

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE CONSTANTINE -1-



Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies
Agro-Alimentaires (I.N.A.T.A.A.)

N° d'ordre :

N° de série :

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Alimentaires
Option : Technologie Alimentaire

**Effet de deux modes de cuisson et de la durée de
stockage à température ambiante sur la teneur
en polyphénols totaux de quatre espèces de légumes**

Présenté par:

KADRI Fouzia

Devant le Jury :

Président :	BOUDJELLAL A.	Prof.	INATAA-UC1
Promotrice :	BARKAT M.	Prof.	INATAA-UC1
Examinatrices :	BENATALLAH L.	M.C.A	INATAA-UC1
	OULAMARA H.	M.C.A	INATAA-UC1

Année universitaire 2014-2015

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Allah, Le Tout Puissant et Le Miséricordieux, de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme ma formation de Magister.

C'est avec un grand honneur et un grand plaisir que je remercie mon enseignante et promotrice, Madame BARKAT Malika, Professeur à l'université Constantine 1 et Chef de département de Biotechnologie Alimentaire pour m'avoir proposé ce sujet et pour m'avoir dirigé tout au long de la réalisation de ce travail, pour son esprit scientifique, ses précieux conseils et ses encouragements. Soyez assuré de tout mon respect et de ma profonde gratitude.

J'exprime mes vifs remerciements à Monsieur BOUDJELLAL Abdelghani, Professeur et Directeur de l'I.N.A.T.A.A., pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider ce jury.

Je tiens à remercier vivement mon enseignante Madame OULAMARA Hayet Maître de conférence A pour son acceptation de faire partie du jury d'évaluation de ce mémoire. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance

Mes remerciements les plus vifs vont également à mon enseignante Madame BENATALLAH Leila, Maître de conférence A à l'I.N.A.T.A.A., pour son acceptation d'examiner notre travail. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Mes sentiments de reconnaissance et mes remerciements les plus respectueuses vont aussi à toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de mon mémoire, à tous les enseignants, magisters, collègues et amis, ainsi qu'au personnel administratif et technique de l'I.N.A.T.A.A., pour la dimension humaine inestimable qu'ils ont manifestée à mon égard.

Enfin, je remercie du fond de mon cœur, ma famille qui m'a soutenu, encouragé et motivé tout au long de mes études.

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1
Synthèse bibliographique	
1. Légumes étudiés	3
1.1. Pomme de terre (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	3
1.1.1. Généralités.....	3
1.1.2. Productions.....	3
1.1.3. Classification botanique.....	4
1.1.4. Composition chimique.....	5
1.1.5. Transformation et conservation.....	5
1.2. Carotte (<i>Daucus carotta</i>)	6
1.2.1. Généralités.....	6
1.2.2. Productions.....	6
1.2.3. Classification botanique.....	7
1.2.4. Composition chimique.....	7
1.2.5. Transformation et conservation.....	8
1.3. L'épinard (<i>Spinacia oleracea</i> L.)	9
1.3.1. Généralités.....	9
1.3.2. Productions.....	9
1.3.3. Classification botanique.....	10
1.3.4. Composition chimique.....	10
1.3.5. Transformation et conservation.....	11
1.4. Chou (<i>Brassica oleracea</i> L.)	12
1.4.1. Généralités.....	12
1.4.2. Productions.....	13
1.4.3. Classification botanique.....	13
1.4.4. Composition chimique.....	14
1.4.5. Transformation et conservation.....	14
2. Détérioration des légumes	15
2.1. Facteurs responsables de la détérioration.....	15

2.1.1. Sénescence.....	15
2.1.2. Attaque microbienne.....	15
2.1.3. Enzymatique et chimique.....	15
2.1.2.1.Enzymatique.....	15
2.1.2.2.Non-enzymatique (chimique).....	16
2.1.4. Autres modes de dégradation	16
3. Cuisson	17
3.1. Définition de la cuisson.....	17
3.2. Impacts de la cuisson sur les aliments.....	17
3.2.1. Impact nutritionnel.....	17
3.2.2. Impact sanitaire.....	17
3.2.3. Impact organoleptique.....	17
3.2.3.1. Les modifications d'apparence.....	18
3.2.3.2. Les modifications de la flaveur.....	18
3.2.3.3. Les modifications de texture.....	19
3.3. Les types de cuisson.....	20
3.3.1. La cuisson dans l'eau.....	20
3.3.2. La cuisson dans la vapeur.....	20
3.3.3. La cuisson dans la matière grasse.....	20
3.3.4. La cuisson dans l'air.....	21
3.3.5. La cuisson ménagère en autocuiseur.....	21
3.4. Modifications nutritionnelles dues à la cuisson.....	21
3.5. Comparaison thermique et sanitaire des différentes méthodes de cuisson.....	22
4. Polyphénols	23
4.1. Structure et classification des polyphénols.....	23
4.1.1. Acides phénoliques (C ₆ -C ₁ ou C ₆ -C ₃)	23
4.1.2. Flavonoïdes (C ₆ -C ₃ -C ₆)	23
4.1.3. Tanins (C ₆ -C ₁) _n	24
4.2. Biosynthèse des polyphénols.....	25
4.3. Localisation et rôle dans les plantes.....	25
3.3.1. A l'échelle de la cellule.....	25
4.3.2. Au niveau tissulaire.....	26
4.4. Rôle et intérêt des composés phénoliques.....	26

4.4.1. Chez les végétaux.....	26
4.4.2. Chez les humains.....	27
4.5. Activités biologiques des polyphénols.....	27
4.5.1. Activité antioxydante.....	27
4.5.2. Autres activités.....	28
4.6. Extraction, caractérisation et dosage des composés phénoliques.....	29
4.6.1. Phénols simples (fraction polaires)	29
4.6.2. Extraction des flavonoïdes apolaires.....	30
4.6.3. Extraction des formes condensées.....	30
4.6.4. Dosage global.....	30
4.7. Composés phénoliques des légumes étudiés.....	31
4.7.1. Composés phénoliques de la pomme de terre.....	31
1.8. Composés phénoliques de la carotte.....	32
4.7.9. Composés phénoliques de l'épinard.....	33
4.7.10. Composés phénoliques du chou.....	33
1.8. Facteurs de variabilité de la teneur en polyphénols.....	35
1.8.1. Facteur physiologique.....	35
1.8.2. Facteur génétique.....	35
1.8.3. Facteurs de l'environnement.....	35
1.8.4. Techniques culturales.....	36
1.8.5. Transformation et conservation.....	36
Matériel et méthodes	
1. Matériel et méthodes.....	37
1.1. Matériel.....	37
1.1.1. Matériel végétal.....	37
1.1.2. Produits et réactifs chimiques.....	38
1.2. Méthodes.....	38
1.2.1. Conditions de stockage.....	39
1.2.2. Préparation et cuisson des échantillons.....	40
1.2.2.1. Préparation des échantillons.....	40
1.2.2.2. Cuisson.....	40
1.2.2.2.1. Cuisson dans l'eau bouillante.....	41
1.2.2.2.2. Cuisson à la vapeur.....	42

2.3. Mesure du taux d'humidité des légumes étudiés.....	42
2.4. Evaluation de la teneur en polyphénols totaux des légumes étudiés.....	42
2.4.1. Echantillonnage.....	42
2.4.2. Extraction des polyphénols totaux.....	43
2.4.3. Dosage des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu.....	44
2.4.3.1. Principe.....	44
2.4.3.2. Protocole.....	44
2.5. Mesure du pouvoir antioxydant par la méthode DPPH.....	46
2.5.1. Principe.....	46
2.5.2. Protocole.....	46
2.6. Traitement statistique.....	47

Résultats et discussion

1. Taux d'humidité.....	48
1.1. Légumes crus.....	48
1.1. Taux d'humidité des légumes crus témoins (après 06 h de la récolte).....	48
1.1.2. Taux d'humidité des légumes crus et stockés.....	49
1.1.3. Corrélations entre les taux d'humidité et la durée du stockage des légumes crus et stockés.....	50
1.2. Légumes cuits.....	51
1.2.1. Légumes cuits à la vapeur.....	51
1.2.1.1. Taux d'humidité des légumes cuits à la vapeur.....	51
1.2.1.2. Taux d'humidité des légumes stockés et cuits à la vapeur.....	52
1.2.1.3. Corrélations entre les taux d'humidité et la durée du stockage des légumes stockés et cuits à la vapeur.....	52
1.2.2. Légumes cuits dans l'eau.....	53
1.2.2.1. Taux d'humidité des légumes cuits dans l'eau.....	53
1.2.2.2. Taux d'humidité des légumes stockés et cuits dans l'eau.....	53
1.2.2.3. Corrélations entre les taux d'humidité et la durée du stockage des légumes stockés et cuits dans l'eau.....	54
2. Teneurs en composés phénoliques totaux des légumes.....	55
2.1. Légumes crus témoins (après 06h de la récolte).....	55
2.1.1. Teneurs en composés phénoliques totaux des légumes crus et stockés.....	57
2.1.2. Corrélations entre de la durée du stockage et les teneurs en composés	

phénoliques totaux des légumes crus et stockés	59
2.2. Légumes cuits	59
2.2.1. Légumes cuits à la vapeur.....	59
2.2.1.1. Teneurs en polyphénols totaux des légumes cuits à la vapeur.....	59
2.2.1.2. Teneurs en polyphénols totaux des légumes stockés et cuits à la vapeur.....	61
2.2.1.3. Corrélations entre les teneurs en polyphénols totaux des légumes stockés et cuits à la vapeur et la durée du stockage.....	62
2.2.2. Légumes cuits dans l'eau.....	62
2.2.2.1. Teneurs en polyphénols totaux des légumes cuits dans l'eau.....	62
2.2.2.2. Teneurs en polyphénols totaux stockés et cuits dans l'eau.....	64
2.2.2.3. Corrélations entre les teneurs en polyphénols totaux des légumes stockés et cuits dans l'eau et la durée du stockage.....	65
3. Activité antioxydante des légumes	65
3.1. Légumes crus	65
3.1.1. Activité antioxydante des légumes crus.....	65
3.1.2. Activité antioxydante totale des légumes crus stockés.....	67
3.1.3. Corrélations de l'activité antioxydante et la durée du stockage des légumes crus..	68
3.2. Activité antioxydante des légumes cuits	69
3.2.1. Activité antioxydante des légumes cuits à la vapeur (après 06h de la récolte).....	69
3.2.2. Activité antioxydante totale des légumes stockés et cuits à la vapeur.....	70
3.2.3. Corrélations entre l'activité antioxydante et la durée du stockage des légumes stockés et cuits à la vapeur.....	71
3.3. Activité antioxydante des légumes cuits dans l'eau (après 06 h de la récolte)...	72
3.3.1. Activité antioxydante totale des légumes stockés et cuits dans l'eau.....	73
3.3.2. Corrélations de l'activité antioxydante et la durée du stockage des légumes stockés et cuits dans l'eau.....	73
Conclusion	74
Références bibliographiques	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Composition chimique du tubercule de pomme de terre (une pomme de terre crue, non épluchée, 213g) (FAO, 2008).....	5
Tableau 2.	Composition moyenne de la carotte pour 100 g net (Dupin <i>et al.</i> , 1992).....	8
Tableau 3.	Composition moyenne de l'épinard pour 100 g net (Dupin <i>et al.</i> , 1992).....	11
Tableau 4.	Composition chimique du Chou râpé et cru (74g) (Dupin <i>et al.</i> , 1992).....	14
Tableau 5.	Classification des familles des composés phénoliques (Garcia-Salas <i>et al.</i> , 2010).....	24
Tableau 6.	Propriétés biologiques des quelques poly phénols dans l'organisme.....	29
Tableau 7.	Températures mesurées au cours du stockage (C°).....	39
Tableau 8.	Différents types d'échantillons de légumes étudiés.....	41
Tableau 9.	Analyse des différences par le test de Dunnett entre les échantillons des légumes crus pour le taux d'humidité en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).....	50
Tableau 10.	Matrice de corrélation (<i>Pearson</i>) entre les taux d'humidité et la durée du stockage des légumes crus.....	51
Tableau 11.	Analyse des différences par le test de Dunnett entre les échantillons des légumes cuits à la vapeur et le témoin pour le taux d'humidité en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).....	52
Tableau 12.	Matrice de corrélation (<i>Pearson</i>) entre le taux d'humidité et la durée du stockage des légumes cuits à la vapeur.....	53
Tableau 13.	Analyse des différences par le test de Dunnett entre les échantillons des légumes cuits dans l'eau pour le taux d'humidité en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).	54
Tableau 14.	Matrice de corrélation (<i>Pearson</i>) entre le taux d'humidité et la durée du stockage des légumes cuits dans l'eau.....	54
Tableau 15.	Teneur en polyphénols totaux des légumes crus (mg EAG/100g).....	55
Tableau 16.	Quelques données de la littérature sur la teneur en polyphénols totaux des pommes de terre, carottes, choux et épinards exprimées en mg/100g du poids frais.....	56
Tableau 17.	Analyse des différences par le test de Dunnett entre les échantillons des légumes crus pour la teneur en composés phénoliques en fonction de la durée	

	du stockage ($p \leq 0,05$).....	57
Tableau 18.	Matrice de corrélation (<i>Pearson</i>) entre la teneur en composés phénoliques totaux et la durée du stockage des légumes crus.....	59
Tableau 19.	Analyse des différences par le test de <i>Dunnett</i> entre les échantillons des légumes cuits à la vapeur pour la teneur en composés phénoliques en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).....	61
Tableau 20.	Matrice de corrélations (<i>Pearson</i>) entre la teneur en composés phénoliques totaux et la durée du stockage des légumes cuits à la vapeur.....	62
Tableau 21.	Analyse des différences par le test de <i>Dunnett</i> entre les échantillons des légumes cuits dans l'eau pour la teneur en composés phénoliques en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).....	64
Tableau 22.	Matrice de corrélations (<i>Pearson</i>) entre la teneur en composés phénoliques totaux et la durée du stockage des légumes cuits dans l'eau.....	65
Tableau 23.	Analyse des différences par le test de <i>Dunnett</i> entre les échantillons des légumes crus pour le pourcentage de l'activité antiradicalaire en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).....	67
Tableau 24.	Matrice de corrélation (<i>Pearson</i>) entre l'activité antiradicalaire et la durée du stockage des légumes crus.....	68
Tableau 25.	Analyse des différences par le test de <i>Dunnett</i> entre les échantillons des légumes cuits à la vapeur pour le pourcentage de l'activité antiradicalaire en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).....	71
Tableau 26.	Matrice de corrélation (<i>Pearson</i>) entre l'activité antiradicalaire et la durée du stockage des légumes cuits à la vapeur.....	71
Tableau 27.	Analyse des différences par le test de <i>Dunnett</i> entre les échantillons des légumes cuits dans l'eau pour le pourcentage de l'activité antiradicalaire en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).....	73
Tableau 28.	Matrice de corrélations (<i>Pearson</i>) entre l'activité antiradicalaire et la durée du stockage des légumes cuits dans l'eau.....	74

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Voie de l'acide shikimique.....	25
Figure 2.	Localisation des composés phénoliques au niveau de la cellule. POD: phénol peroxydase ; PPO: polyphénol oxydase (Toivonen et Brummell, 2004).....	26
Figure 3.	Structures des anthocyanines de la pomme de terre (Eichhorn et Winterhalter, 2005).....	31
Figure 4.	Structures des acides phénoliques de la pomme de terre (Eichhorn et Winterhalter, 2005).....	32
Figure 5.	Structure chimique de quelques composés polyphénoliques présents dans les pommes de terre communes (Manach <i>et al.</i> , 2004).....	32
Figure 6.	Structure chimique de quelques dérivés de l'acide cinnamique présents dans la carotte.....	33
Figure 7.	Structure chimique de quelques dérivés de l'acide benzoïque présents dans la carotte.....	33
Figure 8.	Structures chimiques de quelques composés phénoliques présents dans les épinards.	34
Figure 9.	Flavonoïdes aglycones de légumes Brassica (Cartea <i>et al.</i> , 2011).....	34
Figure 10.	Acides hydroxycinnamiques de Brassica.....	35
Figure 11.	Légumes étudiés.....	38
Figure 12.	Représentation schématisée des étapes et analyses réalisées.....	39
Figure 13.	Récapitulation des étapes d'extraction des polyphénols totaux.....	43
Figure 14.	Récapitulation des étapes de dosage des polyphénols totaux.....	45
Figure 15.	Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	45
Figure 16.	Taux d'humidité des échantillons des légumes crus témoins.....	48
Figure 17.	Taux d'humidité des légumes crus et cuits.....	52
Figure 18.	Taux d'humidité des légumes crus et cuits.....	54
Figure 19.	Teneurs en polyphénols totaux exprimées en mg GEA/100g des légumes crus et cuits à la vapeur.....	61
Figure 20.	Teneurs en polyphénols totaux des légumes crus et cuits dans l'eau.....	64
Figure 21.	Activité anti-radicalaire des extraits de légumes crus.....	67
Figure 22.	Activité antioxydante totale des légumes étudiés.....	71
Figure 23.	Activité antioxydante totale des légumes crus et cuits dans l'eau.....	74

Liste des abréviations

%	Pourcentage
°C	Degré CELSIUS
μL	Microlitre
μM	micromole
A	absorbance
AA	Activité antioxydante
Abs	Absorbance
ADN	Acide désoxyribonucléique
ANOVA	Analysis of variance
Ca.C	Carotte crue
Ca.E	Carotte cuit dans l'eau
Ca.V	Carotte cuit à la vapeur
Ch. C	Chou cru
Ch.E	Chou cuit dans l'eau
Ch.V	Chou cuit à la vapeur
CLHP	Chromatographie liquide à haute performance
cm	Centimètre
DPPH	1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl
EAG	Equivalent d'acide gallique
Ép.C	Epinard cru
Ép.E	Epinard cuit dans l'eau
Ép.V	Epinard cuit à la vapeur
EV	Extrait végétal des légumes
FAO	Food and Agriculture Organization
FC	Folin-Ciocalteu
g	Gramme
h	Heure
H (%)	Taux d'humidité exprimé en pourcentage
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques
I%	Pourcentage d'inhibition
kg	Kilogramme
km	Kilomètre

M	Masse de la matière végétale sèche utilisée en gramme
M	Mol
MADR	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rurale
ml	Millilitre
mn	Minute
Mo8O2	Molybdène
Na2 CO3	Carbonate de sodium
nm	nanomètre
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
P.T.C	Pomme de terre crue
P.T.E	Pomme de terre cuit dans l'eau
P.T.V	Pomme de terre cuit à la vapeur
p/v	Poids/Volume
Pe	Prise d'essai
rpm	revolution per minute
TAE	équivalents d' alpha-tocophérol
UV	Ultra violet
v/v	volume/volume
W8O23	Tungstène
µg	Microgramme

Introduction

L'importance des légumes et des fruits pour une alimentation saine est incontestable. L'une des raisons possibles pour lesquelles ils présentent des caractéristiques favorisant une bonne santé, est la présence de différents antioxydants dans les parties comestibles, tels que les vitamines C et E, les caroténoïdes, le sélénium, les folates et les composés phénoliques, y compris les flavonoïdes (Pelli *et al.*, 2003).

Les polyphénols constituent un groupe de substances naturelles avec des structures chimiques variables. L'élément structural fondamental, qui les caractérise, est la présence d'au moins un cycle aromatique à 6 carbones, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles. L'intérêt des polyphénols réside dans leurs propriétés antioxydantes, ils sont capables de piéger les radicaux libres générés en permanence par notre organisme ou formés en réponse à des agressions de notre environnement (Middleton *et al.*, 2000).

L'estimation de l'apport alimentaire en composés phénoliques reste difficile du fait de la vaste diversité des composés présents, à laquelle s'ajoutent les multiples possibilités de conjugaison (Mazza, 1995). De plus, la quantité et la qualité des polyphénols dans les légumes peuvent varier sensiblement en fonction des différents facteurs. Une série de facteurs sont liés à la culture même des plantes et comprend le bagage génétique des plantes, les pratiques agricoles, la fertilité du sol, les conditions climatiques, la présence de ravageurs et les méthodes de lutte contre les ravageurs, de même que le calendrier de récolte et le degré de maturité à la récolte. Une autre série de facteurs prennent leur source au moment où la plante quitte la ferme où elle a été cultivée et est acheminée vers le consommateur. Les facteurs liés à la conservation et à la préparation des aliments chez le consommateur ont également une incidence sur le taux de ces substances, une incidence parfois importante (Charles et Benbrook, 2005).

Au-delà de leur implication reconnue dans l'effet-santé de l'aliment, les polyphénols participent aussi pleinement aux caractéristiques organoleptiques des denrées alimentaires et jouent un rôle important sur la durée de vie des aliments. Ils peuvent favoriser la conservation, mais également générer des problèmes de couleurs ou d'instabilité colloïdale au cours du temps (Collin et Crouzet, 2011).

Un important défi (et un sujet de recherche continue) consiste donc à déterminer comment préserver de manière efficace le contenu en polyphénols et en antioxydants des fruits, des légumes et des grains de la récolte jusqu'à la consommation (Charles et Benbrook, 2005).

Plusieurs légumes, parmi lesquels figurent la pomme de terre, le chou et l'épinard, ne sont pas consommés crus ou juste après la cueillette, ils peuvent être exposés sur le marché plusieurs jours pour différentes raisons (prix coûteux, exposés en grande quantité, etc.). D'autres légumes doivent subir la cuisson afin d'être consommés. L'effet du stockage ainsi que l'impact des différents modes de cuisson sur la capacité antioxydante et la teneur polyphénolique sur ces aliments n'ont pas été largement étudiés (Barkat et Kadri, 2011).

Les principaux objectifs de ce travail consistent à évaluer la teneur en polyphénols totaux extraits à partir de quatre espèces de légumes crus et cuits, à évaluer le pouvoir piégeur (scavenger) de ces extraits vis-à-vis d'un radical libre relativement stable (2,2 – dipheny 1-1-picrylhydrazile ou DPPH), à mettre en évidence l'impact de : (i) la durée de stockage à température environnementale sur la teneur en polyphénols et l'activité antioxydante totale des légumes étudiés en suivant leur évolution au cours du temps ; (ii) la durée de stockage et les deux modes de cuisson appliqués (l'un à la vapeur et l'autre dans l'eau) sur ces teneurs.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons jugé utile de structurer le manuscrit comme suite :

La première partie est une étude bibliographique, évoquant des généralités, des statistiques de production, la classification, la conservation et la transformation des quatre légumes choisis dans la présente étude notamment la pomme de terre, la carotte, le chou pommé et l'épinard. Elle décrit aussi quelques propriétés structurelles et biologiques des composés phénoliques, et les facteurs pouvant influencer leurs composition et teneurs. Elle traite les différents modes de cuisson et leurs impacts sur les aliments. La deuxième partie décrit l'échantillonnage, le matériel et les méthodes utilisés pour l'extraction et l'évaluation de la teneur en polyphénols totaux des légumes fraîchement récoltés puis stockés, avant et après cuisson (à la vapeur et dans l'eau), ainsi que l'évaluation de leur activité antioxydante.

