potent apoptosis inducer in human colon carcinoma cells. *Cancer Research*. 60: 3823-3831.

Wichtl M. et Anton R. 2003. *Plantes thérapeutiques : Tradition, Pratique officinale, Science et thérapeutique*. 2^{ème} édition. Lavoisier.

Williamson G. and Manach C. 2005. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. II. Review of 93 intervention studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 81 (suppl): 243S-255S.

Wong P.Y.Y. and Kitts D.D. 2006. Studies on the dual antioxidant and antibacterial properties of parsley (*Petroselinum crispum*) and cilantro (*Coriandrum sativum*) extracts. *Food Chemistry*. 97: 505-515.

Υ

Yanardağ R., Bolkent Ş., Tabakoğlu-Oğuz A. and Özsoy-Saçan Ö. 2003. Effects of *Petroselinum crispum* extract on pancreatic *b* cells and blood Glucose of streptozotocin-induced diabetic rats. Biol. Pharm. Bull. 26 (8) : 1206-1210.

Young A.J. and Lowe G.M. 2001. Antioxidant and Prooxidant Properties of Carotenoids. Archives of Biochemistry and Biophysics. 385(1): 20-27.

Z

Zana M., Janka Z. and Kálmán J. 2007. Oxidative stress: A bridge between Down's syndrome and Alzheimer's disease. Neurobiology of Aging. 28: 648-676.

Zern T.L. and Fernandez M.L. 2005. Cardioprotective Effects of Dietary Polyphenols. The Journal of Nutrition. 135: 2291-2294.

Zhang H., Chen F., Wang X. and Yao H-Y. 2006. Evaluation of antioxidant activity of parsley (*Petroselinum crispum*) essential oil and identification of its antioxidant constituents. Food Research International. 39: 833-839.

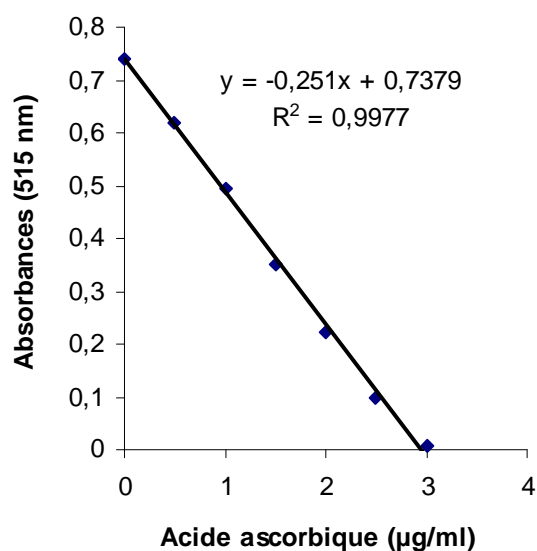
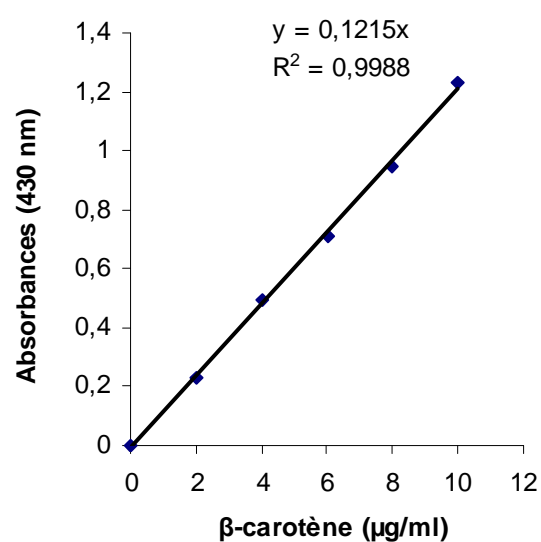
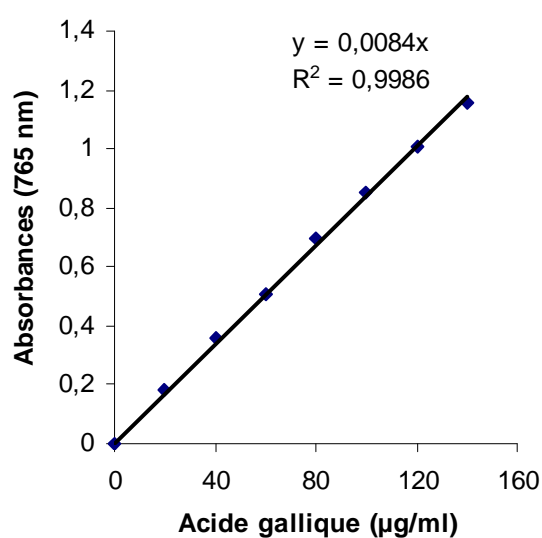
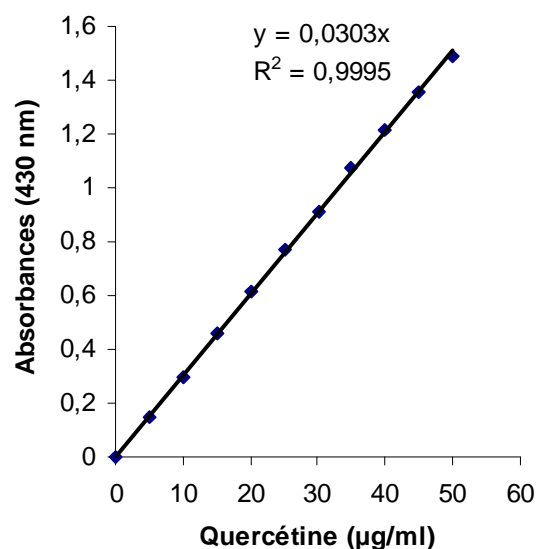
Zicarelli V.E. and Basu T.K. 2003. An *in Vivo* Study of the Antioxidant Potentials of a Plant Food Concentrate. Journal of the American College of Nutrition. 22 (4): 277-282.