La troisième partie de ce travail expose les résultats obtenus et la discussion, suivis d'une conclusion générale avec des perspectives.

Synthèse
Bibliographique

1. Légumes étudiés

1.1. Pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.)

1.1.1. Généralités

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) est une plante tubéreuse originaire d'Amérique latine. En Algérie, la pomme de terre, a probablement été introduite la première fois au XVI^{ème} siècle par les Maures andalous qui ont propagé les autres cultures dans la région : tomate, poivron, maïs et tabac puis elle est tombée dans l'oubli n'ayant pas suscité d'intérêt. Dans la deuxième moitié du XXV^{ème} siècle, les colons l'ont cultivé pour leur usage car les algériens y étaient réticents malgré les disettes successives. C'est la dernière grande famine des années 1930/1940 qui a fait opposition (Méziane, 1991).

1.1.2. Productions

D'après la FAO (2005), la pomme de terre est la quatrième production mondiale après le blé, le riz et le maïs. La superficie correspond à sa production est de l'ordre de 23 millions d'hectares et le rendement moyen mondial est légèrement supérieur à 15 tonnes/hectare. Les plus importants pays producteurs de pommes de terre sont la Chine (55 millions de tonnes), l'Union européenne (50 millions de tonnes), la Russie (31 millions de tonnes), l'Inde (22 millions de tonnes) et les Etats Unies (22 millions de tonnes). Il convient de noter qu'une part importante de la production de la Chine et de la Russie est destinée à la consommation du bétail. Au sein de l'Union européenne la superficie consacrée à la pomme de terre est voisine de 1,5 millions d'hectares. Le premier producteur est l'Allemagne (12 millions de tonnes), suivie par les pays –bas (8,2 millions de tonnes), le Royaume–Uni (7,1 millions de tonnes) et la France (6,5 millions de tonnes). Le rendement moyen européen est de 35 tonnes/ hectare ; il est voisin ou supérieur à 40 tonnes/ hectare dans les pays du nord de l'Union européenne (MADR, 2013).

En Algérie, la production de la pomme de terre est en constante augmentation. Ceci s'explique par la croissance des superficies et par l'augmentation des rendements. La campagne 2005/2006, caractérisée par une superproduction ayant provoquée des perturbations du marché. Cette situation ajoutée à des problèmes de tout ordre (pertes subies par les producteurs, manque de semences et augmentation des prix des intrants) a plongé la filière dans une crise sans précédent durant deux campagnes successives qui s'est traduite par une baisse drastique de la production avec comme conséquence l'élévation du prix de la pomme de terre sur le marché. Dès 2010 à 2013 la production a augmenté de 29% alors les superficies n'ont augmenté que de 19,41% ce qui montre que ce gain de

production découle plus de l'amélioration des rendements. La production en 2012 /2013 toute catégorie de pommes de terre confondues se situe au tour de 4,5 millions de tonnes dont 0,45 millions de tonnes de semences pour une superficie de l'ordre de 125 000 hectares. Le rendement moyen en Algérie toute tranche de culture confondue se situe autour de 28 tonnes par hectares, avec des records pouvant atteindre 60 tonnes par hectare. Contrairement aux pays septentrionaux où la pomme de terre est cultivée durant une seule saison, en Algérie elle est cultivée selon trois types de culture qui sont : la saison, l'arrière saison et la primeur ce qui offre des avantages avérés pour une bonne régulation de la pomme de terre sous toutes ses formes (programmation en amont, stockage sous froid, transformation et exportation) (MADR, 2013).

Le catalogue national des variétés cultivées autorisées à la production et à la commercialisation comprend plus de 150 variétés. Les plus demandées par la production sont pour les peaux rouges : *Désirée*, *Kondor*, *Bartina Sarpomira*, *Kuroda*, *Rubis*, etc. Pour des peaux blanches : *Spunta*, *Timate*, *Fabula* et bien d'autres variétés nouvellement introduites. Cette gamme variétale concilie à la fois les exigences des consommateurs et des producteurs. Cependant le catalogue national renferme des variétés adaptées pour la transformation, parmi elles on peut citer : *Désirée*, *Escorte*, *Agria*, *Timate*, *Monalisa*, *Océania*, *Lady roseta*, *Sarpomira*, *Royal*, et bien d'autres variétés destinées pour la prouction de pommes de terre précuites et de Chips. Cependant la liste des variétés destinées à la transformation pourrait être élargie en fonction de la demande (MADR, 2013).

1.1. 3. Classification botanique

La pomme de terre appartient à la famille des Solanacées, l'espèce cultivée en Algérie, *Solanum tuberosum L subsp tuberosum* comprend plusieurs centaines de variétés différentes par la forme, la couleur, la texture ou encore par le contenu en amidon des tubercules. Selon Hawkes (1990), sa classification est la suivante :

Règne : *Métaphytes*

Embranchement : *Spermatophytes*

Sous Embranchement : *Angiospermes*

Classe : *Dicotylédones*

Sous Classe : *Asteridae*

Ordre : *Polemoniales*

Famille : *Solanaceae*

Genre : *Solanum*

Espèce : *Solanum tuberosum*

1.1.4. Composition chimique

La pomme de terre est un aliment polyvalent, riche en hydrates de carbone. Fraîchement cueillie, elle contient environ 80 % d'eau et 20 % de matière sèche, dont 60 à 80 % environ d'amidon. La teneur en protéines de la pomme de terre (en poids sec) est semblable à celle des céréales et très élevée par rapport aux autres racines et tubercules. En outre, la pomme de terre est pauvre en lipides. Par contre elle est riche en micronutriments, en particulier en vitamine C. Elle est une source modérée de fer et sa forte teneur en vitamine C en favorise l'absorption. C'est une bonne source de vitamines B1, B3 et B6 et de sels minéraux comme le potassium, le phosphore et le magnésium, elle contient en outre des vitamines B9, B5 et B2. Elle renferme par ailleurs des antioxydants et des fibres alimentaires. La composition moyenne de la pomme de terre est représentée dans le tableau 1 (FAO, 2008).

Tableau 1. Composition chimique du tubercule de pomme de terre (une pomme de terre crue, non épluchée, 213g) (FAO, 2008).

Constituants (%)		Minéraux (mg)		Vitamines (mg)	
Eau	72-75	Potassium	897	Vitamine C	42
Amidon	16-20	Phosphore	121	Niacine	2,2
Protéines	2-2,5	Magnésium	49	Vitamines B6	0,62
Fibres	1-1,8	Fer	1,66	Thiamine	0,17
Acides gras	0,15				

1.1.5. Transformation et conservation

Une fois récoltée, la pomme de terre peut être utilisée de diverses manières, et pas seulement comme légume. En fait, moins de la moitié des tubercules produits dans le monde sont consommés frais. Le reste est transformé en produits dérivés et en ingrédients alimentaires pour nourrir les vaches, les porcs et les poulets, en fécule destinée à l'industrie ou bien réutilisée sous forme de plants pour la prochaine saison agricole (FAO, 2008).

De tous les créneaux de transformation de la pomme de terre (fabrication de féculs, de mousselines, pomme de terre pré cuites, frites surgelées et chips), seuls les chips sont plus

ou moins développés en Algérie, encore avec beaucoup de lacunes en terme de respect des exigences variétales et d'application d'un itinéraire technique de production adapté pour les pommes de terre destinées pour la transformation. Sur le plan quantitatif, on estime à environ 50 000 tonnes de pomme de terre transformée (MADR, 2013).

Que les tubercules soient consommés frais ou transformés, ils doivent être stockés à l'abri de la lumière, sinon ils produisent de la chlorophylle et un alcaloïde toxique, la solanine. Les tubercules doivent être stockés à une température comprise entre 6 et 8°C, dans un endroit obscur, bien aéré dont le taux d'humidité est relativement élevé, entre 85 et 90 %. Les semences, en revanche, doivent être stockées à la lumière diffuse afin de pouvoir germer et former des bourgeons vigoureux (FAO, 2008).

1.2. Carotte (*Daucus carotta*)

1.2.1. Généralités

La carotte est une plante reconnaissable par sa racine pivotante développée en organe de réserve, charnue, cassante, pigmentée (rarement blanche), agréable au goût et non ramifiée. A l'origine se trouvent des formes plus ou moins anthocyanées (violet clair à rouge noir) de l'Afghanistan (Chaux et Foury, 1994). Elle se répandit, vers l'Est ; Chine (1300 av. J. C.), Japon (1600) et l'Ouest ; l'Asie mineure (700) et l'Espagne (par les Arabes, 1000-1100) (Chaux et Foury, 1994).

La texture de la carotte s'est améliorée et acquit sa couleur orangée au milieu du 19^{ème} siècle, L'amélioration génétique, a permis l'obtention de très haute qualité, largement justifiée par le développement de la consommation de ce légume à l'état cru. On a amélioré la teneur en carotène, la coloration uniforme (collet et cœur) tout en conservant la tendreté. La création des hybrides F1 a permis un progrès considérable en qualité et rendement (Chaux et Foury, 1994).

1.2.2. Productions

La carotte (*Daucus carota* L.) est le principal légume racine cultivé dans le monde après la pomme de terre (Villeneuve et Leteinturier, 1992a ; 1992b). Par sa valeur nutritionnelle, ses modes de consommation simples et variés, ainsi que par son prix modéré, la carotte est très consommée dans le monde (Chaux et Foury, 1994 ; Gonçalves et al., 2010).

D'un point de vue économique, la carotte fait partie des dix cultures légumières les plus importantes dans le monde, en termes de surface de production et de valeur marchande

(Simon *et al.*, 2008). Sa production mondiale est en constante progression et atteint, pour l'année 2010, les 33,7 millions de tonnes sur une superficie d'environ 1,2 millions d'hectares à travers le monde (Lecomte, 2013).

1.2.3. Classification botanique

La carotte appartenant à la vaste famille des *Apiaceae* (ou *Umbelliferae*). Le genre *Daucus* comprend environ 30 espèces, annuelles, bisannuelles et vivaces, qui croissent surtout en Europe, en Afrique et en Asie de l'Ouest. Il en existe aussi quelques espèces dans les Amériques et en Australie. Son centre de répartition est le bassin méditerranéen (Munro et Small, 1998). Sa classification botanique est la suivante :

Règne : *Métaphytes*

Embranchement : *Spermatophytes*

Sous Embranchement : *Angiospermes*

Classe : *Dicotylédones*

Ordre : *Ombellales*

Famille : Ombellifères (*Umbelliferae*)

Genre : *Daucus*

Espèce : *Daucus carotta*

1.2.4. Composition chimique

La carotte est un légume racine d'apport énergétique modéré (40 Kcalories pour 100 g), particulièrement pourvu en carotènes et en fibres. Les carotènes (sources de provitamine A) sont à l'origine de la pigmentation orangée de la racine de carotte et reflètent ainsi un indice de qualité alimentaire du produit. Le β et l' α - carotène représentent environ 90% des carotènes totaux (Villeneuve, 1999). La teneur en sucres solubles varie de 2,5 à 14% (du poids frais) chez la carotte, mais se situe le plus souvent entre 4 et 8 %. Dans la plupart du matériel (à l'exception de mutants rares), les sucres réducteurs (glucose et fructose) sont majoritaires à maturité et représentent environ 50 à 90% des sucres solubles (Doré et Varoquaux, 2006). L'apport minéral est globalement important : le potassium domine, comme la plupart de végétaux, mais on note des teneurs appréciables en calcium, magnésium et fer. Enfin, les fibres, particulièrement abondantes, sont composées en majorité de pectine et de cellulose. La carotte constitue une importante source de vitamine (notamment A, B, C). Il est noté la présence de quelques Acides aminés (AA) libres (glutamique), des substances terpéniques et phénoliques qui interviennent dans l'agrément

gustatif des préparations de ce légume (Villeneuve, 1999). La composition moyenne de la carotte est représentée dans le tableau 2.

Tableau 2. Composition moyenne de la carotte pour 100 g net (Dupin *et al.*, 1992).

	(g)		variations possibles		
Glucides	8,70		6,0 - 9,3		
Protides	0,98		0,7 - 1,2		
Lipides	0,20		0,1 - 0,3		
Eau	88,00		87,5 - 89,7		
Fibres alimentaires	3,40		3,0 - 5,0		
Apport énergétique		40 kcal			
Minéraux	(mg)	variations possibles (mg)	Vitamines	(mg)	variations possibles (mg)
Potassium	290	201-346	Povitamine A	12	6-21
Chlore	61	39-75	Vitamine C	7,1	5-9,8
Sodium	60	32-83	Vitamine PP	0,58	0,4-1,0
Calcium	41	25-52	Vitamine E	0,5	0,4-1,2
Phosphore	35	30-44	Vitamine B5	0,27	0,20-0,10
Magnésium	18	15-24	Vitamine B6	0,09	0,07-0,12
Fer	0,66	0,43-0,80	Vitamine B9	0,08	0,05-0,16
Zinc	0,39	0,18-0,50	Vitamine B1	0,069	0,05-0,10
Bore	0,31	0,18-0,42	Vitamine B2	0,053	0,03-0,08
Manganèse	0,21	0,12-0,36			

1.2.5. Transformation et conservation

La récolte se fait au fur et à mesure des ventes. Celles-ci se font ou bien en présentant les racines sous forme de buttes, munies de leur partie aérienne, ou en vrac sans feuillage. Lors du cheminement vers le marché, il faut faire attention pour ne pas endommager les racines par des blessures. Les racines de carotte se conservent dans le sol pour une durée de moins d'un mois. Elles se conservent aussi en chambre froide à 0°C et 99% HR après lavage dans une solution à 100 ppm de chlorure à pH comprise entre 6,5 et 7 et refroidissement (MADR, 2002). Les plus récentes techniques d'entreposage permettent en principe de conserver les carottes de 6 à 9 mois (Munro et Small, 1998).

1.3. L'épinard (*Spinacia oleracea* L.)

1.3.1. Généralités

L'épinard (*Spinacia oleracea* L.) est une plante herbacée annuelle, aujourd'hui cultivée dans toutes les régions tempérées du monde (Munro et Small, 1998). La plante d'épinard se présente sous la forme d'une rosette, quand il est à l'état végétatif, avec des feuilles nettement pétiolées. Au moment de la floraison, il présente une hampe florale feuillée qui porte soit des fleurs femelles, soit des fleurs mâles : c'est une plante dioïque (Diogon, 2002). Les feuilles peuvent être froissées (cloquées), aplaties, fripées, semi-froissées ou lisses. Les graines d'épinard sont des fruits à une seule graine (Munro et Small, 1998). Sa racine pivotante est pourvue de nombreuses radicelles qui colonisent le sol latéralement, et peut descendre jusqu'à 45 cm de profondeur (Chaux et Foury, 1994).

1.3.2. Productions

La production mondiale d'épinard est dominée par la Chine (76% des volumes) suivie de l'Indonésie, du Japon, de la Turquie et des Etats-Unis (FAO, 2006). Au niveau de la communauté européenne, la production totale de l'épinard cultivé est d'environ 400 000 tonnes. L'Italie occupe la première place avec 94 000 tonnes (environ 24%) ; suivie de la France avec 94 000 (environ 21%). Les autres principaux producteurs sont l'Espagne (54 000 tonnes, soit 14%), les Pays-Bas (51 000 tonnes, soit 13%), la Grèce (42 000 tonnes, soit 10%), la RFA (38 000 tonnes, soit 9%) et la Belgique (31 000 tonnes, soit 8%). On distingue généralement deux types de production : l'épinard de printemps et l'épinard d'automne. Auxquels s'ajoute une production minimale d'été. En France, le commerce extérieur de l'épinard frais est marginal, en revanche, les échanges en surgelés sont importants et très déficitaires. Dans la production commerciale, l'épinard se cultive pour les besoins du marché local, en vue de la mise en conserve et de la congélation (Munro et Small, 1998).

1.3.3. Classification botanique

L'épinard (*Spinacia oleracea* L.) est une plante cultivée de la famille des *Chenopodiaceae* dont le cycle de développement est annuel. Le genre *Spinacia* comprend quatre espèces herbacées annuelles originaires de l'Asie du sud-ouest (Munro et Small, 1998). La répartition actuelle de l'épinard est essentiellement due à l'activité humaine et à

son utilisation agronomique (Diogon, 2002). Sa classification botanique est la suivante :

Règne : *Métaphytes*

Embranchement : *Spermatophytes*

Sous Embranchement : *Angiospermes*

Classe : *Dicotylédones*

Ordre : *Chenopodiales*

Famille : *Chenopodiaceae*

Genre : *Spinacia*

Espèce : *Spinacia oleracea* L.

1.3.4. Composition chimique

L'épinard est une excellente source de vitamines, de minéraux et des antioxydants. Il se distingue par une teneur élevée en β - carotène, acide folique, vitamine C, calcium, ions phosphore, sodium et potassium (Nonnicke, 1989; Dicoteau, 2000 *In* Prohens et Nuez, 2008). Avec un apport de 25 kcalories soit 105 kJoules aux 100 g, l'épinard fait partie des légumes frais les moins énergétiques. Il est en effet riche en eau (plus de 90%), et ne renferme, de ce fait, qu'une quantité limitée de substances énergétiques :

- Un peu plus de 3g de glucides aux 100g. Il est constitué, comme dans la plupart des légumes-feuilles, par une majorité de sucres peu courants : pentanes et hexoses, et dans une moindre proportion par du saccharose, du glucose et du fructose ;
- Environ 2,4 g de protides. Abondants pour un légume frais, ils possèdent une valeur biologique satisfaisante : tous les acides aminés essentiels sont présents (avec néanmoins un léger déficit en tyrosine) ;
- 0,3 g de lipides seulement. Présentes à l'état de traces. Mais on peut noter qu'ils ont pour constituant, en proportion intéressante, un acide gras relativement rare dans l'alimentation, l'acide linoléique : l'épinard en apporte 89 mg aux 100 g.

L'épinard fournit une quantité intéressante de minéraux (plus de 1,5 g aux 100 g), très diversement représentés. Le potassium arrive largement en tête. Le calcium atteint des valeurs élevées, de même que sodium, le fer et en magnésium. On y trouve aussi de très nombreux oligo-éléments, en particulier du sélénium, du cuivre, du zinc, de l'iode, etc. Les taux de plusieurs vitamines sont remarquablement élevés : la provitamine A (carotène), vitamine C, vitamine B9. Les autres vitamines du groupe B présentent en quantité appréciables, de même que la vitamine E et la vitamine K. Les fibres de l'épinard sont

abondantes (4%), constituées en majorité par des celluloses et des hémicelluloses, qui forme des membranes cellulaires du végétale. La composition moyenne de l'Épinard est représentée dans le tableau 3.

Tableau 3. Composition moyenne de l'épinard pour 100 g net (Dupin *et al.*, 1992).

Composés énergétiques (g)		Variations possibles	
Glucides	3,2	2,4 - 3,7	
Protides	2,4	2,3 - 2,5	
Lipides	0,30	0,3 - 0,4	
Eau	91,60	90 - 92	
Fibres alimentaires	4		

Apport énergétique		25 kcal	
Minéraux (mg)	Variations possibles (mg)	Vitamines (mg)	Variations possibles (mg)
Potassium	500	470-742	Provitamine A 4 2-9
Calcium	130	80-190	Vitamine C 50 15-120
Sodium	65	40-100	Vitamine B1 0,15 0,07-0,20
Magnésium	58	39-88	Vitamine B2 0,23 0,18-0,33
Phosphore	55	37-70	Vitamine B5 0,25 0,19-0,31
Chlore	54	32-76	Vitamine B6 0,22 0,18-0,31
Fer	4	2,8-6,6	Vitamine PP 0,60 0,4-1,7
Manganèse	0,76		Vitamine B9 0,14 0,08-0,20
Zinc	0,50	0,4-0,6	Vitamine E 0,35
Cuivre	0,18	0,12-0,26	
Fluor	0,11		
Nickel	0,023		
Iode	0,020		
Sélénium	0,018		
Chrome	0,005		
Cobalt	0,002		
Bore	0,001		

1.3.5. Transformation et conservation

Actuellement, le marché du frais est de plus en plus concurrencé par le surgelé et par les conserves. Ainsi, la consommation de l'épinard s'étale sur toute l'année. Mais la commercialisation du légume frais s'effectue principalement au printemps, de mars à juin.

L'épinard est un légume vert qui bénéficie d'une bonne image de marque et répond à notre souci d'équilibre alimentaire : diversité, qualité diététique, besoin de vitamines, etc. Mais il souffre de la lourdeur de sa préparation et se trouve peu adapté au mode de vie contemporain qui tend à simplifier les tâches ménagères. Cette contrainte explique pourquoi la consommation de l'épinard à l'état frais est en recul, au profit du légume transformé. Un chiffre révélateur : près de 80 % des surfaces cultivées en épinard sont destinées aux industries de transformation. Progressivement, la "première gamme" constituée par le légume frais brut a fait place à la deuxième puis à la troisième gamme, c'est-à-dire la conserve et le surgelé. L'épinard est l'un des premiers légumes vendus sous forme congelée (Laure, 1990).

Pour une bonne conservation, l'épinard doit être immédiatement réfrigéré à l'eau glacée à 0°C en maintenant un haut degré d'humidité pour éviter le ratatinement. La conservation en atmosphère contrôlée, avec 10 % de CO₂, permet de prévenir le jaunissement pendant une durée qui peut aller jusqu'à 3 semaines à une température de 5°C (Nonnecke, 1989).

1.4. Chou (*Brassica oleracea* L.)

1.4.1. Généralités

Le chou est une plante bisannuelle. La première année de croissance donne naissance à une boule de feuilles serrées appelée «tête». Des têtes rondes ou en boule, des têtes pointues, des têtes coniques et des têtes plates. Les feuilles peuvent être vertes, violacées ou rouges. Elles peuvent également être lisses ou froissées. Le genre *Brassica* du Vieux Continent comprend environ 40 espèces de plantes annuelles, pour la plupart, ainsi que quelques vivaces et petits arbustes (Munro et Small, 1998). Il s'agit d'un groupe extrêmement complexe dans lequel plusieurs espèces ont évolué par hybridation.

1.4.2. Productions

Plus de 130 pays cultivent les différents choux pommés pour une production mondiale de plus de 68 millions de tonnes. Les choux cabus blancs représentent l'essentiel du marché, les choux rouges ne représentent guère plus de 5% et les choux de Milan étant

spécifiques de quelques pays en dehors de l'Europe (Doré et Varoquaux, 2006). La Chine, avec plus de 32 millions de tonne, est de loin le producteur le plus important (FAO, 2004). Cette production est répartie sur 1 719 450 hectares en 2005 (FAO, 2006).

En Algérie, les cultures de brassicacées (chou vert et chou fleur) sont réparties dans les régions centrales humides et subhumides du pays. Une superficie de 3.178 ha est destinée à ces spéculations (Nebih Hadj-Sadok *et al.*, 2011).

1.4.3. Classification botanique

Sous l'appellation générale de « chou » (*Brassica oleracea* L), sont regroupés des légumes relativement différents : chou pommé (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.), chou-fleur (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.), brocoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck), chou de Bruxelles (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera* DC.), chou rave (*Brassica oleracea* L. var. *gongylodes* L.). Ils appartiennent tous à la famille des Brassicacées ou Brassicaceae (anciennement Crucifères) qui présente sans doute le plus grand polymorphisme chez les plantes cultivées (Munro et Small, 1998). La classification des choux est la suivante :

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	Magnoliophyta
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Dilleniidae</i>
Ordre	<i>Brassicales</i>
Famille	<i>Brassicaceae</i>
Genre	<i>Brassica</i>
Espèce	<i>Brassica oleracea</i>

1.4.4. Composition chimique

Le chou est un équilibrant général, reminéralisant et tonifiant, riche en chlorophylle, calcium, soufre, sélénium, vitamine A, B9, C et E (Guerven, 2006). Il est riche en antioxydants (Nilsson *et al.*, 2006). La composition moyenne du chou est représentée dans le tableau 4.

Tableau 4. Composition chimique du Chou râpé et cru (74g) (Zee *et al.*, 1987).

Constituants		Micronutriments			
Composés énergétiques	18 kca	Minéraux		Vitamines	
Protéines	1 g	Calcium	35 mg	Vitamine A	98 UI
Glucides	4 g	Fer	0,4 mg	Vitamine C	24 mg
Fibres Alimentaires		Zinc	0,1 mg	Vitamine B6	0,07 mg
Totales	1,3g	Sodium	13 mg	Folate	32 µg
Lipides Totaux	traces	Potassium	182 mg	Thiamine	0,04 mg
				Riboflavine	0,03 mg
				Niacine	0,4 EN

1.4.5. Transformation et conservation

Les légumes feuilles, parmi lesquels figurent les choux, sont des organes végétaux en évolution continue, même après récolte. Cette évolution va se caractériser par des processus défavorables : perte d'eau (ramollissement, flétrissement), dégradation de la coloration et apparition de maladies physiologiques ou sanitaires, etc. Le chou peut se conserver au réfrigérateur et rester frais durant 2 à 3 semaines. Pour ce faire, les choux sont lavés à l'eau courante, puis égouttés.

Parmi les produits de transformation du chou, la choucroute résulte de la fermentation lactique spontanée des feuilles, qui ont été préalablement coupées en lanières longues et étroites. Du sel (2 à 2,5%) ajouté assure un état plasmolysant favorisant l'extraction des jus. Ainsi cet ensilage, anciennement pratiqué, est un très bon moyen de conservation et préservant l'essentiel des qualités du chou (Pitrat et Foury, 2003).

2. Détérioration des légumes

2.1. Facteurs responsables de la détérioration

Les principaux modes ou mécanismes de détérioration des légumes sont : la sénescence, l'attaque microbienne, les détériorations enzymatiques, chimiques et thermiques, les dommages physiques et finalement, l'effet de la température et du temps.

2.1.1. Sénescence

Après récolte, les tissus sont séparés de leur source de nutriments et d'apport en eau. Cependant, le système est vivant et les enzymes vont dégrader le matériel disponible présent comme source d'énergie. Avec le temps et, affecté par la température, le gaz carbonique (CO₂) est dégagé avec de l'eau (H₂O) et l'oxygène (O₂) gazeux et moléculaire est consommé. L'accumulation d'acides organiques et aussi d'alcools peuvent causer des intoxications ou des dommages physiologiques internes en termes de couleur et de texture et favoriser l'apparition de mauvais goûts et d'odeurs nauséabondes. Le bris de l'intégrité des membranes cellulaires et du changement de leur perméabilité favorise le développement de la flore microbienne naturelle ou contaminant pour l'attaque des protéines, des lipides, etc. C'est la sénescence naturelle ou accentuée par l'action de la température, du temps, de l'humidité et d'autres facteurs externes (Cheftel et Cheftel, 1976; Lawrie, 1979).

2.1.2. Attaque microbienne

Les microorganismes de tous genres constituent une menace potentielle pour les aliments : de par leur nombre, leur type et leur potentiel de pathogénicité. Les chocs ou dommages physiques aux tissus combinés avec la connaissance de la flore indigène typique du milieu et leur dénombrement, facilitent l'estimation du temps de conservation maximale et des technologies utilisées. Le taux de croissance microbien est fonction de l'environnement et particulièrement de la température avant, pendant et après conditionnement et aussi du pH (Cheftel et Cheftel, 1976 ; Lawrie, 1979 ; Hotchkiss, 1989).

2.1.3. Enzymatique et chimique

Lors de manipulations, du transport, et de la transformation, etc., les tissus ou le matériel biologique subira des dommages causant la libération des constituants chimiques (substrats) et d'enzymes cellulaires. Ces ingrédients ou composés naturels vont réagir entre eux et avec l'atmosphère de l'environnement pour provoquer des réactions de dégradation des paramètres de qualité et de la durée de vie commerciale. On peut les subdiviser en deux groupes:

2.1.3.1. Enzymatique

Les enzymes libérés dans le milieu cellulaire comme les lipoxydases provenant des mitochondries attaquent les lipides et provoquent la rancidité. De plus, les polyphénols

oxydases, dans le cas des fruits et légumes, réagissent avec l'oxygène de l'air pour provoquer le brunissement. D'autres enzymes peuvent provoquer des pertes de couleur et de vitamines hydrosolubles, comme la vitamine C et celles du complexe B. Ce mécanisme se produit à la température de la pièce et au réfrigérateur. En contrôlant la pression partielle d'oxygène (% O₂), l'eau libre ou l'activité de l'eau (A_w), le pH et la température, ce type de dégradation peut être minimisé (Cheftel et Cheftel, 1976; Brody, 1989).

2.1.3.2. Non-enzymatique (chimique)

Cette réaction est le résultat de réactions entre les composés (sucres) réducteurs (tels le glucose, fructose et lactose) et les acides aminées. Également lors du chauffage, il y aura plus ou moins caramélisation des sucres. Souvent, il y a réaction d'oxydation avec la vitamine C présente. Dans certains cas, nous pouvons avoir deux types rapides de dégradation différents, c'est-à-dire un à haute température et un à basse température (brunissement non-enzymatique et rancidité) (Cheftel et Cheftel, 1976).

Le flétrissement des fruits et légumes se retrouve lorsque l'humidité relative est trop basse et l'activité respiratoire est trop intense due à l'abus de température (Doyon, 1990).

2.1.4. Autres modes de dégradation

Les rayonnements lumineux en particulier les ultraviolets (U.V.), ont un effet sur les pigments et l'oxydation du gras. Certaines fréquences des micro-ondes peuvent provoquer l'autoxydation du gras. Également, les hauts niveaux d'énergie (ionisation) se doivent d'être utilisés avec discernement (Cheftel *et al.* 1977; Lawrie, 1979). On peut mentionner que très souvent, il faut contrôler les dégradations thermiques sur les vitamines et la structure finale du produit, après stérilisation et cuisson.

Le mode d'attaque physique se reflète surtout sur la structure. Les stress causés par la pression et l'abrasion provoquent alors les meurtrissures qui engendrent la croissance accrue des microorganismes et l'apparition du brunissement (Doyon, 1990).

3. Cuisson

3.1. Définition de la cuisson

La cuisson est une opération qui consiste à chauffer un aliment à un certain niveau pendant un certain temps et dans un environnement bien défini (Bimbenet *et al.*, 2002).

C'est une étape essentielle dans la préparation des aliments. Elle permet non seulement de consommer certains produits auparavant indigestes de mauvaise qualité gustative, mais améliore aussi la qualité bactériologique. C'est en outre une étape qui contribue à la dégradation des produits et s'accompagne donc souvent d'une perte des minéraux (Turkmen *et al.*, 2005).

3.2. Impacts de la cuisson sur les aliments

La cuisson a des impacts variés dont l'importance respective diffère suivant le type d'aliment et le type de cuisson. On peut néanmoins les regrouper en trois groupes principaux : nutritionnel, sanitaire et organoleptique.

3.2.1. Impact nutritionnel

La cuisson des légumes permet d'en améliorer la digestibilité en modifiant la structure des fibres alimentaires. Cependant, elle entraîne aussi une diminution plus ou moins marquée de la valeur nutritionnelle, soit par diffusion de constituants hydrosolubles dans l'eau de cuisson, soit par destruction de substances thermolabiles et/ou oxydables. Les pertes sont en général plus élevées pour les légumes-feuilles que pour les racines et tubercules. Elles augmentent avec le volume d'eau utilisé et la durée de la cuisson (Causeret, 1986). D'autre part, la cuisson permet de réduire l'impact de facteurs antinutritionnels qui empêchent l'assimilation de nutriments (Rocca-Poliméni, 2007).

3.2.2. Impact sanitaire

La cuisson, par action de la température, contribue souvent à rendre les aliments plus sains. On peut considérer que la cuisson entraîne la destruction de tout ou partie de la flore thermosensible et l'élimination de nombreuses toxines (Cuq et Guilbert, 1992).

Néanmoins, il ne faut pas oublier que la cuisson peut aussi avoir un effet néfaste. En particulier avec la création de molécules cancérigènes, d'autant plus générées que la température de cuisson est élevée (Sugimura, 2002). Jagerstad et Skog (2005) donnent la liste de ces principaux composés génotoxiques : les acrylamides, les amines hétérocycliques, les amines multi-azotées et les glucides polyaromatiques. Ce sont souvent les réactions de Maillard qui sont responsables de leur apparition.

3.2.3. Impact organoleptique

Les caractéristiques organoleptiques d'un aliment peuvent être divisées en trois grandes catégories : l'apparence, liée aux propriétés visuelles telles que la couleur, la taille ou la

forme de l'aliment et la flaveur, liée au goût et à l'odeur de l'aliment. La texture, liée à des sensations tactiles principalement, même si la vue et l'ouïe peuvent participer à la reconnaissance textuelle.

3.2.3.1. Les modifications d'apparence

Au cours de la cuisson, l'apparence de l'aliment va varier à cause de différents phénomènes qui vont causer une modification de sa forme et de sa couleur.

Un grand nombre de modifications d'apparence sont dues à des réactions chimiques dont la chaleur apportée par la cuisson n'en est que l'accélérateur. Beaucoup d'aliments voient ainsi leur volume évoluer dans un sens ou dans l'autre au cours de la cuisson, les mécanismes de gonflement et de rétractation pouvant être simultanés ou successifs.

Pour l'augmentation de volume due à la chaleur, il s'agit en général soit de productions gazeuses, soit de la dilatation des gaz déjà inclus dans l'aliment avant cuisson, soit de l'absorption d'eau. Dans le cas des végétaux et en particulier des légumes frais, l'action de la chaleur provoque une dénaturation des parois celluloses des cellules et les rend perméables. Grote et Fromme (1984) considèrent que les structures cellulaires, dans le cas de la carotte, sont clairement détériorées à partir de 60°C.

Quant aux modifications de couleur, suivant les aliments, plusieurs phénomènes sont en cause. Dans le cas des légumes, les couleurs étant souvent dues à des pigments spécifiques : anthocyanes, chlorophylle, caroténoïdes, etc., soit hydrophiles : anthocyanes, soit hydrophobes : chlorophylle et caroténoïdes (Hutchings, 1999), ces derniers restent sensibles au lessivage par l'eau de cuisson car ils peuvent être emportés avec d'autres composants relargués suite à la détérioration des structures végétales. Néanmoins, les caroténoïdes, souvent en grandes quantités sont peu détruits par des cuissons ménagères. En effet, la principale altération des caroténoïdes de la carotte est due à leur oxydation qui est fortement accélérée à haute température (Rocca-Poliméni, 2007). La chlorophylle, quant à elle, est assez sensible à la chaleur car elle est naturellement réactive.

3.2.3.2. Les modifications de la flaveur

La flaveur résulte de notre perception sensorielle globale. C'est-à-dire à la fois notre sens du goût et de l'odorat mais aussi du toucher, de la température et autres sensations provoquées lors de l'appréciation d'un aliment (Moulton, 1982). Ils résultent de plusieurs réactions physico-chimiques qui sont soit des synthèses, soit des dégradations de molécules.

Parliment (1989 dans Rocca-Poliméni, 2007) classe les réactions de créations d'arômes en trois catégories : les productions biochimiques par des enzymes et des micro-organismes, qui peuvent avoir lieu pendant mais surtout avant la cuisson et le dégagement pendant la cuisson des arômes présents initialement ou produits avant celle-ci par une activité microbienne ; et les productions non-enzymatiques dans lesquelles nous allons retrouver la plupart des dégradations thermiques et les réactions de Maillard.

Les végétaux sont surtout concernés par les deux premières catégories. La cuisson ne sert alors, par volatilisation des molécules sous l'action de la chaleur, que d'exhausteur et de libérateur des arômes préalablement formés.

3.2.3.3. Les modifications de texture

La texture est toujours liée à la micro-structure de l'aliment. Parmi ses constituants, plusieurs ont une importance particulière dans l'appréciation de la texture notamment l'état de turgescence de la vacuole, liée à la pression osmotique, la quantité et la taille des méats, la taille des parois composées de cellulose et de polysaccharides, la qualité de la lamelle moyenne qui compose la couche externe de la paroi associée à des substances pectiques et la composition du cytoplasme plus ou moins riche en lipide, en protéine ou en amidon.

Edwards (1999) et Leynaude-Rouaud *et al.* (1992) ont donné les grandes lignes de l'effet de la cuisson sur la texture des fruits et légumes. Les substances pectiques de la lamelle moyenne commencent à se détériorer dès le début de la chauffe. La cohésion de l'ensemble du végétal est donc atteinte. La rigidité des tissus décroît rapidement entre 55°C et 60°C. Au-delà, la paroi, en grande partie responsable de la fermeté du végétal, commence à être détériorée par la déstabilisation des réseaux de microfibrilles de cellulose et l'hémicellulose qui la composent. Les membranes cellulaires deviennent perméables. L'eau contenue dans la vacuole est libérée. La cellule est alors définitivement abîmée. Dans le cas des végétaux amylacés, c'est autour de 60°C, en milieu riche en eau, qui intervient la gélatinisation de l'amidon. Ceci correspond à la rupture des liaisons qui maintiennent l'ensemble amylose le polymère linéaire de l'amidon et l'amylopectine, le polymère ramifié de l'amidon. Les grains d'amidon gonflent et s'hydratent. La paroi étant dénaturée, ces derniers sont éventuellement libérés dans le milieu de cuisson si celui-ci est aqueux. L'amidon gélatinisé qui se retrouve à l'extérieur des cellules peut alors donner une texture collante à l'aliment. Des enzymes participent fortement à la modification de

l'aliment, en particulier dès que la paroi et les macromolécules polymérisés sont suffisamment dénaturés pour donner accès aux autres constituants. Ainsi des hydrolases- amylases, protéases- accélèrent les réactions de ramollissement général. Néanmoins, souvent, l'action des enzymes est limitée par leur propre dénaturation par la température. Enfin, lorsque la cuisson se prolonge, on obtient une hydrolyse des polymères et souvent, seules les molécules très résistantes- cellulose et lignine en particulier restent et donnent alors une texture dite «fibreuse» à l'aliment.

3.3. Les types de cuisson

Diverses méthodes de cuisson sont possibles (Joyeux, 1994). Parmi les plus utilisées dans les modes de préparation culinaire sont :

3.3.1. La cuisson dans l'eau

La cuisson dans l'eau regroupe en particulier les techniques culinaires de bouillon, de mijotage et de blanchiment des aliments. L'eau est souvent chauffée jusqu'à ébullition, ce qui donne une température de cuisson limite de 100°C et les aliments y sont plongés plus ou moins tôt et pour une durée variable, ce qui peut avoir une influence sur les caractéristiques du produit final (Rocca-Poliméni, 2007).

3.3.2. La cuisson dans la vapeur

La cuisson à la vapeur est un procédé de cuisson qui met l'aliment en contact direct avec la chaleur en supprimant le phénomène d'osmose. L'eau devenant vapeur à la température 100°C. La vapeur permet également une cuisson homogène et conserve les qualités des aliments cuits (Turkmen, 2005).

La cuisson à la vapeur d'eau s'effectue à l'aide d'un couscoussière. Cette cuisson conserve la saveur des aliments et leur valeur nutritionnelle. Elle est en revanche plus longue que la cuisson à l'eau. Elle est très intéressante pour les légumes frais, les tubercules, le riz et les céréales sous forme de couscous (Dauté *et al.*, 2001).

3.3.3. La cuisson dans la matière grasse

La cuisson dans la matière grasse correspond au procédé de friture. Elle consiste à placer l'aliment au contact d'une matière grasse, végétale ou animale, à une température supérieure à la température d'ébullition de l'eau (généralement entre 110°C et 190°C). Si l'aliment est plongé complètement dans la matière grasse, on parlera de « friture profonde » ou par immersion, sinon, de « friture plate ». L'eau contenue dans l'aliment atteint très

rapidement sa température d'ébullition et de la vapeur est émise. La cuisson est en général assez courte. C'est un procédé très utilisé que l'on retrouvera aussi bien pour les céréales que pour les pommes de terre (frites), les viandes ou les légumes (Rocca-Poliméni, 2007).

La friture est l'une des plus anciennes méthodes de cuisson des aliments. Elle apporte rapidité et régularité à la cuisson des aliments, mais dégrade la qualité nutritionnelle de ceux-ci, en plus d'être potentiellement cancérigène. Le procédé de friture favorise la dégradation des huiles et par conséquent la création des produits de mauvaise qualité nutritionnelle (riche en acide gras trans, en hydroperoxydes et en acides gras libres) (Selmi et Toujani, 2013).

3.3.4. La cuisson dans l'air

La cuisson dans l'air peut être faite soit dans un four dont les modes de fonctionnement sont variables (notamment le rapport entre la convection et le rayonnement), soit au-dessus d'un milieu chaud (plaque de cuisson, braise, feu). Dans tous les cas, la température du milieu est élevée : de 100°C à 250°C dans les fours et jusqu'au 500°C au-dessus de flammes. C'est un des moyens les plus utilisés pour cuire les viandes, grillades d'une part et rôtis d'autre part, mais aussi les produits céréaliers (Tong *et al.*, 1992).

3.3.5. La cuisson ménagère en autocuiseur

La cuisson en autocuiseur est une cuisson sous pression soit par immersion, soit par la vapeur. Initialement plutôt dédiée aux cuissons longues de viande pour son gain de temps, son usage se répand de plus en plus, en particulier dans des utilisations en vapeur. La cuisson est originale et utilisée pour les viandes mais aussi les légumes verts dans des cuissons ultra courtes quelques minutes de palier en pression. Les températures sont liées à la pression de l'appareil et sont comprises entre 105°C et 120°C.

3.4. Modifications nutritionnelles dues à la cuisson

La cuisson ménagère entraîne des modifications du profil nutritionnel des végétaux frais. En effet, l'effet de la chaleur, ainsi que les interactions entre le produit et le milieu de cuisson entraînent une destruction des vitamines, des pertes minérales et un ramollissement des fibres.

La cuisson provoque une modification de la structure des polyphénols et une diminution globale de ces substances dans les fruits et légumes. Les pertes sont très variables selon le

mode de cuisson et la substance étudiée, mais elles peuvent atteindre 60% (Véronique Liégeois *et al.*, 2001).

3.5. Comparaison thermique et sanitaire des différentes méthodes de cuisson

Le chauffage intense des aliments déclenche une série complexe de réactions, dont on sait aujourd'hui qu'elles peuvent être néfastes à notre santé. Une de ces réactions, dite « de Maillard », est le résultat de la réaction entre des acides aminés et des produits réactifs dérivés des sucres ou des lipides chauffés. Une autre réaction résulte de l'oxydation des lipides (acides gras et cholestérol) durant le chauffage. Les molécules formées durant ces réactions sont en partie absorbées et réagissent à leur tour avec nos molécules biologiques, notamment avec les protéines tissulaires et avec l'ADN, augmentant ainsi le risque de cancers. D'autres molécules dérivées de la réaction de Maillard sont reconnues par des récepteurs spécifiques portés par les membranes de certaines cellules, et déclenchent ou aggravent des réactions inflammatoires.

Des expériences récentes ont été menées sur des volontaires malades, déjà sujets à des inflammations chroniques (insuffisants rénaux, ou diabétiques atteints d'athérosclérose). Ceux-ci ont été subdivisés en deux groupes, les uns consommant un régime sans aliments chauffés (seulement bouillis et cuits à la vapeur), les autres consommant un régime équivalent mais dont les aliments avaient subi une forte cuisson (grillades, fritures...). Les seconds ont présenté rapidement une élévation nette des marqueurs de l'inflammation et une aggravation de la maladie, alors que les premiers ont vu ces marqueurs baisser (leur alimentation spontanée comportant plus d'aliments chauffés que ce que leur proposait ce régime). Il reste à comprendre les bases moléculaires de ces effets et notamment identifier les molécules responsables, générées par la cuisson à haute température dans l'aliment.

La cuisson sans aucune matière grasse n'est pas meilleure, car certaines zones de l'aliment sont directement en contact avec la plaque très chaude, et soumise alors à des températures bien supérieures à celles obtenues lorsque de l'huile recouvre la plaque. La carbonisation visible qui résulte de ce chauffage très hétérogène correspond à la formation parallèle d'autres composés tout aussi nocifs, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). De la même manière, la cuisson directement à la flamme est source d'un mélange d'amines et d'HAP reconnus comme fortement cancérigènes. Lorsqu'un acide aminé particulier, l'asparagine, est présent dans l'aliment, comme c'est le cas dans les céréales et les pommes de terre, se forme alors à haute température la fameuse acrylamide, molécule

suspectée d'être cancérigène et qui a beaucoup fait parler d'elle depuis un an (Courtois *et al.*, 2012).