Annexes

Tableau I: Situation géographique des régions de culture des herbes aromatiques

(<http://www.profburp.free.fr/carte/>)

Région	Altitude	Latitude	Longitude	Climat
Akbou	184 m	36° 27' 40 N	4° 31' 60 E	Sec à hiver froid
Oued Ghir	2 m	36° 42' 0 N	4° 58' 60 E	Humide à hiver frais
Aokas	198 m	36° 37' 60 N	5° 15' 0 E	Très humide à hiver tempéré

**Figure 1:** Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique.**Figure 2:** Courbe d'étalonnage du β -carotène.**Figure 3:** Courbe d'étalonnage des polyphénols.**Figure 4:** Courbe d'étalonnage des flavonoïdes.

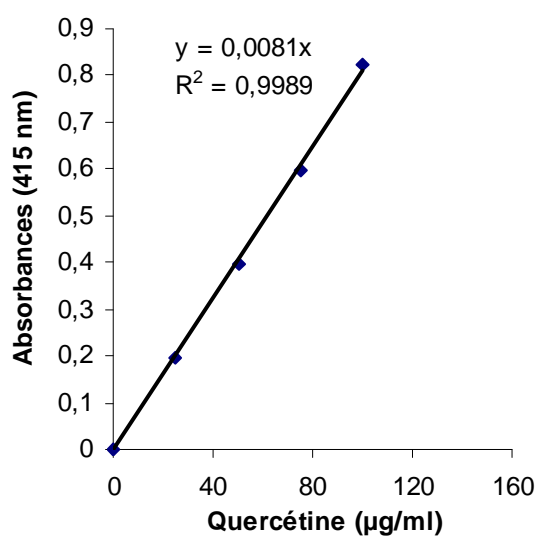


Figure 5: Courbe d'étalonnage des flavonols.

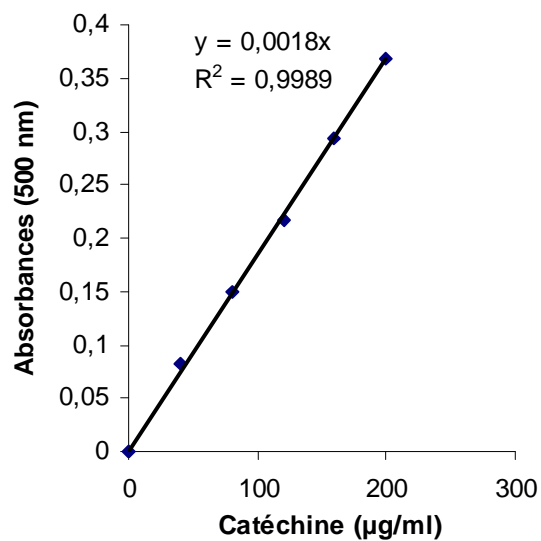


Figure 6: Courbe d'étalonnage des tannins condensés.