4. Polyphénols

4.1. Structure et classification des polyphénols

Les polyphénols constituent le groupe de métabolites le plus large et le plus répandu du règne végétal et font partie intégrante de l'alimentation humaine et animale. Les polyphénols sont présents dans de nombreux aliments d'origine végétale, tels que les légumes, les fruits, les céréales ou les fruits secs, ainsi que dans les boissons, comme le vin, le cidre, la bière ou le thé. Plus de 8000 structures phénoliques sont actuellement connues, allant de molécules phénoliques simples de bas poids moléculaire tels les acides phénoliques à des composés hautement polymérisés comme les tanins (Martin et Andriantsitohaina, 2002 ; Mehinagic *et al.*, 2011). Ils peuvent être conjugués avec un ou plusieurs résidu(s) sucré(s) lié(s), ils peuvent également être liés avec d'autres composés chimiques, tels que des acides carboxyliques, des amines ou des lipides ou avec d'autres phénols existents également (Martin et Andriantsitohaina, 2002). Les composés phénoliques sont constitués de trois grandes catégories : les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins (Beta, 2003 ; Dicko *et al.*, 2006 ; Dykes *et al.*, 2006). Plusieurs milliers de polyphénols ont été déjà identifiés et plusieurs centaines sont présentes dans les parties comestibles des aliments (Tableau 5).

4.1.1. Acides phénoliques (C6-C1 ou C6-C3)



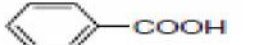





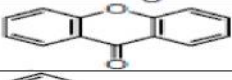

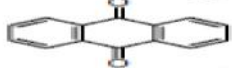
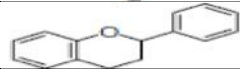
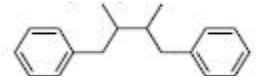
Les acides phénoliques se divisent en deux sous-catégories : les dérivés de l'acide benzoïque (Acide protocatéchique, Acide gallique) et les dérivés de l'acide cinnamique (Acide coumarique, Acide caféique et Acide férulique). Ces dérivés de l'acide phénolique se lient ensuite à des molécules de glucose et deviennent ainsi glycosylés. L'acide caféique est généralement le plus courant des acides phénoliques et constitue entre 75 et 100 % de la quantité totale d'acide hydroxycinnamique contenue dans la plupart des fruits, la plus grande proportion se retrouvant généralement sur la face extérieure de la peau du fruit mûr (Charles et Benbrook, 2005).

4.1.2. Flavonoïdes (C6-C3-C6)

Les flavonoïdes constituent un groupe de plus de 6000 composés naturels (Erlund, 2004). Ils constituent des pigments responsables des colorations jaune, orange et rouge de différents organes végétaux (Havsteen, 2002). Les flavonoïdes ont une structure chimique

semblable: deux anneaux aromatiques (A et B) liés entre eux par trois atomes de carbone qui forment un composé hétérocyclique oxygéné (anneau C). Les flavonoïdes se divisent en six sous-catégories : les flavonols, les flavones, les isoflavones, les flavanones, les anthocyanidines et les flavanols (catéchines et proanthocyanidines) (Manach *et al.*, 2004).

Tableau 5. Classification des familles des composés phénoliques (Garcia-Salas *et al.*, 2010).

Nombre de carbone	Classe	Structure chimique	Sources	
C6	Phénols simples		Céréales, abricot, banane, chou-fleur	
	Benzoquinones			
C6-C1	Acide benzoïque			
C6-C2	Acétophénone			
	Acide phénylacétique			
C6-C3	Acide cinnamique			Carotte, tomate, céréales, aubergine
	Coumarines			Carotte, céleri, citron, persil
C6-C4	Naphthoquinones			Abricot
C6-C1-C6	Xanthones			Mangue
C6-C2-C6	Stilbènes			Raisin
	Anthraquinones			
C6-C3-C6	Flavonoïdes		Largement distribués	
(C6-C3)2	Lignanes		Seigle, blé	
(C6-C1) n	Tanins hydrolysables	Polymère hétérogène	Grenade, framboise	
(C6-C3) n	Lignines	Polymère aromatique fortement réticulé		

4.1.3. Tanins (C₆-C₁)_n

Les tanins sont des composés phénoliques hydrosolubles de poids moléculaire (PM) compris entre 500 et 3 000 Da qui présentent, à coté des réactions classiques des phénols, la propriété de précipiter les alcaloïdes, la gélatine et d'autres protéines (Bate-Smith, 1973). Selon Hagerman (2002), leur masse moléculaire allant jusqu'à 20 000Da.

Les tanins sont particulièrement intéressants à cause de leur prédominance dans les systèmes naturels et de leur grande variabilité tant en qualité qu'en quantité (Madritch *et al.*, 2007)

4.2. Biosynthèse des polyphénols

Les polyphénols sont des produits du métabolisme secondaire des plantes. Ils sont synthétisés à partir de deux voies biosynthétiques (Martin et Andriantsitohaina, 2002) : celle de l'acide shikimique (figure 1), qui conduit après transamination et désamination, aux acides cinnamiques et à leurs nombreux dérivés tels que les acides benzoïques ou les phénols simples ; celle issue de l'acétate, qui conduit à des poly β -coesters (polyacétates) de longueur variable menant par cyclisation à des composés polycycliques tels que les dihydroxy-1,8 anthraquinones ou les naphtoquinones. De plus, la diversité structurale des composés polyphénoliques, due à cette double origine biosynthétique est encore accrue par la possibilité d'une participation simultanée des deux voies dans l'élaboration de composés d'origine mixte, les flavonoïdes (Martin et Andriantsitohaina, 2002).

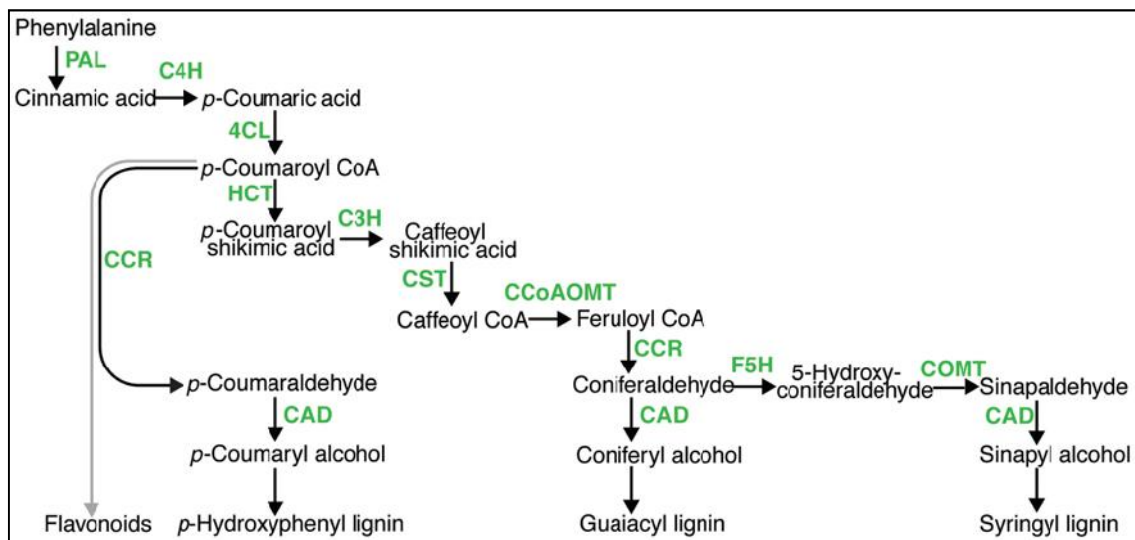


Figure 1. Voie de l'acide shikimique

4.3. Localisation et rôle dans les plantes

La distribution des composés phénoliques chez les plantes au niveau tissulaire, cellulaire et subcellulaire n'est pas uniforme (Beckman, 2000).

4.3.1. A l'échelle de la cellule

Les composés phénoliques sont principalement répartis dans deux compartiments : les vacuoles et la paroi. Dans les vacuoles, les polyphénols sont conjugués, avec des sucres ou

des acides organiques, ce qui permet d'augmenter leur solubilité et de limiter leur toxicité pour la cellule (Bénard, 2009). Ils jouent un rôle de défense en répondant aux stress et aux agents pathogènes (Scalbert, 1993 ; Wallace *et al.*, 1994 et Baucher, 1998). Certains flavonoïdes ont même été localisés au niveau du noyau des cellules où ils pourraient directement moduler l'expression des gènes (Macheix *et al.*, 2005).

Au niveau de la paroi, on trouve surtout de la lignine et des flavonoïdes liés aux structures pariétales (Bénard, 2009). Ils contribuent à la résistance mécanique de la cellule murs et jouent un rôle régulateur dans la croissance des plantes et leur morphogenèse (Scalbert, 1993 ; Wallace *et al.*, 1994 et Baucher, 1998).

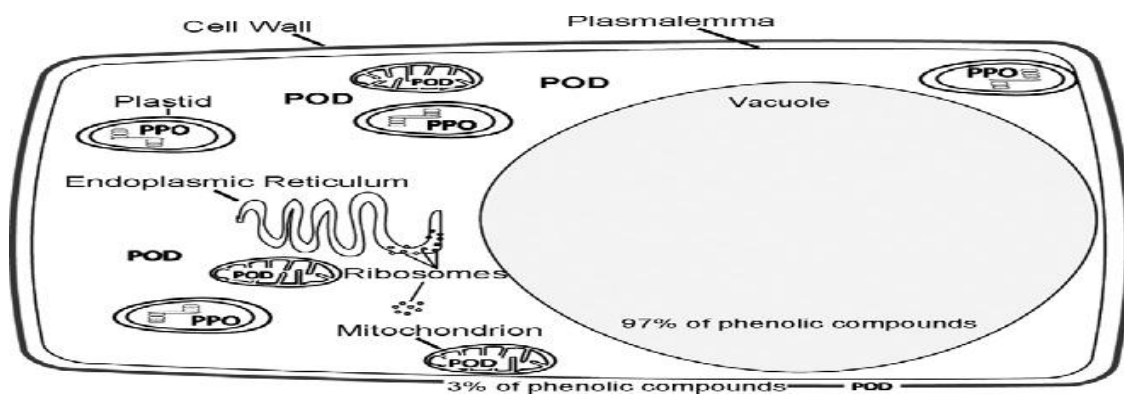


Figure 2. Localisation des composés phénoliques au niveau de la cellule. POD: phénol peroxydase ; PPO: polyphénol oxydase (Toivonen et Brummell, 2004).

4.3.2. Au niveau tissulaire

La localisation des polyphénols est liée à leur rôle dans la plante et peut être très caractéristique. Au niveau de la plante entière, certains composés ne sont accumulés que dans des organes bien définis. Les couches externes de plantes contiennent des niveaux plus élevés de composés phénoliques que ceux situés à l'intérieur (Bengoechea *et al.*, 1997; Perez-Illarbe, 1991; Fernández de Simón, 1992).

4.4. Rôle et intérêt des composés phénoliques

4.4.1. Chez les végétaux

Les composés phénoliques peuvent intervenir dans certains aspects de la physiologie de la plante (lignification, régulation de la croissance, interactions moléculaires avec certains microorganismes symbiotiques ou parasites, etc.), dans les interactions des plantes avec leur environnement biologique et physique (relations avec les bactéries, les champignons, les insectes, résistance aux UV); soit directement dans la nature soit lors de la conservation

après récolte de certains végétaux; dans les critères de qualité (couleur, astringence, amertume, qualités nutritionnelles, etc.) qui orientent les choix de l'homme dans sa consommation des organes végétaux (fruits, légumes, tubercules, etc.) et des produits qui en dérivent par la transformation; dans les variations de certaines caractéristiques des végétaux lors des traitements technologiques (préparation des jus de fruits, des boissons fermentées, etc.) pendant lesquels apparaissent fréquemment des brunissements enzymatiques qui modifient la qualité du produit fini (Fleuriet *et al.*, 2005).

4.4.2. Chez les humains

Le rôle des composés phénoliques est largement montré dans la protection de l'homme vis-à-vis de certaines maladies en raison de leur interaction possible avec de nombreuses enzymes et de leurs propriétés antioxydantes (Fleuriet *et al.*, 2005).

La classe des flavonoïdes, dont certaines ont une très grande importance biologique et technologique : anthocyanes, pigments rouges ou bleus, les flavones et les flavonols, de couleur crème ou jaune clair, les flavanes dont les produits de condensation sont à l'origine d'un groupe important de tanins et les isoflavones qui jouent un rôle dans la santé humaine.

Les composés phénoliques sont utilisés comme désinfectants, biocides, produits de préservation, colorants, pesticides et produits chimiques organiques en médecine et dans l'industrie (C.D.A.E.Q, 2008).

4.5. Activités biologiques des polyphénols

4.5.1. Activité antioxydante

La capacité antioxydante est le principal rôle physiologique attribué aux polyphénols (Parr et Bolwell, 2000). Halliwell et Gutteridge (1995) définissent un antioxydant comme une substance qui, présente à faibles concentrations par rapport à celle d'un substrat oxydable, retarde ou inhibe significativement son oxydation. L'action antioxydante d'un composé phénolique peut être issue d'une combinaison d'évènements chimiques, dont l'inhibition enzymatique, la chélation de métaux ou encore la donation d'hydrogène et l'oxydation en un radical stable (Parr et Bolwell, 2000). Son évaluation est donc liée à la méthode utilisée et aucun test isolé ne peut définir l'efficacité totale d'un antioxydant. Pour l'évaluation de l'activité antioxydante, deux approches sont appliquées :

d'une part, la détermination de la réduction relative du radical DPPH• à un temps de référence ou la détermination de la quantité d'antioxydant nécessaire pour réduire 50 % de DPPH• et d'autre part, le suivi de la cinétique de la réduction (Sanchez-Moreno et al, 1998 ; Scherer et Godoy, 2009).

Dans la première approche, l'activité est définie par l'indice de la réduction de l'activité anti-radicalaire en pourcentage % RSA (Radical Scavenger Activity), ou l'absorbance du mélange réactionnel qui contient le radical libre et l'échantillon de l'antioxydant est reliée avec l'absorbance du mélange sans aucun antioxydant (solution témoin ou contrôle) a un temps t : [% RSA = $(Abs_{\text{contrôle}} - Abst) / Abs_{\text{contrôle}} \times 100\%$].

Comme il n'existe pas de mesure absolue de la capacité antioxydante d'un composé, les résultats sont souvent portés par rapport à un antioxydant de référence, comme l'acide ascorbique (vitamine C), les antioxydants synthétiques BHT (butyl-hydroxy-toluène) ou le Trolox (acide-6-hydroxy-2, 5, 7, 8-tetramethylchroman-2-carboxylique), dont la structure moléculaire cyclique est similaire à celle de la vitamine E (Molyneux, 2004).

L'indice relative %RSA montre seulement la capacité de l'échantillon, à une concentration fixée, de réduire ou non les radicaux et dans beaucoup de cas, l'augmentation de la concentration de l'antioxydant amène l'augmentation de ces indices relatifs (Sanchez-Moreno, 1998). Pour s'affranchir de l'influence de la concentration, dans la majorité des études, la réactivité est estimée par la concentration effective CE_{50} (ou l'inverse $1/CE_{50}$) de l'antioxydant, qui correspond à une réduction de 50% de l'activité (de l'absorbance) du DPPH• dans le milieu réactionnel. La capacité antioxydante d'un composé est d'autant plus élevée que sa CE_{50} est petite. L'indice CE_{50} montre les concentrations de l'antioxydant qui sont nécessaires pour faire décroître la concentration initiale du DPPH• avec 50% (exprimée en mol Antioxydant/mol DPPH• ou mg Antioxydant/g DPPH•), mais ne prennent pas en considération l'influence de la concentration sur le temps de la réaction (Sanchez-Moreno, 1998).

4.5.2. Autres activités

Autre l'activité antioxydante, plusieurs types de polyphénols peuvent avoir des propriétés anti-inflammatoires, antivirales, anticarcinogènes, modifier l'activité d'enzymes cellulaires, affecter les mécanismes de division cellulaires. Ces micronutriments forment, pour l'organisme, une sorte de pharmacopée nutritionnelle (Rémésy C., 2005).

Tableau 6. Propriétés biologiques des quelques poly phénols dans l'organisme.

Polyphénols	Activités	Auteurs
Acides phénoliques (cinnamiques et benzoïques)	Antibactériennes Antifongiques Antioxydantes	(Didry <i>et al.</i> , 1982). (Ravn <i>et al.</i> , 1984). (Hayase et Kato, 1984).
Flavonoïdes	Antioxydantes Anti hépatotoxiques Antiallergiques Anti-inflammatoires Anti-ulcéreuses Anti-tumorales	(Ghedira, 2005).
Proanthocyanidines	Antioxydantes Antifongiques Anti-inflammatoires	Bahorun <i>et al.</i> , 1994 ; 1996 Brownlee <i>et al.</i> , 1992 Kreofsky <i>et al.</i> , 1992
Tanins galliques et catéchiques	Antioxydantes	(Macheix <i>et al.</i> , 2005). (Okamura <i>et al.</i> , 1993).

4.6. Extraction, caractérisation et dosage des composés phénoliques

4.6.1. Phénols simples (fraction polaires)

La plupart des phénols simples présent dans la vacuole peuvent aisément être extraits avec des mélanges méthanol/eau (80/20, v/v). Comme ils sont facilement oxydables, il est recommandé de travailler à une température de 0 à 4°C et d'assurer une protection en ajoutant un agent réducteur (acide ascorbique ou méta bisulfite de sodium) au milieu d'extraction ce qui permet par ailleurs d'éviter l'hydrolyse d'hétérosides phénoliques fragiles lors de l'extraction. Après élimination de l'alcool par évaporation sous vide, il est nécessaire de purifier l'extrait global ainsi obtenu, d'abord en éliminant les pigments chlorophylliens et caroténoïdes (extraction à l'éther de pétrole), puis en extrayant les composés phénoliques avec solvant de polarité intermédiaire comme l'acétate d'éthyle. La plupart des phénols se trouvent alors dans ce solvant, qu'il est ensuite aisé d'éliminer sous vide afin de transférer finalement dans le méthanol la fraction phénolique correctement purifiée (Macheix *et al.*, 2005).

4.6.2. Extraction des flavonoïdes apolaires

Certains flavonoïdes apolaires, par exemple ceux liés aux stérols ou ceux présent les exsudats de bourgeons ou sur les tissus externes foliaires, doivent être extraits avec des solvants plus apolaires, comme le chloroforme ou l'hexane.

4.6.3. Extraction des formes condensées

Les formes condensées de composés phénoliques posent également des problèmes d'extraction. Si les tanins sont encore correctement extraits par des mélanges acétones/eau, ce ne peut être le cas pour les phénols insolubilisés au niveau des parois pecto-cellulosiques et dans la cutine ou la subérine. On peut alors avoir recours à des hydrolyses chimiques ou enzymatiques des parois cellulaires, permettant de libérer les composés phénoliques avant de les analyser et de les doser. Dans les cas extrêmes comme celui de la lignine, l'extraction n'est possible qu'après dégradation oxydative (par exemple sous l'effet du peroxyde d'hydrogène) qui va entraîner une dépolymérisation et une solubilisation progressive (Macheix *et al.*, 2005).

4.6.4. Dosage global

Il n'existe aucune méthode permettant de doser de manière satisfaisante et simultanée l'ensemble des composés phénoliques présents dans un extrait végétal. Néanmoins une estimation rapide de la teneur en phénols totaux peut être obtenue par différentes méthodes, en particulier par utilisation d'un mélange de phosphomolybdate et de phosphotungstate commercialisé sous la dénomination de réactif de Folin Ciocalteu (Harborne, 1989). Cette méthode est très sensible mais malheureusement peu spécifique car beaucoup d'autres composés réducteurs peuvent interférer. Il est donc vivement recommandé de ne l'utiliser que sur des extraits suffisamment purifiés. on peut avoir une bonne approximation de la teneur de l'extrait en phénols que l'on exprime alors par rapport à un composé de référence (par exemple l'acide gallique) (Macheix *et al.*, 2005).

Diverses techniques ont été mises en œuvre pour l'analyse qualitative et quantitative des composés phénoliques (Ollivier *et al.*, 2004):

- Absorptiométrie dans le visible selon la méthode de Folin-Ciocalteu (FC);
- Chromatographie en phase liquide (HPLC) avec détection spectrophotométrique ou électrochimique;
- Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse;
- Enzymologie;

- Spectrométrie de masse avec ionisation chimique à la pression atmosphérique (ACPIMS).

4.7. Composés phénoliques des légumes étudiés

4.7.1. Composés phénoliques de la pomme de terre

La pomme de terre est une bonne source de polyphénols (Lopez-Cobo *et al.*, 2014). Certaines variétés sont riches en composés phénoliques totaux avec une teneur variable entre 2.2 à 27.4 mg EAG.g⁻¹. Les variétés de la pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*) pigmentés sont très riches en anthocyanines (Eichhorn et Winterhalter, 2005). Les principaux anthocyanes de la pomme de terre sont présentés dans la figure 3.

Au niveau tissulaire, plus de 50 % des polyphénols sont localisés dans l'épiderme du tubercule de pomme de terre (Friedman, 1997). Dans ce tissu, le polyphénol libre majoritaire est l'acide chlorogénique qui représente plus de 90 % (17 mg / 100 g de tubercules) des composés phénoliques totaux (Friedman, 1997 et Lewis *et al.*, 1998). L'acide férulique est quant à lui le polyphénol lié le plus abondant (Nara *et al.*, 2006) (figure 4).

Mohdaly *et al.*, (2013) montrent la présence des acides p-coumariques, cinnamiques, sinapiques et la vanilline dans la pomme de terre mais avec de très faibles proportions. Les flavones (figure 5) sont contenues à raison de 3.92 – 16.58 mg /100g de poids sec.

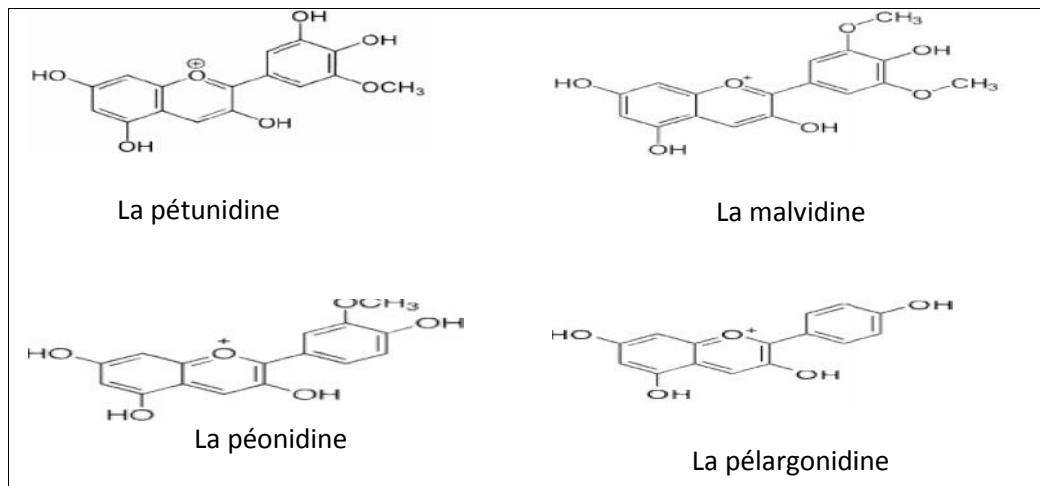


Figure 3. Structures des anthocyanines de la pomme de terre (Eichhorn et Winterhalter, 2005).

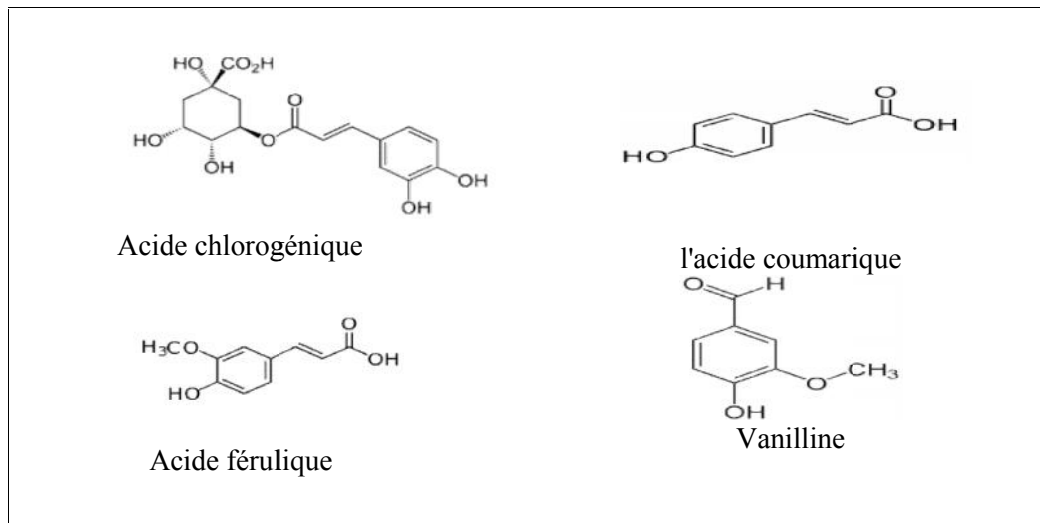


Figure 4. Structures des acides phénoliques de la pomme de terre (Eichhorn et Winterhalter, 2005).

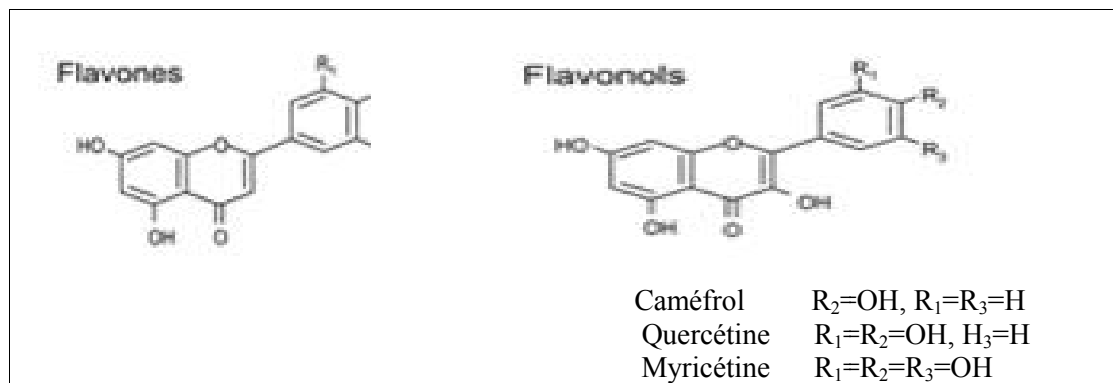


Figure 5. Structure chimique de quelques composés polyphénoliques présents dans les pomme de terre communs (Manach *et al.*, 2004).

4.7.2. Composés phénoliques de la carotte

La teneur en polyphénols totaux de la carotte est variable entre 62,0 et 78,3 mg EAG.g⁻¹ de poids frais (Zhang et Hamauzu, 2004). 54,1% de la teneur en composés phénoliques totaux est localisés principalement dans la peau (ou l'épiderme) (11% du poids frais) en diminuant de l'extérieur vers l'intérieur dans les différent tissus selon l'ordre suivant : la peau > phloème (39,5%) > xylème (6,4%). Les phénols majoritaires présentent dans la carotte sont : l'acide chlorogénique, caféique et p-hydroxybenzoïques et de nombreux dérivées de l'acide cinnamique. Les composés phénoliques jouent un rôle important dans

la qualité sensorielle de la carotte, comme la couleur (Zhang *et al.*, 2005), l'amertume (Kreutzmann *et al.*, 2008), ou l'arôme (Naczki *et al.*, 2006).

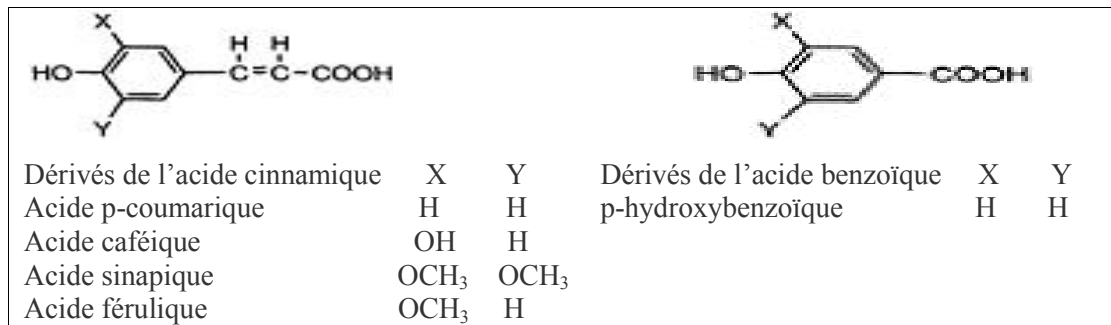


Figure 6. Structure chimique de quelques dérivés de l'acide cinnamique présents dans la carotte

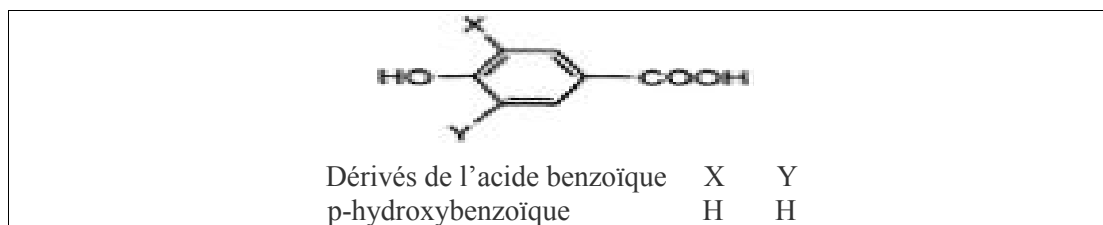


Figure 7. Structure chimique de quelques dérivés de l'acide benzoïque présents dans la carotte

4.7.3. Composés phénoliques de l'épinard

L'épinard du printemps est plus riche en composés phénoliques totaux que celui de l'automne (Howard *et al.*, 2002). La teneur en composés phénoliques de l'épinard varie de 60,69 à 98,82 mg TAE/100g de poids sec (Jabbari *et al.*, 2007). (Bunea *et al.*, 2008) ont trouvés une teneur moyenne en polyphénols totaux équivalente à 2088 mg EAG/kg du poids frais.

Les composés phénoliques principaux sont des acides phénoliques et des flavonoïdes. La patulétine (quercetagine 6-méthyle éther), jaceidine et la spinacétine (quercetagine 6,3-diméthyle éther) conjugués (Pandjaitan *et al.*, 2005) sont les principaux flavonoïdes de l'épinard (Howard *et al.*, 2002). De nombreux flavonoïdes antimutagènes, comme, les flavonols gluconiques et les disaccharides, méthylendioxy flavonol gluconiques, les flavanones (Edenharder *et al.*, 2001) et les méthoxy flavone gluconiques (Howard *et al.*, 2002 ; Bergquist *et al.*, 2005) sont également identifiés.

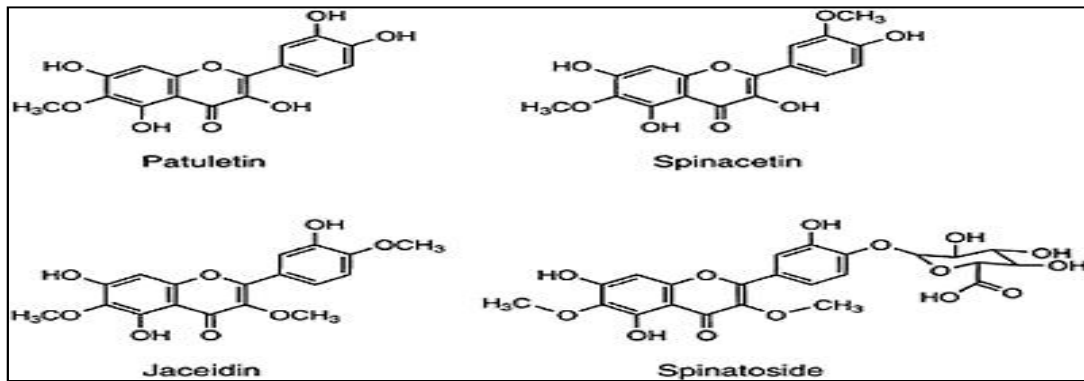


Figure 8. Structures chimiques des composés phénoliques présents dans les épinards.

4.7.4. Composés phénoliques du chou

Les légumes Brassica, sont connus pour leur effet bénéfique pour la santé. Ils constituent une source potentielle de substances antioxydantes tel que les vitamines C et E, les composés phénoliques, tel que glucosinolates, acides phénoliques, flavonols, anthocyanidines, caroténoïdes et acides aminés (Mattila et Hellstrom, 2007 ; Park *et al.*, 2014a,b).

Le chou est une bonne source en polyphénols avec une teneur variable entre 21 à 171 mg/100 g (environ 2,41 à 19,66 mg / g de poids sec) (Podsdek *et al.*, 2006).

Les composés phénoliques principaux sont des flavonoïdes, comme, myricétine, quercétine, kaempferol, lutéoline, delphinidine, cyanidine et pelargonidine et les acides phénoliques, comme caféique, p-coumarique, férulique et sinapique (Park *et al.*, 2014).

Les anthocyanes, sont une autre sous-classe de flavonoïdes responsable de coloration rouge des légumes (Arapitsas et Turner, 2008).

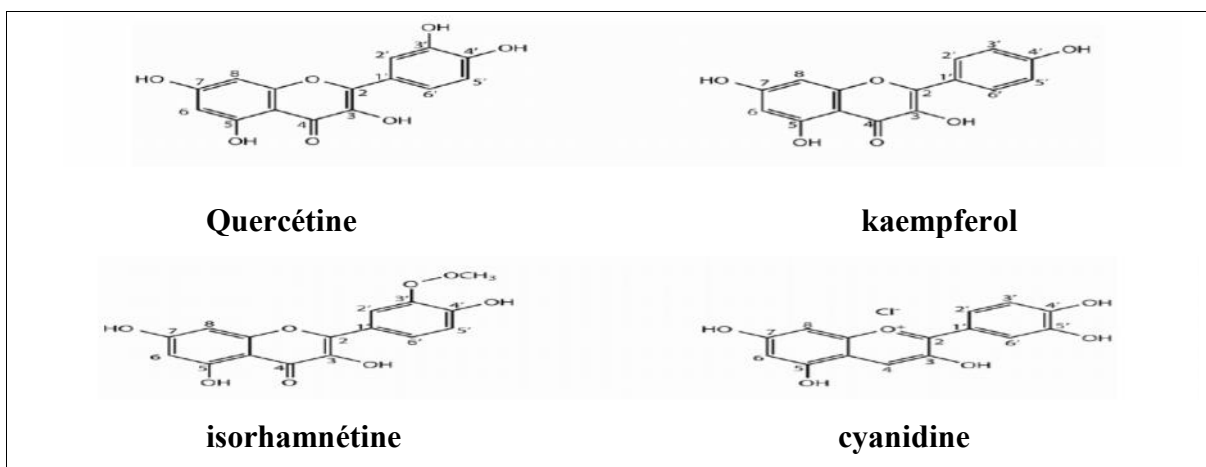


Figure 9. Flavonoïdes aglycones de légumes Brassica (Cartea *et al.*, 2011).

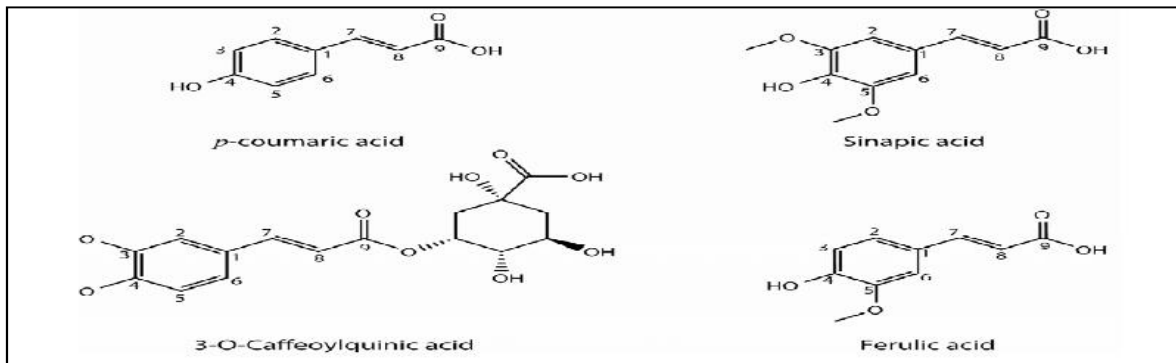


Figure 10. Acides hydroxycinnamiques de Brassica.

4.8. Facteurs de variabilité de la teneur en polyphénols

Les végétaux présentent une grande diversité de composition et de teneur en phytonutriments. Les principales sources de variations sont inhérentes aux produits, d'ordre physiologique (liées au développement ou à la localisation dans le fruit ou le légume) ou génétique (lié au grand nombre de variétés disponibles), ou au contraire dépendantes des techniques culturales, des conditions environnementales, et enfin des conditions de conservation et de transformation après récolte.

4.8.1. Facteur physiologique

La teneur de la plupart des composés évolue au cours du développement des organes. Certains s'accumulent précocement puis ont tendance à disparaître à la maturation, tandis que d'autres vont s'accumuler au cours du développement. De même suivant les organes, les compositions peuvent varier fortement. On les trouve donc souvent en plus grande concentration dans la peau des fruits ou dans les feuilles externes des légumes feuilles (Gorinstein *et al.*, 2002).

4.8.2. Facteur génétique

Des variations du simple au double sont fréquemment observées lors de comparaisons de plusieurs variétés de fruits et légumes cultivées dans des conditions identiques ; mais on note également des variations beaucoup plus importantes dans certains cas. Les variations sont encore plus marquées lorsqu'on s'intéresse précisément aux molécules et non aux familles de molécules (Mou, 2005).

4.8.3. Facteurs de l'environnement

Chez certains légumes, le rayonnement et la température jouent un rôle plus marqué que l'eau ou les apports de fertilisants (Schreiner, 2005). L'intensité du rayonnement a une

influence prouvée sur le métabolisme des flavonoïdes. Par exemple, des légumes exposés à la lumière solaire contiennent davantage de flavonoïdes que des légumes cultivés sous ombrage (Watzl et Rechkemmer, 2001). Les effets de la température ont pu être interprétés au travers de son action sur l'activité de certaines enzymes.

4.8.4. Techniques culturales

Les techniques culturales ou les modes de production entraînent des variations dans le contenu en composés bioactifs mais les résultats sont souvent contradictoires et n'autorisent pas à tirer des lois générales. En l'état actuel des connaissances, aucun mode de production, biologique, intégré ou conventionnel, ne présente d'avantage ou de désavantage particulier en matière d'accumulation des composés bioactifs (Schreiner, 2005).

4.8.5. Transformation et conservation

Deux étapes qui sont souvent négligées alors qu'elles ont un impact majeur sont l'épluchage et le stockage - l'épluchage car nombre des constituants ont des répartitions spécifiques, avec des concentrations accrues dans les parties externes en lien avec leurs fonctions de protection (contre les UV, les ravageurs, etc.).

Les teneurs en nutriments d'intérêt à la récolte et leur évolution en cours de stockage et transformation vont différer selon les molécules concernées. Les polyphénols quant à eux sont susceptibles d'être oxydés notamment lors de la déstructuration tissulaire et avant inactivation enzymatique par des voies technologiques ou plus lentement par auto-oxydation à des pH neutres. Ils semblent cependant globalement assez stables, à l'exception des anthocyanes (Mou, 2005).

Matériel et
Méthodes

1. Matériel

1.1. Matériel végétal

Cette étude a porté sur quatre espèces de légumes: l'épinard (*Spinacia oleracea* L. variété sauvage), le chou pommé (*Brassica oleracea* L. variété *capitata*), la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L. variété *Désirée*) et la carotte (*Daucus Carotta* L. variété *Muscat d'Alger*) (figure 11). Ces espèces ont été récoltés durant le mois de Avril 2010 au niveau des communes Teleghma et Oued El-Athmania (wilaya de Mila) connue pour ses productions assez élevées de légumes frais. Le choix de ces variétés est fondé sur la fréquence de consommation ménagère.

Ces légumes ont été récoltés durant le mois d'Avril 2010 au niveau des communes *Teleghma* et *Oued El-Athmania* (wilaya de *Mila*). Ces régions sont connues pour leurs productions assez élevées de légumes frais. *Oued Athmania* est une ville algérienne, située dans le daïra de *Chelghoum Laïd* et la wilaya de *Mila*. Elle s'étend sur 273,5 km² et est entourée par *Rouached*, *Chelghoum Laid* et Sidi Khelifa. Elle a la particularité de compter deux barrages, le barrage *Hammam Grouz* en aval de *l'oued Rhummel* et le barrage-réservoir de *Bled Youcef* alimenté par celui de *Beni Haroun*. Elle a pour coordonnées géographiques Latitude: 36° 14' 59" nord et Longitude: 6° 17' 10" est. La commune de *Teleghma* est située au sud-est de la wilaya de *Mila*, à 67 km de *Mila* et 36 Km de Constantine. La commune est traversée par deux rivières, *l'Oued Seguen* et *l'Oued El Ouni*. La ville s'étend sur 194 km².

Les légumes récoltés, ont été acheminés au laboratoire à température ambiante dans des sacs en plastique puis conservés dans des cageots en plastique troués jusqu'à utilisation.

Avant d'être utilisés pour les essais, les légumes ont été immédiatement triés : les légumes sains ont été choisis pour l'expérimentation et ceux trop petits et endommagés ont été éliminés. Approximativement 10 kg de chaque légume sont réservés pour les traitements thermiques appliqués, le stockage et les différentes analyses.



Carotte de variété *Muscat d'Alger*



Epinard de variété *sauvage*



Chou de variété *capitata*



Pomme de terre de variété *Désirée*

Figure 11. Matériel végétal utilisé pour l'étude

1.2. Produits et réactifs chimiques

Il s'agit du DPPH (2, 2'-diphényl-1-picrylhydrazyle (*Fluka*), du réactif de Folin-Ciocalteu (*Fluka*), de l'acide gallique (*Sigma*), du carbonate de sodium (*Sigma*), du méthanol (*Sigma Aldrich*) et du Chlorure d'hydrogène (*Biochem*).

2. Méthodes

Le plan suivi dans la méthodologie est récapitulé dans la figure 12. Les quatre espèces de légumes ont été soumises au stockage et à la cuisson. Deux types de cuisson ont été appliqués : cuisson à la vapeur et cuisson dans l'eau. Les différentes analyses réalisées dans cette étude sont : la détermination du taux d'humidité, l'extraction des polyphénols et leur caractérisation quantitative, puis l'évaluation *in vitro* de l'activité antioxydante des légumes crus et cuits (figure 12).

Toutes les analyses ont été effectuées au laboratoire pédagogique de biochimie de l'Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro Alimentaires (I.N.A.T.A.A). Tous les essais ont été répétés trois fois.

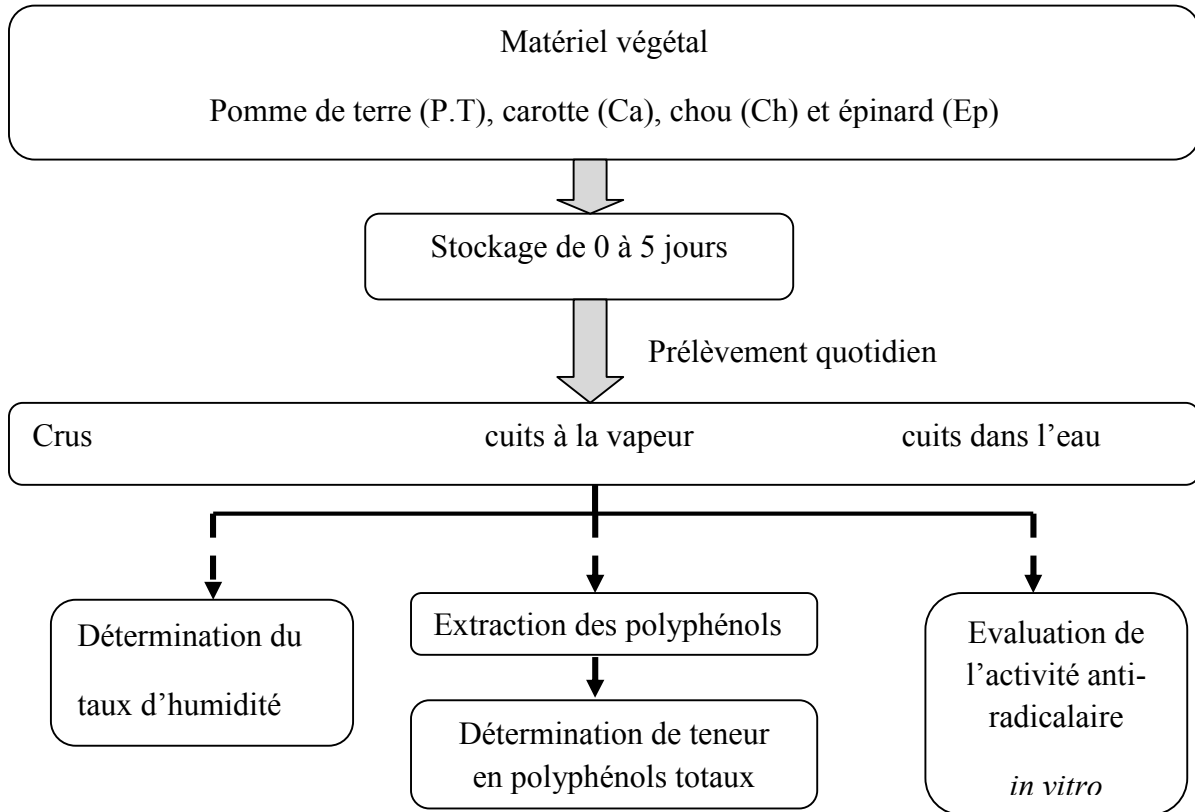


Figure 12. Représentation schématique des étapes réalisées dans cette étude.