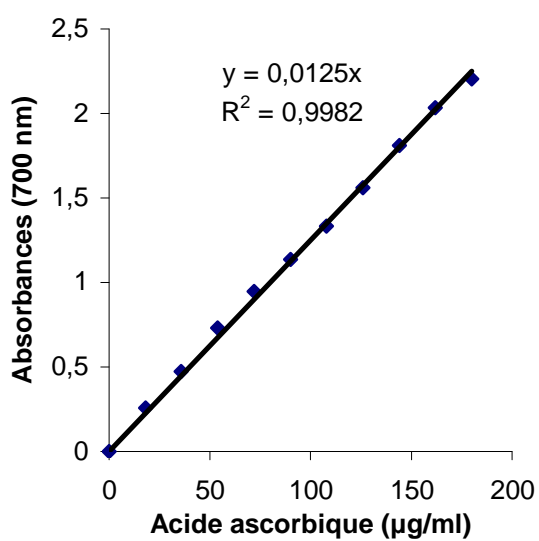


Figure 7: Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur.

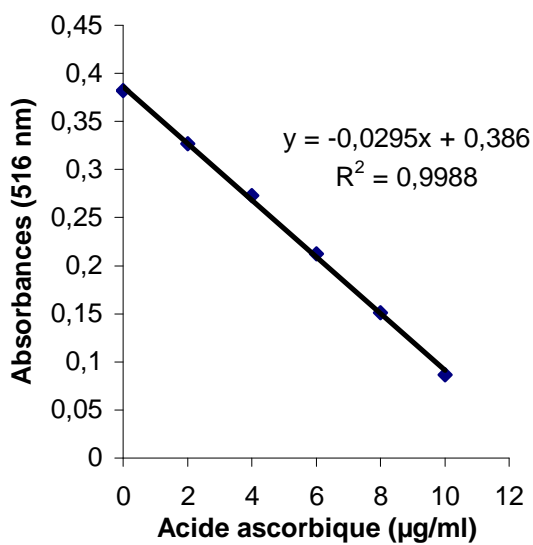


Figure 8: Courbe d'étalonnage du DPPH.

Résumé : Les herbes aromatiques étudiées sont une source naturelle d'antioxydants dont l'acide ascorbique (9-136mg/100g MS), les caroténoïdes (179-434mg/100g) et les chlorophylles (0,64-2,29g/100g). Des quantités appréciables en composés phénoliques ont été déterminées dans les extraits aqueux de la menthe (3,43g EAG/100g MS), la plus faible teneur est enregistrée pour le basilic (0,50g/100g). Les flavonoïdes représentent la classe majeure des polyphénols et sont présents dans les herbes sélectionnées à des teneurs variant de 0,27 à 1,66g EQ/100g, deux autres classes de composés phénoliques ont été dosées ; les flavonols (43-548mg EQ/100g) et les tannins condensés (127-657mg EC/100g). L'activité antioxydante des extraits aqueux a été évaluée au moyen de trois méthodes ; Le test du pouvoir réducteur (1,12-4,79g EAA/100g MS), L'activité anti-radicalaire (104-352mg EAA/100g) et la capacité à inhiber l'oxydation de l'acide linoléique (18-69%). L'augmentation de la température d'extraction (100°C) a permis d'extraire une quantité élevée en composés phénoliques (1,19-7,35g EAG/100g MS) ce qui augmente le pouvoir réducteur (0,85-10g EAA/100g MS) et l'activité antiradicalaire (136-513mg EAA/100g) des extraits aqueux. Cependant, l'activité inhibitrice de l'oxydation de l'acide linoléique semble s'amoinrir avec la température. Une relation étroite ($p < 0,05$) existe entre les composés phénoliques et le pouvoir réducteur ($r = 0,9$) et entre les composés phénoliques et l'activité anti-radicalaire ($r = 0,82$ et $r = 0,63$ à 100°C). A 100°C, une relation inverse est notée entre les teneurs en polyphénols et la capacité à inhiber l'oxydation de l'acide linoléique.

Mots clés : stress oxydatif, plantes aromatiques, polyphénols, pouvoir réducteur, DPPH.