2.1. Conditions de stockage

10 kg de chaque légume, ont été placés dans des cageots en plastique troués avec des prélèvements chaque jour (0,1, 2, 3, 4 et 5).

La température de stockage a été mesurée deux fois par jour (matin et après midi). Elle a été contrôlée à l'aide d'un thermomètre. La température de stockage se situe dans l'intervalle 18-22 °C (tableau 7).

Tableau 7. Températures mesurées au cours du stockage (°C).

Jours Température (°C)	0	1	2	3	4	5
Matin	10	12	8	10	12	10
Après midi	28	32	28	30	29	26
Moyenne	19	22	18	20	20,5	18

2.2. Préparation et cuisson des échantillons

Les procédures de préparation et de cuisson sont adaptées d'après le protocole de Turkmène *et al.* (2005) à l'exception du temps et de la température qui sont déterminés par Faller et Fialho (2009). Les opérations de préparation et de cuisson sont appliquées de la même façon chaque jour tout au long de la durée de stockage.

2.2.1. Préparation des échantillons

Après chaque durée de stockage, les légumes ont été lavés à l'eau du robinet. La pomme de terre et carotte ont été pelées. Toutes les légumes ont été découpées en petites pièces de taille homogène à l'aide d'un couteau inoxydable sur un support (planche de cuisine), Les dimensions des pièces varient d'un légume à l'autre : Pomme de terre (cubes de 2 cm / 2 cm), carotte (demi-rondelles de 0.5 cm d'épaisseur), chou blanc et épinard (tranches de 0.5 cm / 5 cm).

2.2.2. Cuisson

900 g de chaque légume préparé ont été pris pour l'expérimentation dont 300 g sont réservés à la détermination de la teneur en polyphénols totaux à l'état cru et 600 g pour la cuisson, dont 300 g pour la cuisson à la vapeur d'eau et 300 g pour la cuisson par ébullition. Trois types de traitement ont été réalisés pour chaque légume de façon à ce que nous avons obtenu les modalités mentionnées dans le tableau 8 :

Tableau 8. Différents types d'échantillons de légumes étudiés.

Légumes Durée de stockage	Pomme de terre	Carotte	Chou blanc	Épinard
0 jour (Après 6h)	P.T ₀ .C	Ca ₀ .C	Ch ₀ .C	Ép ₀ .C
	P.T ₀ .V	Ca ₀ .V	Ch ₀ .V	Ép ₀ .V
	P.T ₀ .E	Ca ₀ .E	Ch ₀ .E	Ép ₀ .E
1^{ème} jour (24h)	P.T ₁ .C	Ca ₁ .C	Ch ₁ .C	Ép ₁ .C
	P.T ₁ .V	Ca ₁ .V	Ch ₁ .V	Ép ₁ .V
	P.T ₁ .E	Ca ₁ .E	Ch ₁ .E	Ép ₁ .E
2^{ème} jour (48h)	P.T ₂ .C	Ca ₂ .C	Ch ₂ .C	Ép ₂ .C
	P.T ₂ .V	Ca ₂ .V	Ch ₂ .V	Ép ₂ .V
	P.T ₂ .E	Ca ₂ .E	Ch ₂ .E	Ép ₂ .E
3^{ème} jour (72h)	P.T ₃ .C	Ca ₃ .C	Ch ₃ .C	Ép ₃ .C
	P.T ₃ .V	Ca ₃ .V	Ch ₃ .V	Ép ₃ .V
	P.T ₃ .E	Ca ₃ .E	Ch ₃ .E	Ép ₃ .E
4^{ème} jour (96h)	P.T ₄ .C	Ca ₄ .C	Ch ₄ .C	Ép ₄ .C
	P.T ₄ .V	Ca ₄ .V	Ch ₄ .V	Ép ₄ .V
	P.T ₄ .E	Ca ₄ .E	Ch ₄ .E	Ép ₄ .E
5^{ème} jour (120h)	P.T ₅ .C	Ca ₅ .C	Ch ₅ .C	Ép ₅ .C
	P.T ₅ .V	Ca ₅ .V	Ch ₅ .V	Ép ₅ .V
	P.T ₅ .E	Ca ₅ .E	Ch ₅ .E	Ép ₅ .E

P.T : pomme de terre ; Ca : carotte ; Ch : chou blanc ; Ép : épinard ; **C** : cru ; **V** : cuit à la vapeur ; **E** : cuit dans l'eau bouillante.

2.2.2.1. Cuisson dans l'eau bouillante

100 g de chaque légume ont été placés dans une casserole d'acier inoxydable avec 150 ml d'eau distillée. La cuisson est faite à couvert, en utilisant un couvercle pour diminuer la

surface de contact avec l'air libre. Le temps de cuisson varie d'un légume à l'autre, il est de l'ordre de 5, 6.5 et 8 minutes respectivement pour le chou blanc et l'épinard, la pomme de terre et la carotte. La cuisson a été faite sur une plaque chauffante à 100°C.

2.2.2.2. Cuisson à la vapeur

100 g de légume ont été placés dans un cuiseur de vapeur en acier inoxydable «Couscoussier», qui a été couvert de couvercle et cuit à la vapeur au-dessus de l'eau bouillante. Les temps de cuisson étaient comme suite : 10 minutes pour les pommes de terre, le chou blanc et l'épinard et 8 minutes pour les carottes.

Après chaque cuisson, les échantillons ont été égouttés pour enlever le maximum d'eau, puis conservés au congélateur pour être utilisés ultérieurement.

2.3. Mesure du taux d'humidité des légumes

Le taux d'humidité des légumes est déterminé par dessiccation ou séchage à l'étuve à une température de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ d'une prise d'essai de 5 g jusqu'à un poids constant. La teneur en eau est définie comme étant la perte de poids subit lors de la dessiccation (Audigie *et al.*, 1978) et elle est exprimée en pourcentage.

$$\mathbf{H\ (\%) = (M_1 - M_2) / P_e \times 100}$$

H% : Teneur en eau.

M₁ : Poids de la capsule + échantillon avant dessiccation.

M₂ : Poids de la capsule + échantillon après dessiccation.

P_e : La prise d'essai.

La matière sèche (MS) est obtenue comme suit :

$$\mathbf{MS\ \% = 100 - H\ \%}$$

2.4. Evaluation de la teneur en polyphénols totaux des légumes

2.4.1. Echantillonnage

Les échantillons de légumes crus et cuits ont été broyés séparément dans un extracteur commercial de jus (Moulinex centrifugeuse Frutti Pro BKA1. Espagne) avec une vitesse de rotation de 11000 tours / min. L'extrait végétal obtenu a été conservé dans des flacons ombrés, dans le congélateur pour les analyses ultérieures.

2.4.2. Extraction des polyphénols totaux

L'extraction des polyphénols totaux à partir de nos légumes crus, cuits dans l'eau et à la vapeur d'eau a été réalisée selon le protocole proposé par Vinson et *al.* (2001). 100 μ L de chaque extrait végétal (EV) est solubilisé dans 500 μ L de méthanol 50% (méthanol-eau distillée 50:50; v/v) acidifiés avec 1.2 M HCl. Le mélange est alors placé dans un bain d'eau à 90°C pendant 180 minutes sous agitation constante, puis il est enlevé du bain d'eau et refroidi à la température ambiante (2 minutes approximativement).

Le volume est ajusté à 1 ml avec du méthanol pure et le mélange est centrifugé à 500 rpm pendant 5 mn. Le surnageant, considéré comme extrait de polyphénols, est immédiatement employé pour la détermination du contenu en polyphénols totaux (Figure 13).

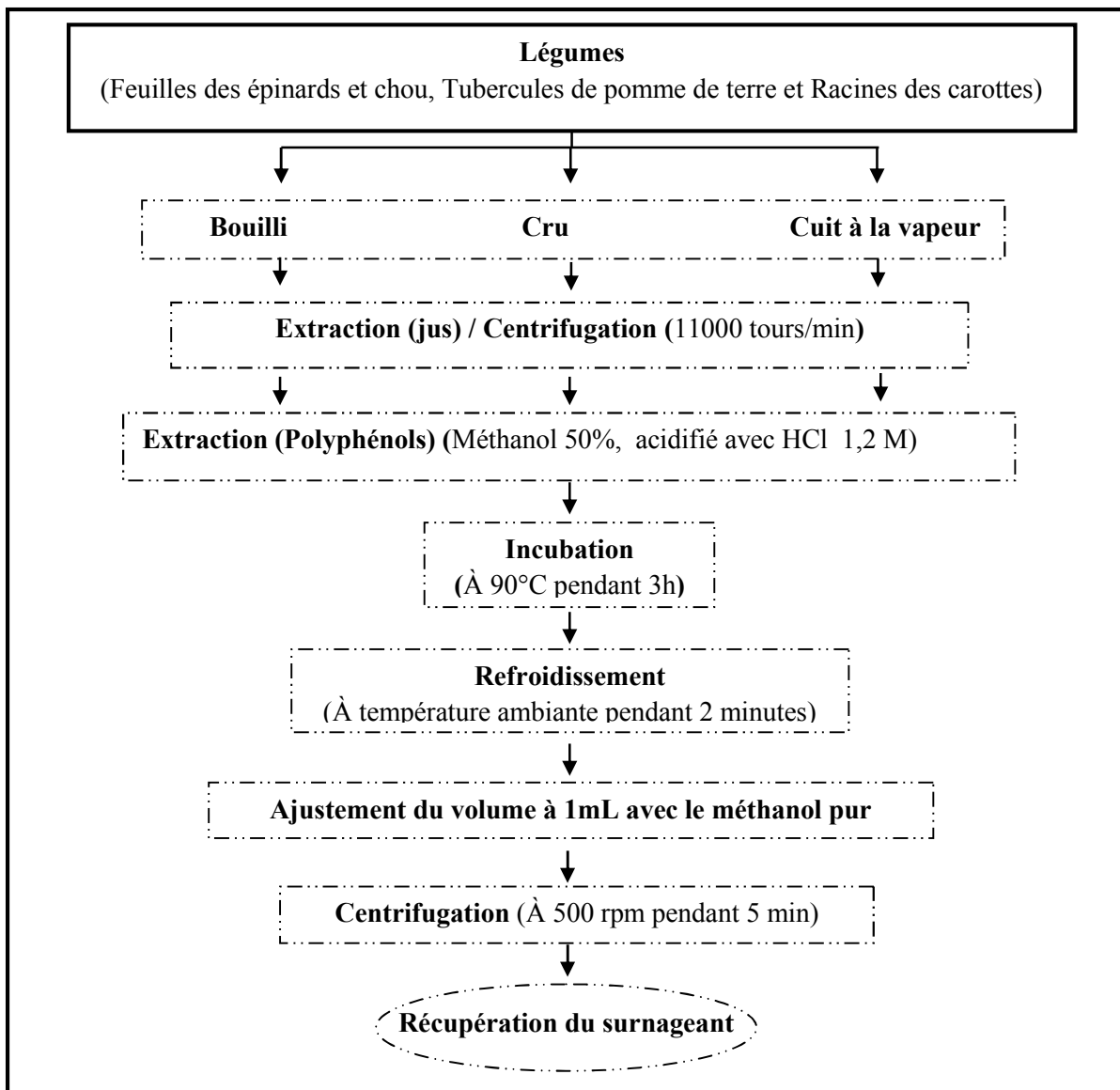


Figure 13. Récapitulation des étapes d'extraction des polyphénols totaux.

2.4.3. Dosage des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu

La méthode de Folin-Ciocalteu a été choisie pour quantifier les polyphénols totaux, ce choix est basé sur les raisons suivantes :

- ❖ c'est une méthode qui satisfait aux critères de faisabilité et de reproductibilité ;
- ❖ la disponibilité du réactif de Folin et la méthode est bien standardisée ;
- ❖ la grande longueur d'onde (765nm) d'absorption du chromophore permet de minimiser les interférences avec la matrice d'échantillon qui est souvent coloré ;
- ❖ c'est un test largement pratiqué dans les laboratoires de recherche d'antioxydants alimentaires à travers le monde (Huang *et al.*, 2005).

Le dosage des polyphénols totaux par la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu a été décrit en 1965 par Singleton et Rossi. Depuis, son utilisation s'est largement répandue pour caractériser les extraits végétaux d'origines plus diverses (Manallah, 2012).

2.4.3.1. Principe

Le réactif de Folin Ciocalteu est un acide de couleur jaune constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Il est réduit lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (Ribéreau-Gayon, 1968). La coloration produite, dont l'absorption maximum à 765 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (Boizot et Charpentier, 2006).

2.4.3.2. Protocole

Les polyphénols ont été déterminés par spectrophotométrie, suivant le protocole appliqué en 2005 par Karou et ses collaborateurs. 30 μ l d'extrait polyphénoliques est mélangé avec 75 μ l de Réactif de Folin Ciocalteu (FCR) dilué avec de l'eau distillée (Folin : eau, 50 : 50, v/v). Après 5 min d'incubation à température ambiante, 75 μ l de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 20% (p/v) sont ajoutées dans les tubes et le tout est amené à 600 μ l avec de l'eau distillée. L'absorbance est lue à 750 nm après 30 min. (Figure 14). Trois expériences ont été réalisées pour la détermination des polyphénols totaux

La courbe d'étalonnage est effectuée par l'acide gallique à différentes concentrations (0.01-0.22 mg /ml), dans les mêmes conditions et les mêmes étapes de dosage. Les résultats

sont ainsi exprimés en mg d'équivalent d'acide gallique par 100g d'extrait frais de légume (mg EAG/100g).

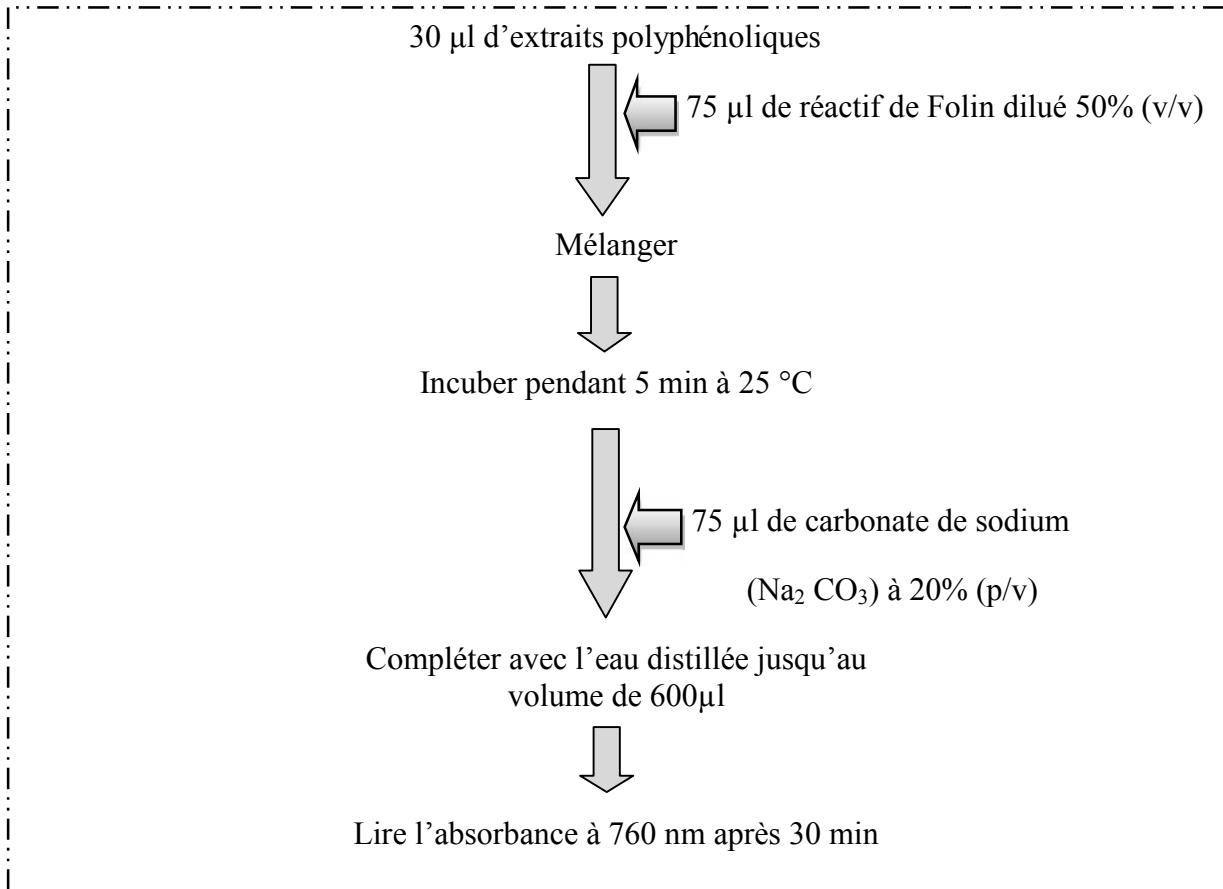


Figure 14 : Récapitulation des étapes de dosage des polyphénols totaux.

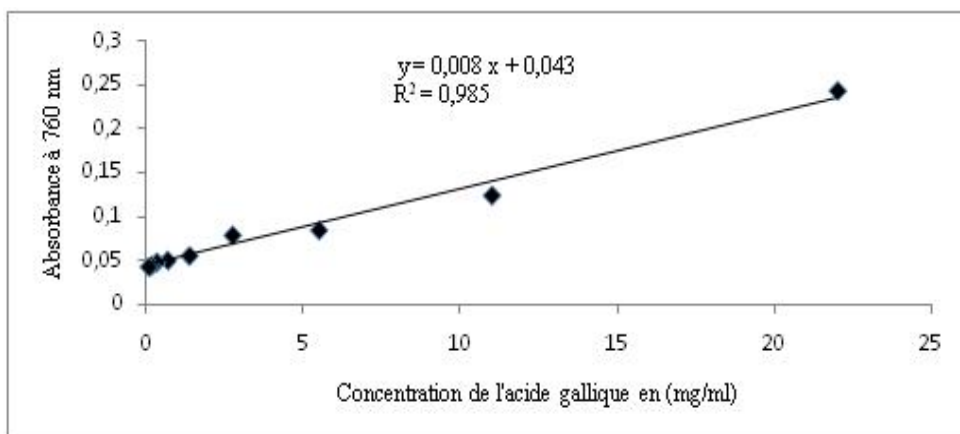


Figure 15. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

2.5. Mesure de l'activité antioxydante par la méthode DPPH

2.5.1. Principe

Le composé chimique 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (α -diphényl- β -picrylhydrazyle) fut l'un des premiers radicaux libres utilisé pour étudier la relation structure-activité antioxydante des composés phénoliques (Blois, 1958 ; Brand-Williams, 1995). Il possède un électron non apparié sur un atome du pont d'azote. Du fait de cette délocalisation, les molécules du radical ne forment pas des dimères, DPPH• reste dans sa forme monomère relativement stable à température ordinaire. La délocalisation provoque aussi la couleur bleue bien caractéristique de la solution de DPPH•.

La mesure de l'efficacité d'un antioxydant se fait en mesurant la diminution de la coloration bleue, due à une recombinaison des radicaux DPPH•, mesurable par spectrophotométrie à 515-518 nm (Popovici *et al.*, 2009).

Le piégeage des radicaux libres par des antioxydants est tributaire de deux types de mécanismes (Nanjo *et al.*, 1996 ; Huang, *et al.*, 2005) :

1. la libération de l'atome d'hydrogène du groupement hydroxyle (cinétique rapide de certaines acides et dérivées phénoliques) ;
2. la libération d'un électron (cinétique lente des dérivées glycosylées et des anthocyanes)

Dans le cas des composés phénoliques (Φ -OH), le mécanisme principal d'action est le piégeage des radicaux libres par le transfert de l'atome H sur le DPPH• alors transformé en une molécule stable DPPHH (Sanchez-Moreno *et al.*, 1998; Molyneux, 2004).

2.5.2. Protocole

Le test antioxydant a été réalisé avec la méthode au DPPH (Kuskoski *et al.*, 2006). 100 μ L de chaque EV, cru ou après cuisson, sont ajoutés à 3,9 ml de la solution méthanolique du DPPH (100 μ M dans du méthanol 80%). La lecture de l'absorbance est lue à 517 nm après 15, 30 et 60 min d'incubation à l'obscurité et à la température ambiante. Le blanc est préparé pour chaque échantillon, en remplaçant nos extraits polyphénoliques par le méthanol 80%. Le test est répété 3 fois et les résultats ont été exprimés en pourcentage d'inhibition (I%).

$$I\% = (A_0 - A_t) / A_0$$

A_0 : représente l'absorbance de la solution de DPPH au temps 0. La valeur d' A_0 représente 100%.

A_t : est l'absorbance de chaque échantillon à 15, 30 et 60 min après l'ajout de la solution de DPPH.

2.6. Traitement statistique

Les moyennes plus ou moins les écarts types des essais ainsi que les représentations graphiques ont été réalisées par l'Excel 2007.

Les résultats obtenus ont été traités par deux analyses indépendantes à l'aide de logiciel XLSTAT (2008). La première analyse est l'analyse de la variance « ANOVA » univariée suivi du test de Dunnett permettant d'étudier la différence entre le contrôle et les différents tests et de connaître la signification des différences (le seuil de signification est $\leq 0,05$). La deuxième analyse consiste à mettre en évidence des corrélations entre les variables étudiés (taux d'humidité, teneur en polyphénols totaux, activité antioxydante et durée du stockage) au seuil de signification $\leq 0,05$.

Résultats et
Discussion

1. Taux d'humidité

1.1. Légumes crus

1.1.1. Taux d'humidité des légumes crus témoins (après 06 h de la récolte)

Les taux d'humidité des légumes crus varient entre 81,67% et 91,3%. Ils sont équivalents à $81,67 \pm 0,5\%$, $86,07 \pm 0,17\%$, $90,6 \pm 0,26\%$ et $91,3 \pm 0,12\%$, respectivement pour la pomme de terre P.T0.C, la carotte Ca0.C, le chou Ch0.C et l'épinard Ép0.C (Figure 16).

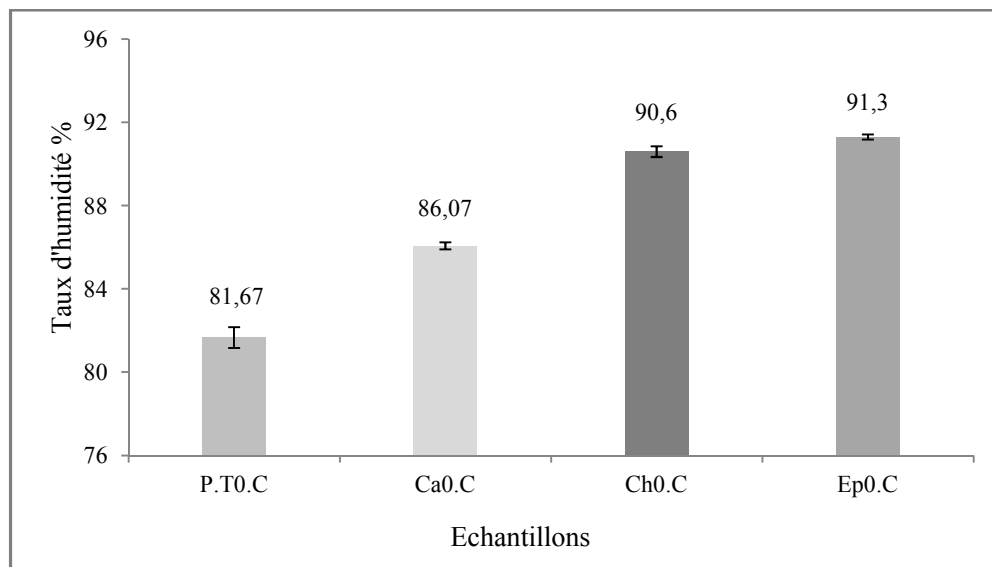


Figure 16. Taux d'humidité des échantillons des légumes crus témoins.

Les résultats obtenus dans cette étude pour la teneur en eau des légumes exprimés en % de matière fraîche correspondent à ceux cités par la FAO (1992), qui rapporte que les légumes sont des parties de végétaux vivants contenant de 65 à 95% d'eau.

La teneur en eau de la carotte est équivalente à $86,07 \pm 0,17\%$. Cette valeur est légèrement faible par rapport à ce qui est rapporté par Souci *et al.* (1994) et Favier *et al.* (1995) qui donnent une teneur en eau de la carotte entre 87,5% et 92,1%.

En ce qui concerne la pomme de terre, la teneur en eau moyenne est $81,67 \pm 0,5\%$. Cette valeur se trouve dans l'intervalle rapporté par la littérature qui est compris entre 77,8% et 81,8% (Souci *et al.*, 1994 et Favier *et al.*, 1995).

Le chou étudié par Fachmann et Kraut (1995) a une teneur en eau équivalente à 94%. Cette valeur semble être supérieure à nos résultats qui valent $90,6 \pm 0,26\%$. Quand à

l'épinard, les mêmes auteurs ont trouvé une teneur en eau équivalente à 91,7%. Cette valeur convient avec notre résultat qui est de $91,3 \pm 0,12\%$.

La teneur en eau, varie principalement en fonction de la variété, mais dépend également des techniques culturales, des conditions climatiques et de l'âge physiologique de la plante (Rousselle *et al.*, 1996 ; Mattila et Hellström, 2007).

En effet, les légumes sont connus pour leur richesse en eau et l'analyse de la teneur en eau de la pomme de terre, de la carotte, du chou et de l'épinard a confirmé cette affirmation. Cette richesse en eau entraîne deux conséquences : d'une part, ceci permet aux légumes d'utiliser au maximum leurs composés chimiques solubles, et d'autre part, elle ne leur permet pas d'être stockés à long terme à cause du risque de développement de certains microorganismes qui peuvent altérer leur qualité organoleptique et nutritionnelle. De ce fait, ils doivent être, comme tous les légumes, conservés au froid et consommés dans les plus brefs délais (Beghdad, 2009).

1.1.2. Taux d'humidité des légumes crus et stockés

Les taux d'humidité des échantillons de pomme de terre, carotte, chou et épinard varient respectivement dans les intervalles suivants : $81,67 \pm 0,59$ - $80,90 \pm 0,37\%$, $86,06 \pm 0,16$ - $84,90 \pm 0,50\%$, $90,62 \pm 0,27$ - $87,74 \pm 0,32\%$, $91,23 \pm 0,12$ - $81,75 \pm 0,23\%$ (Tableau 9). Les résultats obtenus montrent des pertes en eau variables selon la durée de stockage et le légume considéré (Tableau 9).

Les pertes en eau des légumes mesurées à la fin de la durée du stockage varient entre 0,77% et 9,48%. Elles sont équivalentes à 0,77%, 1,16%, 2,88, et 9,48% respectivement pour la pomme de terre crue P.T₅.C, la carotte crue Ca₅.C, le chou cru Ch₅.C et l'épinard cru Ép₅.C.

En se référant aux résultats de la mesure des taux d'humidités des légumes crus (témoins), l'analyse de la variance indique des différences significatives ($p \leq 0,05$) entre les échantillons de carotte Ca.C et de pomme de terre P.T.C successivement à partir des deuxième et quatrième jours de stockage. Par contre la différence est significative pour les échantillons de chou Ch.C et d'épinard Ep.C dès le premier jour de stockage (Tableau 9).

Tableau 9. Analyse des différences par le test de Dunnett entre les échantillons des légumes crus pour le taux d'humidité en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).

Légumes	Durée du stockage (jours)					
	0 (Témoin)	1	2	3	4	5
P.T.C	81,67±0,59 ^a	81,65±0,50 ^a	81,64±0,24 ^a	81,64±0,41 ^a	81,55±0,35 ^b	80,90±0,37 ^b
Ca.C	86,06±0,16 ^a	85,94±0,42 ^a	85,50±0,38 ^b	85,42±0,10 ^b	85,08±0,28 ^b	84,90±0,50 ^b
Ch.C	90,62±0,27 ^a	89,22±0,13 ^b	89,92±0,19 ^b	89,05±0,45 ^b	88,47±0,35 ^b	87,74±0,32 ^b
Ép.C	91,23±0,12 ^a	87,39±0,41 ^b	84,76±0,15 ^b	82,70±0,36 ^b	82,78±0,31 ^b	81,75±0,23 ^b

Moyenne \pm écart type ; $n = 3$. Les moyennes de la même ligne ayant des exposants différents sont significativement différentes du témoin à $P \leq 0,05$.

D'après Letang (1996), les pertes en eau relevées pour les carottes stockées aux magasins dans des conditions non contrôlés atteignent 3,5% par jour. Cette valeur est largement supérieure à notre résultat qui est de 1,16% mesuré au cinquième jour de stockage. En ce qui concerne les légumes crus, les données de la littérature sur l'évolution de la teneur en eau sont assez rares.

Les légumes frais continuent à perdre de l'eau après récolte par respiration et transpiration. Les pertes varient selon le produit, en fonction de la structure de l'épiderme, de sa maturité, du rapport surface/volume, etc. et surtout selon les conditions hygrométriques de l'environnement (Burden et Wills, 1992).

D'après Kader (1991) et Ashrae (1997), la température, l'humidité relative et la circulation de l'air autour des légumes vont avoir un effet direct sur les pertes en eau, l'un des facteurs de qualité les plus importants pour les légumes frais.

1.1.3. Corrélations entre les taux d'humidité et la durée du stockage des légumes crus et stockés

Les résultats présentés dans le tableau 10, indiquent une corrélation négativement significative entre les taux d'humidité et la durée du stockage des Ca.C ($r = -0,83$), Ch.C ($r = -0,89$) et Ep.C ($r = -0,93$), ce qui signifie que plus la durée du stockage est élevée plus le taux d'humidité diminue. Par contre, le taux d'humidité de la pomme de terre est corrélé négativement et d'une manière non significative ($r = -0,40$) avec la durée du stockage. Cette corrélation peut s'expliquer par le fait que les légumes feuillés, les épinards notamment, perdent leur eau rapidement car ils ont une peau mince et cireuse dotée de nombreux pores.

D'autres, les pommes de terre par exemple, ont un taux d'évaporation beaucoup plus faible à cause de leur peau épaisse et rugueuse, aux pores peu nombreux (FAO, 1992).

Tableau 10. Matrice de corrélation (*Pearson*) entre les taux d'humidité et la durée du stockage des légumes crus.

Variables		Durée du stockage (jours)			
		P.T.C	Ca.C	Ch.C	Ep.C
Taux d'humidité H%	P.T.C	-0,40			
	Ca.C		-0,83*		
	Ch.C			-0,89*	
	Ep.C				-0,93*

* : corrélation significative

1.2. Légumes cuits

1.2.1. Légumes cuits à la vapeur

1.2.1.1. Taux d'humidité des légumes cuits à la vapeur

Après cuisson à la vapeur, une légère augmentation des taux d'humidité des légumes est constatée. Les pourcentages d'augmentation varient entre 0,04% et 0,82% selon le légume considéré. Ils sont équivalents à 0,04%, 0,14%, 0,68% et 0,82% successivement pour les échantillons de pomme de terre P.T_{0.V}, carotte Ca_{0.V}, chou Ch_{0.V} et épinard Ép_{0.V} par rapport à l'état crus (Figure 17).

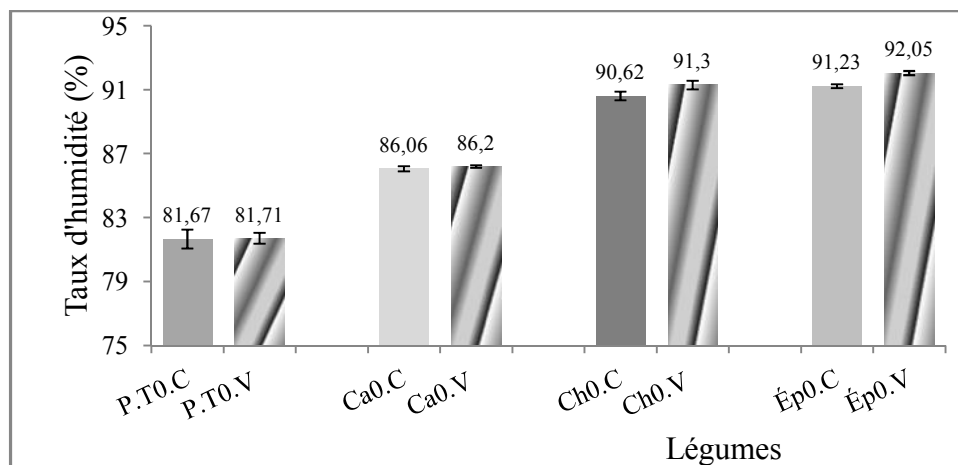


Figure 17. Taux d'humidité des légumes crus et cuits à la vapeur

1.2.1.2. Taux d'humidité des légumes stockés et cuits à la vapeur

L'augmentation de la teneur en eau des légumes après cuisson à la vapeur est observée pendant toute la durée du stockage (5 jours). Les pourcentages d'augmentation sont inclus dans les intervalles suivants : 0,04-0,7%, 0,8- 0,14%, 0,68-1,61%, 0,82- 6,5% respectivement pour la pomme de terre P.T.V, la carotte Ca.V, le chou Ch.V et l'épinard Ép.V (Tableau 11).

Tableau 11. Analyse des différences par le test de Dunnett entre les échantillons des légumes cuits à la vapeur et le témoin pour le taux d'humidité en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).

Légumes	Durée du stockage (jours)					
	0 (Témoin)	1	2	3	4	6
P.T.V	81,71±0,34	81,70±0,01	81,65±0,05	81,70±0,02	81,63±0,08	81,60±0,03
Ca.V	86,20±0,08	86,00±0,25	86,11±0,15	86,30±0,76	85,80±0,14	85,70±0,33
Ch.V	91,30±0,27	90,05±0,05	90,16±0,05	90,10±0,02	90,00±0,01	89,35±0,03
Ép.V	92,05±0,13	90,61±0,25	90,11±0,15	88,50±0,76	89,41±0,14	88,25±0,33

Moyenne \pm écart type ; $n = 3$. Absence des différences significatives du témoin à $P \leq 0,05$.

En se référant aux résultats de la mesure des taux d'humidité des légumes cuits à la vapeur mesurés après 06 heures de la récolte, l'analyse de la variance indique l'absence des différences significatives ($p \leq 0,05$) entre les échantillons des légumes stockés et cuits à la vapeur (Tableau 11).

1.2.1.3. Corrélations entre les taux d'humidité et la durée du stockage des légumes stockés et cuits à la vapeur.

Les résultats présentés dans le tableau 12 indiquent l'absence de corrélation significative ($p \leq 0,05$) entre les taux d'humidité et la durée du stockage des légumes stockés et cuits à la vapeur, ce qui signifie que la durée du stockage n'a aucun effet significatif sur le taux d'humidité des légumes stockés et cuits à la vapeur. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que la cuisson à la vapeur augmente la teneur en eau des légumes jusqu'à saturation (Kaloustian *et al.* 2008).

Tableau 12. Matrice de corrélation (*Pearson*) entre le taux d’humidité et la durée du stockage des légumes cuits à la vapeur.

Variables		Durée du stockage (jours)			
		P.T.V	Ca.V	Ch.V	Ep.V
Taux d’humidité H%	P.T.V	-0,104			
	Ca.V		-0,113		
	Ch.V			-0,124	
	Ep.V				-0,132

Absence de corrélation significative

1.2.2. Légumes cuits dans l’eau

1.2.2.1. Taux d’humidité des légumes cuits dans l’eau

Après cuisson dans l’eau, une légère augmentation des taux d’humidité des légumes est constatée. Les pourcentages d’augmentation varient entre 0,37% et 2,44% selon le légume considéré. Ils sont équivalents à 0,37%, 2,43%, 1,79% et 1,07% respectivement pour les échantillons de pomme de terre P.T₀.E, carotte Ca₀.E, chou Ch₀.E et épinard Ép₀.E par rapport à l’état crus (Figure 18).

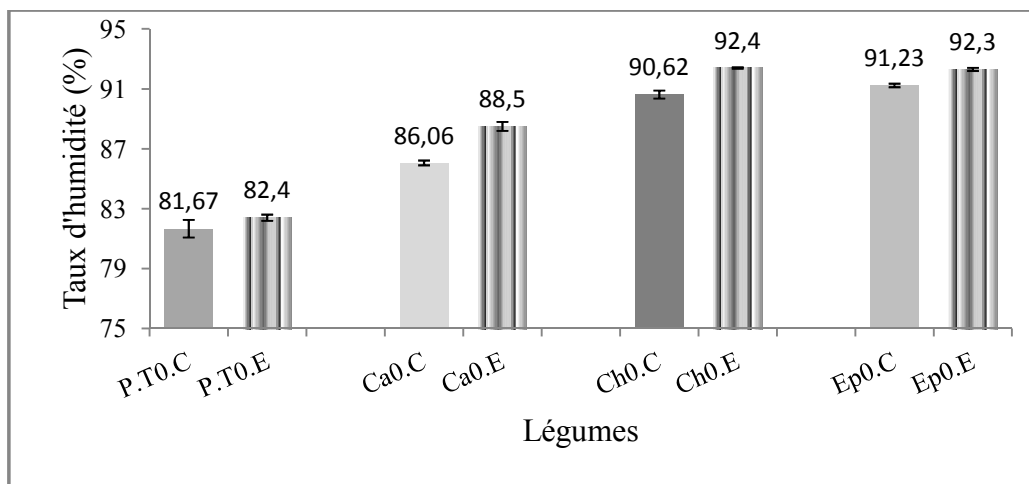


Figure 18. Taux d’humidité des légumes crus et cuits dans l’eau.

1.2.2.2. Taux d’humidité des légumes stockés et cuits dans l’eau

Après cuisson dans l’eau, une augmentation des taux d’humidité des légumes est constatée. Les pourcentages d’augmentation varient dans les intervalles suivants : 0,37% - 1,27%, 2,43-2,44%, 1,79-4,34% et 1,07-9,65% respectivement pour les échantillons de pomme de terre P.T.E, carotte Ca.E, chou Ch.E et épinard Ép.E (Tableau 13).

Tableau 13. Analyse des différences par le test de Dunnett entre les échantillons des légumes cuits dans l'eau pour le taux d'humidité en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).

Légumes	Durée du stockage (jours)					
	0 (témoins)	1	2	3	4	5
P.T.E	82,40±0,21	82,56± 0,05	81,99±0,01	82,05±0,04	81,98±0,005	82,17±0,03
Ca.E	88,50±0,30	87,65±0,12	87,80±0,33	87,21±0,05	87,50±0,27	87,33±0,05
Ch.E	92,40±0,05	92,65±0,11	92,37±0,00	92,81±0,04	91,96±0,05	92,08±0,01
Ep.E	92,30±0,10	92,01±0,22	92,85±0,33	91,90±0,05	92,01±0,06	91,40±0,05

Moyenne ± écart type ; n = 3. Absence de différences significatives du témoin à $P \leq 0,05$.

En se référant aux résultats de la mesure des taux d'humidité des légumes cuits dans l'eau mesurés après 06 heures de la récolte, l'analyse de la variance indique l'absence des différences significatives ($p \leq 0,05$) entre les échantillons des légumes cuits dans l'eau (Tableau 13).

1.2.2.3. Corrélations entre les taux d'humidité et la durée du stockage des légumes stockés et cuits dans l'eau

Les résultats présentés dans le tableau 14 indiquent l'absence de corrélations significatives ($p \leq 0,05$) entre les taux d'humidité et la durée du stockage des légumes stockés et cuits dans l'eau, ce qui signifie que la durée du stockage n'a aucun effet significatif sur les taux d'humidité des légumes stockés et cuits dans l'eau. Ce résultat peut s'expliquer, de la même manière que pour les légumes cuits à la vapeur, par le fait que la cuisson dans l'eau augmente la teneur en eau des légumes (Kaloustian *et al.* 2008).

Tableau 14. Matrice de corrélation (Pearson) entre le taux d'humidité et la durée du stockage des légumes cuits dans l'eau.

Variables		Durée du stockage (jours)			
		P.T.E	Ca.E	Ch.E	Ep.E
Taux d'humidité H%	P.T.E	-0,634			
	Ca.E		-0,753		
	Ch.E			-0,533	
	Ep.E				-0,609

Absence de corrélations significatives

En effet, le traitement thermique que peut subir un végétal engendre une solubilisation partielle des pectines, une séparation plus facile des cellules mais aussi de bonnes conditions d'hydratation des parois (Muller et Kunzok, 1998). Vetter et Kunzec (2002) ont observé que le ramollissement de la paroi cellulaire, causé par le blanchiment (10 min, 80°C) du végétal en cours de traitement, résulte probablement d'une meilleure rétention d'eau entre les chaînes de polymères. Pour expliquer ce phénomène, ils ont supposé que seule une matrice de pectines ramollie est capable de capter de grandes quantités d'eau, contrairement aux structures rigides (échantillons qui n'ont pas eu le blanchiment) où il n'y a pas eu de ramollissement de la paroi cellulaire et pas de séparation des cellules au niveau de la lamelle moyenne.

2. Teneurs en composés phénoliques totaux des légumes

2.1. Légumes crus témoins (après 06h de la récolte)

En se basant sur les valeurs d'absorbance des extraits polyphénoliques, réagissant avec le réactif de Folin-Ciocalteu, et comparées à la solution standard d'acide gallique, les résultats de l'analyse quantitative des composés phénoliques totaux sont donnés dans le tableau 15.

Tableau 15. Teneur en polyphénols totaux des légumes crus (mg EAG/100g).

Légumes crus	Quantité des phénols totaux (mg EAG/100g)
P.T ₀ .C	26,17±0,44
Ca ₀ .C	13,80±0,48
Ch ₀ .C	86,10±0,44
Ép ₀ .C	28,30±0,58

Les résultats enregistrés ci-dessus montrent que la teneur en polyphénols totaux varie selon le type de légume. Le chou Ch₀.C apparaît comme le légume le plus riche en composés phénoliques (86,10±0,44 mg EAG/100g), suivi de l'épinard Ép₀.C (28,30±0,58 mg EAG/100g) et la pomme de terre P.T₀.C (26,17 ± 0,44 mg EAG/100g). Quant à la carotte Ca₀.C, sa teneur est la plus faible (13,80±0,48 mg EAG/100g).

En se référant à certaines études sur la teneur en polyphénols totaux des légumes, Brat *et al.* (2006) ont trouvé une teneur de 23,10 mg EAG/100g de la pomme de terre. Cette valeur semble être inférieure à nos résultats (26,17mg EAG/100g). Concernant le même

légume, Wu *et al.* (2004), Mélo *et al.* (2006) et Faller et Fialho (2009) ont rapporté successivement, des teneurs de 163,00 mg, 43,20 mg et 31,5 mg EAG/100g. Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues dans notre étude (Tableau 16).

En ce qui concerne la carotte, Brat *et al.* (2006) et Mélo *et al.* (2006) ont trouvé des teneurs successivement de 10.10 mg et 12.90 mg EAG/100g. Ces teneurs sont légèrement inférieures à nos résultats (13,80 mg EAG/100g). Dans d'autres études, Wu *et al.* (2004) et Faller et Fialho (2009) ont rapporté, des teneurs respectivement de 125.00 mg et 45.10 mg EAG/100g, ces teneurs sont très élevées par rapport à nos résultats (Tableau 16).

Dans le cas du chou, Mélo *et al.* (2006) et Faller et Fialho (2009) ont trouvé des teneurs respectivement de 47.30 mg et 66.9 mg EAG/100g. Ces teneurs sont inférieures à nos résultats. Par contre, Ciéslik *et al.* (2004) et Wu *et al.* (2004) ont rapporté des teneurs en polyphénols totaux plus élevées par rapport à nos résultats (86,10 mg EAG/100g). Ces teneurs sont respectivement de 108.00 mg et 203.00 mg EAG/100g (Tableau 16).

Quant à l'épinard, Bunea *et al.* (2008) ont trouvé une teneur de 208.8 mg EAG/100g, cette valeur est très élevée à nos résultats (Tableau 16).

Tableau 16. Quelques données de la littérature sur la teneur en polyphénols totaux des pommes de terre, carottes, choux et épinards exprimées en mg/100g du poids frais.