Abstract: The studied aromatic herbs are natural source of antioxidants among which ascorbic acid (9-136mg/100g dw), carotenoids (179-434mg/100g) and chlorophylls (0,64-2,29g/100g). Important phenolic compound amounts were determined in aqueous extract of mint (2,72-3,43g GAE/100g dw) while the lowest content was obtained in basil (0,50g/100g). Flavonoïds, the main class of phenolics, were present in the selected herbs at levels ranged from 0,27 to 1,66g EQ/100g, two other phenolic classes were analysed; flavonols (43-548mg QE/100g) and condensed tannins (127-657mg CE/100g). Antioxidant activity of the aqueous extracts was evaluated by means of three methods; the reducing power test (1,12-4,79g AAE/100g dw), the radical scavenging activity (104-352mg EAA/100g) and the ability to inhibit lipid oxidation (18-69%). Increasing of the extraction temperature to 100°C enhanced the extraction of higher amounts of phenolic compounds (1,19-7,35g GAE/100g dw) which leads to increasing in reducing power (0,85-10g AAE/100g dw) and radical scavenging activity (136-513mg AAE/100g) of the aqueous extracts. However, the inhibiting of linoleic acid oxidation seems to decrease with temperature. A strong relationship ($p < 0,05$) exist between phenolic compound contents and reducing power ($r = 0,9$) and between phenolic contents and radical scavenging activity ($r = 0,82$ and $r = 0,63$ at 100°C). At 100°C, a reverse relationship was noted between polyphenol contents and the capacity to inhibit linoleic acid oxidation.

Key words: oxidative stress, aromatic plant, polyphenols, reducing power, DPPH.

ملخص: الأعشاب المدروسة تمثل منبعاً طبيعياً للجزيئات المضادة للتأكسد منها حمض الأسكوربيك (9-136 مغ/100 غ مادة جافة)، الجزرين أو الكاروتينويد (179-434 مغ/100 غ) و البيخصور (0,64-2,29 غ/100 غ). كميات معتبرة من المركبات الفينولية أو متعددات الفنول تم الحصول عليها في المستخلصات المائية للنعناع (2,72-3,43 غ معادل لحمض الغاليك/100 غ مادة جافة) أما الكمية الصغرى فإنها وجدت في الحبق (0,50 غ/100 غ) • الفلافونويد من أهم المركبات الفينولية موجودة في الأعشاب المختارة بكميات متغيرة من 0,27 إلى 1,66 غ معادل الكرسيتين/100 غ. تم قياس مركبان فينوليان آخران وهما الفلافونول (43-548 مغ معادل الكرسيتين/100 مغ) و الدبغ المكثفة (127-657 مغ معادل الكاتشين/100 غ). أما القوة المضادة للأكسدة للمستخلصات المائية للأعشاب تم تقديرها بثلاث طرق و هي: القدرة المرجعة أو قدرة الإرجاع (1,12-4,79 غ معادل حمض الأسكوربيك/100 غ مادة جافة)، القدرة المضادة للجذور (104-352 مغ معادل حمض الأسكوربيك/100 غ) و القدرة على منع أكسدة حمض اللينولييك. من جهة أخرى رفع درجة الحرارة إلى 100 م° عند عملية الإستخلاص رفع مردود استخلاص المركبات الفينولية (1,19-7,35 غ معادل حمض الغاليك/100 غ مادة جافة) الذي أدى إلى إرتفاع القوة المرجعة (0,85-10 غ معادل حمض الأسكوربيك/100 غ) و القدرة المضادة للجذور (136-513 مغ معادل حمض الأسكوربيك/100 غ) للمستخلصات المائية للأعشاب. لكن القدرة على منع أكسدة حمض اللينولييك إنخفضت مع إرتفاع درجة حرارة الاستخلاص. نسجل وجود علاقة تناسب طردي ($P > 0,05$) بين كميات المركبات الفينولية و القوة المرجعة ($r = 0,9$) و بين المركبات الفينولية و القدرة المضادة للجذور ($r = 0,82$ و $r = 0,63$ عند 100 م°). توجد علاقة تناسب عكسي بين كمية الفينولات و القدرة المضادة لأكسدة حمض اللينولييك.

كلمات المفتاح : متعددات الفنول، فيتامين س، كاروتينويد، تثبيط الجذور الحرة، قدرة الإرجاع.