Légumes	Pomme de terre	Carotte	Chou	Epinard
Faller <i>et Fialho</i> (2009) (Brésil)	31.5	45.1	66.9	Abs
Mélo <i>et al.</i> (2006) (Brésil)	43.2	12.9	47.3	Abs
Brat <i>et al.</i> (2006) (France)	23.1	10.1	Abs	Abs
Ciéslik <i>et al.</i> (2004) (Pologne)	Abs	Abs	108.0	Abs
Wu <i>et al.</i> 2004 (Etats-Unis)	163.0	125.0	203.0	Abs
Bunea <i>et al.</i> (2008) (France)	Abs	Abs	Abs	208.8

Abs : Absence de données

En se référant à la bibliographie et dans l'objectif de comparer les taux en polyphénols totaux obtenus par rapport à ceux cités dans la littérature, plusieurs facteurs doivent être pris en considération et qui peuvent influencer le contenu polyphénolique d'une plante. Ce dernier dépend d'un certain nombre de facteurs intrinsèques et extrinsèques (Falleh *et al.*, 2008). Il existe des facteurs physiologiques, génétiques, agronomiques, environnementaux (Combris *et al.*, 2007 ; Faller et Fialho, 2009) et la différence entre les méthodes

d'extraction, d'évaluation et d'expression des résultats entre les auteurs (Tabart *et al.*, 2007 et Lee *et al.*, 2003). En outre, les comparaisons sont compliquées par l'utilisation de bases différentes pour le calcul des teneurs ; en effet les changements des teneurs en eau ou les pertes de solubles qui interviennent lors des procédés font varier mécaniquement les concentrations rapportées au poids frais ou à la matière sèche (Combris *et al.*, 2007). Par conséquent, il nous a été difficile de comparer nos résultats à ceux de la littérature. Par exemple, Jabbari *et al.*, (2007) ont rapporté les concentrations des composés phénoliques de 60,69 à 98,82 mg TAE/100g de la matière sèche dans trois cultivars d'épinard.

2.1.1. Teneurs en composés phénoliques totaux des légumes crus et stockés

D'après les résultats consignés dans le tableau 17 et reportés dans la figure 20, nous remarquons que toutes les valeurs des composés phénoliques exprimées en mg EAG/100g oscillent entre 26,17±0,44 et 26,03±0,54 mg EAG/100g pour les échantillons de pomme de terre P.T.C, entre 13,80±0,48 et 14,41±0,43 mg EAG/100g pour les échantillons de carotte Ca.C, entre 86,10±0,44 et 79,08±0,40 mg EAG/100g pour les échantillons du chou Ch.C et entre 28,30±0,58 et 17,50±0,60 mg EAG/100g pour ceux de l'Épinard Ep.C.

En se référant aux valeurs témoins, les résultats de l'analyse de la variance ont montré un effet significatif du temps de stockage sur la teneur en polyphénols totaux de l'épinard Ep.C et du chou Ch.C. A l'inverse, aucune influence significative n'a été mise en évidence pour les échantillons de pomme de terre P.T.C et de carotte Ca.C (Tableau 17).

Tableau 17. Analyse des différences par le test de Dunnett entre les échantillons des légumes crus pour la teneur en composés phénoliques en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).

Légumes	Durée du stockage (jours)					
	0 (témoins)	1	2	3	4	5
P.T.C	26,17±0,44	26,20±0,40	26,00±0,25	26,10±0,40	25,90±0,65	26,03±0,54
Ca.C	13,80±0,48	13,71±0,34	13,51±0,27	13,80±0,49	13,90±0,52	14,41±0,43
Ch.C	86,10±0,44 ^b	84,90±0,42 ^a	81,20±0,60 ^a	80,90±0,38 ^a	79,30±0,68 ^a	79,08±0,40 ^a
Ep.C	28,30±0,58 ^b	26,10±0,22 ^a	24,4±0,55 ^a	21,00±0,45 ^a	19,70±0,29 ^a	17,50±0,60 ^a

Moyenne ± écart type ; $n = 3$. Les moyennes de la même ligne ayant des exposants différents sont significativement différentes du témoin à $P \leq 0,05$.

Les teneurs en composés phénoliques du chou et de l'épinard ont tendance à diminuer au fur et à mesure de la durée de stockage. Ces teneurs atteignent successivement les valeurs de 08,15% (7,02 mg EAG/100g) et 38,16% (10,80 mg EAG/100g) à la fin du stockage.

Bunea *et al.* (2008) ont cependant réalisé un stockage de l'épinard à 4°C durant 03 jours en évaluant la teneur en composés phénoliques sur base de la matière fraîche. Ces auteurs ont montré que le stockage des épinards entraîne des diminutions de 7,6% et de 11,2% du contenu phénolique total des épinards obtenu successivement après 24h et 72h du stockage. Les pertes en pourcentage rapportées par ces auteurs sont faibles par rapport à nos résultats ; elles sont de 7,77% (2,2 mg/100g) et 25,79% (7,3mg/100g) successivement après 24 h et 72h du stockage.

D'après ces auteurs, les pertes de composés phénoliques dans les légumes verts stockés à 25°C sont plus importantes en comparaison à celles des légumes stockés à 4°C.

D'autres études ont également rapporté une diminution de la teneur en polyphénols au cours du stockage des végétaux (Deshpende et Cheyan, 1985 ; Hincks et Stanley, 1986).

En ce qui concerne la carotte, la teneur en composés phénoliques est plus ou moins stable pendant les trois premiers jours de stockage puis, elle augmente légèrement à la fin du stockage. Cette augmentation reste non significative et elle est de l'ordre de 04,42% (0,61 mgEAG/100g) à la fin de la durée du stockage. Ces résultats sont en accord avec ceux cités par Zakaria chahine et Bassal (2005). Ces auteurs ont rapporté que la teneur en composés phénoliques de la carotte non emballée et stockée à la température ambiante pendant une période de 8 jours augmente avec le temps de stockage. Cette augmentation est significative à partir du quatrième jour de stockage.

Dans le cas de la pomme de terre stockée à la température ambiante, les polyphénols varient d'une façon aléatoire au début du stockage. Au-delà du quatrième jour, une légère décroissance de la teneur des polyphénols a été mesurée. Le temps de stockage n'a pas d'influence significative sur la variation des polyphénols totaux (Tableau 17).

Quant à la pomme de terre et le chou, les données de la littérature sur l'évolution de la teneur en composés phénoliques totaux au cours du stockage à la température ambiante sont assez rares.

2.1.2. Corrélations entre la durée de stockage et les teneurs en composés phénoliques totaux des légumes crus et stockés

Les résultats présentés dans le tableau 18 indiquent une corrélation négativement significative entre la durée du stockage et la teneur en polyphénols totaux des Ch.C ($r = -0,94$) et des Ep.C ($r = -0,99$), ce qui signifie que plus la durée du stockage est élevée plus le contenu phénolique diminue. Cette corrélation peut s'expliquer par le fait de l'oxydation des composés phénoliques aux cours du stockage (Manach *et al.*, 2004).

La diminution de la teneur en composés phénoliques au cours du stockage post-récolte des végétaux a été attribuée variablement aux réactions de polymérisation/condensation pour former des polymères (Kadam *et al.*, 1982),

Dans le cas de la carotte et la pomme de terre, l'absence d'une corrélation significative entre la teneur en polyphénols totaux et la durée du stockage peut s'expliquer probablement par le fait que les polyphénols de la plus part des légumes sont stables aux cours du stockage (Combris *et al.*, 2008).

Tableau 18. Matrice de corrélation (*Pearson*) entre la teneur en composés phénoliques totaux et la durée du stockage des légumes crus.

Variables		Durée du stockage (jours)			
		P.T.C	Ca.C	Ch.C	Ep.C
Teneur en polyphénols totaux (mgEAG/100g)	P.T.C	-0,35			
	Ca.C		0,42		
	Ch.C			-0,94*	
	Ep.C				-0,99*

* : corrélation significative

2.2. Légumes cuits

2.2.1. Légumes cuits à la vapeur

2.2.1.1. Teneurs en polyphénols totaux des légumes cuits à la vapeur

Les résultats obtenus indiquent que les teneurs en polyphénols totaux des quatre légumes étudiés ont été augmentées lors de la cuisson à la vapeur. Cette augmentation est variable selon le légume considéré (Figure 19).

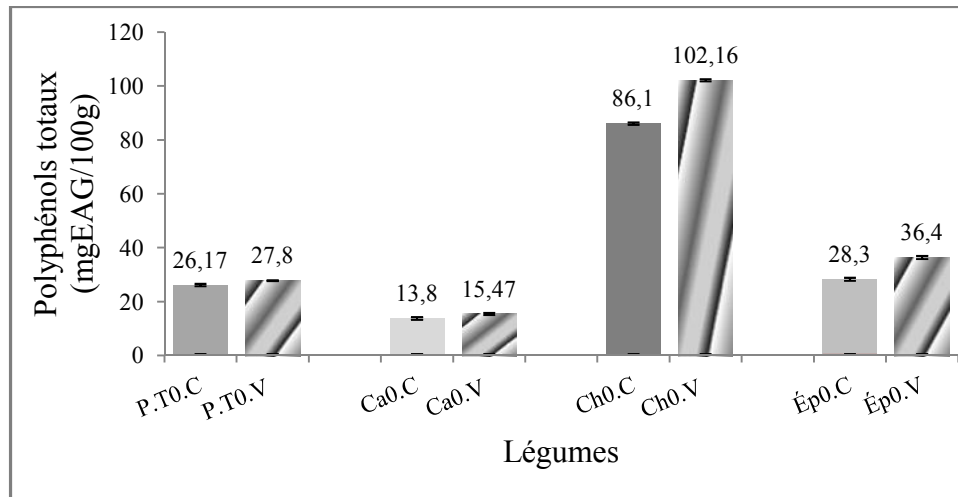


Figure 19. Teneurs en polyphénols totaux exprimées en mg GEA/100g des légumes crus et cuits à la vapeur

Dans le cas de la pomme de terre P.T₀.C, la teneur en polyphénols totaux est de 26,17±0,44 mg GEA/100g. Une augmentation de 06,22 % (1,63 mg GEA/100g) dans le cas de la cuisson à la vapeur par rapport à l'état cru a été observée.

En ce qui concerne la carotte, elle renferme une teneur en polyphénols totaux équivalente à 13,80±0,48 mg GEA/100g. Une augmentation de 12,10 % (1,67 mg GEA/100g) dans le cas de la cuisson à la vapeur par rapport à l'état cru a été constatée.

Quant aux choux verts, il renferme une teneur en polyphénols totaux équivalente à 86,10±0,44 mg GEA/100g. Une augmentation de 18,65 % (16,06 mg GEA/100g) dans le cas de la cuisson à la vapeur par rapport à l'état cru a été observée.

Pour l'épinard, sa teneur en polyphénols totaux est de 28,30±0,58 mg GEA/100g. Une augmentation de 28,62 % (08,10 mg GEA/100g) dans le cas de la cuisson à la vapeur par rapport à l'état cru a été trouvée.

Les résultats obtenus indiquent que la cuisson à la vapeur a un impact positif sur la teneur en polyphénols totaux des légumes étudiés. Les variations dans les pourcentages d'augmentation varient d'un légume à un autre et peuvent s'expliquer par la nature et la teneur des différents composés phénoliques propres à chaque légume. Cette augmentation pourrait s'expliquer par la grande facilité avec laquelle les polyphénols sont extraits des échantillons cuits, suite à une forte fragilisation des parois cellulaires de tissus végétaux par la chaleur (Barkat et Kadri, 2011).

2.2.1.2. Teneurs en polyphénols totaux des légumes stockés et cuits à la vapeur

Les teneurs en composés phénoliques totaux des quatre espèces de légumes stockés puis cuits à la vapeur sont représentés dans le tableau 19.

D'après ces résultats, il ressort que les échantillons du chou Ch.V sont plus riches en polyphénols totaux par rapport aux autres légumes suivi par l'épinard Ep.V, la pomme de terre P.T.V et la carotte Ca.V. Leurs teneurs varient respectivement dans les intervalles $102,16 \pm 00,40$ - $88,90 \pm 00,50$ mg EAG/100g, $36,40 \pm 00,56$ - $19,50 \pm 01,26$ mg EAG/100g, $7,80 \pm 0,21$ - $27,50 \pm 00,56$ mg EAG/100g et $15,47 \pm 00,39$ - $15,14 \pm 00,39$ mg EAG/100g.

En se référant aux résultats de la mesure des teneurs en composés phénoliques de la pomme de terre P.T₀.V, la carotte Ca₀.V, le chou Ch₀.V et l'épinard Ep₀.V (témoins), l'analyse de la variance indique des différences significatives ($p \leq 0,05$) entre les échantillons de l'épinard Ep.V dès le premier jour de stockage. Par contre aucune différence significative n'a été mise en évidence pour les échantillons de pomme de terre P.T.V et qu'à partir du deuxième jour de stockage entre les échantillons du chou Ch.V. Dans le cas des Ca.V, des différences significatives ($p \leq 0,05$) ont été observées aux premier, deuxième et quatrième jours de stockage (Tableau 19).

Tableau 19. Analyse des différences par le test de Dunnett entre les échantillons des légumes cuits à la vapeur pour la teneur en composés phénoliques en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).

Légumes	Durée du stockage (jours)					
	0 (Témoin)	1	2	3	4	5
P.T.V	027,80±0,21	027,90±0,19	028,08±0,27	027,90±0,35	027,40±0,52	027,50±0,56
Ca.V	015,47±0,39 ^b	014,18±0,23 ^a	013,65±0,85 ^a	014,91±0,18 ^b	014,50±0,48 ^a	015,14±0,39 ^b
Ch.V	102,16±0,40 ^b	101,10±0,30 ^b	100,13±0,60 ^a	100,05±0,51 ^a	091,30±0,67 ^a	088,90±0,50 ^a
Ep.V	036,40±0,56 ^b	031,50±0,64 ^a	028,50±0,50 ^a	022,00±0,33 ^a	020,80±0,88 ^a	019,50±1,26 ^a

Moyenne ± écart type ; n = 3. Les moyennes de la même ligne ayant des exposants différents sont significativement différentes du témoin à $P \leq 0,05$.

Dans le cas des pommes de terre P.T.V, la teneur en polyphénols totaux subit une augmentation initiale suivie d'une décroissance à la fin du stockage. La teneur en polyphénols totaux passe quant à elle par un maximum transitoire de 28,08 mg EAG/100g mesurée au deuxième jour du stockage.

Dans le cas de la carotte Ca.V, la teneur en polyphénols totaux présente une légère augmentation après avoir subi une décroissance initiale pour atteindre une valeur finale proche de l'initiale en passant par un minimum transitoire de 13,65mg EAG/100g au deuxième jour du stockage. La teneur en polyphénols totaux des choux Ch.V est plus ou moins stable aux premiers jours de stockage avant de connaître une forte décroissance pour atteindre une valeur finale de 88,90 mg EAG/100g. Cette valeur est inférieure à la valeur initiale. La teneur en polyphénols totaux de l'épinard Ep.V diminue constamment au cours du stockage pour atteindre une valeur finale de 19,50 mg EAG/100g.

2.2.1.3. Corrélations entre les teneurs en polyphénols totaux des légumes stockés et cuits à la vapeur et la durée du stockage

Les résultats présentés dans le tableau 20, indiquent des corrélations négativement significatives entre les teneurs en polyphénols totaux et la durée de stockage des échantillons de chou Ch.V ($r = - 0,90$) et d'épinard Ep.V ($r = - 0,96$). Ce qui signifie que plus la durée de stockage augmente plus la teneur en polyphénols totaux des légumes stockés et cuits diminue malgré l'effet positif de la cuisson à la vapeur sur ces derniers.

Tableau 20. Matrice de corrélations (*Pearson*) entre la teneur en composés phénoliques totaux et la durée du stockage des légumes cuits à la vapeur.

Variables		Durée du stockage (jours)			
		P.T.V	Ca.V	Ch.V	Ep.V
Teneur en polyphénols totaux (mgEAG/100g)	P.T.V	-0,396			
	Ca.V		0,070		
	Ch.V			-0,903*	
	Ep.V				-0,968*

* : *corrélation significative*

2.2.2. Légumes cuits dans l'eau

2.2.2.1. Teneurs en polyphénols totaux des légumes cuits dans l'eau

Les résultats obtenus indiquent que les teneurs en polyphénols totaux sont affectées d'une façon variable selon le légume considéré. Une augmentation est constatée dans le cas de la pomme de terre P.T₀.E et une diminution dans le cas de la carotte Ca₀.E, du chou Ch₀.E et de l'épinard Ep₀.E (Figure 20).

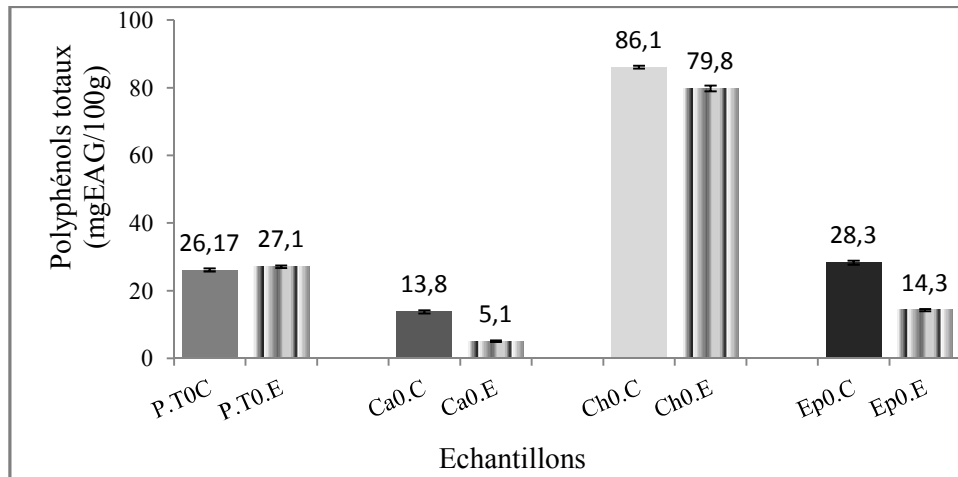


Figure 20. Teneurs en polyphénols totaux des légumes crus et cuits dans l'eau.

Dans le cas de la pomme de terre P.T₀.C, la teneur en polyphénols totaux est de 26,17±0,44 mg GEA/100g. Une augmentation de 3,5 % (0,93 mg GEA/100g) dans le cas de la cuisson dans l'eau a été observée par rapport à l'état cru (Figure 20).

La teneur en polyphénols totaux de la carotte Ca₀.C est de 13,80±0,48 mg GEA/100g. Une perte de 63,04 % (8,70 mg GEA/100g) dans la cuisson par ébullition a été observée par rapport à l'état cru (Figure 23).

En ce qui concerne le chou Ch₀.C, il renferme une teneur en polyphénols totaux équivalente à 86,10±0,44 mg GEA/100g. Une perte de 7,31 % (3,6 mg GEA/100g) dans la cuisson par ébullition par rapport à l'état cru a été constatée (Figure 20).

Pour l'épinard Ep₀.E, sa teneur en polyphénols totaux est de 28,30±0,58mg GEA/100g. De même, des pertes de 49,47 % (14 mg GEA/100g) dans le cas de la cuisson par ébullition dans l'eau par rapport à l'état cru ont été constatées (Figure 20).

Les résultats obtenus indiquent que la cuisson dans l'eau a un impact négatif sur la teneur en polyphénols totaux de la carotte, du chou et de l'épinard et un impact positif sur la teneur en polyphénols totaux de la pomme de terre. Les variations dans les pourcentages d'augmentation ou de diminution varient d'un légume à un autre et peuvent s'expliquer par la nature et la teneur des différents composés phénoliques propres à chaque légume.

La perte par éclatement cellulaire facilite la libération des polyphénols totaux et autres substances dans l'eau de cuisson ce qui contribuerait à la diminution des teneurs des légumes bouillis (Barkat et Kadri, 2011).

2.2.2.2. Teneurs en polyphénols totaux des légumes stockés et cuits dans l'eau

D'après les résultats consignés dans le tableau 21, nous remarquons que toutes les valeurs de composés phénoliques exprimées en mg EAG/100g oscillent entre 27,10±0,40 et 27,00±0,14 pour les échantillons de pomme de terre P.T.E, entre 05,10±0,23 et 04,60±0,45 pour les échantillons de carotte Ca.E, entre 79,80±0,88 et 40,00±0,59 pour les échantillons du chou Ch. E et entre 14,30±0,33 et 0,81±0,27 pour ceux de l'épinard Ep.E.

En se référant aux résultats de la mesure des teneurs en composés phénoliques des légumes P.T₀.E, Ca₀.E, Ch₀.E et Ep₀.E (Témoins), l'analyse de la variance indique des différences significatives ($p \leq 0,05$) entre les échantillons de chou Ch.E et d'épinard Ep.E dès le premier jour de stockage (tableau 21).

Tableau 21. Analyse des différences par le test de Dunnett entre les échantillons des légumes cuits dans l'eau pour la teneur en composés phénoliques en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).

Légumes	Durée du stockage (jours)					
	0 (témoin)	1	2	3	4	5
P.T.E	27,10±0,40	26,91±0,22	26,70±0,15	26,80±0,25	27,33±0,39	27,00±0,14
Ca.E	05,10 ±0,23	05,90±0,65	04,50±0,30	04,80±0,30	05,10±0,33	04,60±0,45
Ch.E	79,80±0,88 ^b	56,80±0,70 ^a	52,70±0,67 ^a	42,70±0,69 ^a	40,60±0,39 ^a	40,00±0,59 ^a
Ep.E	14,30±0,33 ^b	11,23±0,17 ^a	08,90±0,57 ^a	04,80±0,39 ^a	03,30±0,50 ^a	00,81±0,27 ^a

Moyenne ± écart type ; $n = 3$. Les moyennes de la même ligne ayant des exposants différents sont significativement différentes du témoin à $P \leq 0,05$.

Pour la pomme de terre P.T.E, la teneur en polyphénols totaux augmente constamment après une décroissance initiale. En fin du stockage, cette concentration a tendance à diminuer pour atteindre des valeurs proches des valeurs initiales (figure 24).

La teneur en polyphénols totaux de la carotte Ca.E augmente initialement avant de subir une décroissance à la fin du stockage. Sa concentration finale est cependant inférieure aux valeurs initiales mesurées.

Les teneurs en polyphénols totaux du chou Ch.E et d'épinard Ep.E diminuent au cours du stockage pour atteindre des valeurs finales inférieures aux valeurs initiales.

2.2.2.3. Corrélations entre les teneurs en polyphénols totaux des légumes stockés et cuits dans l'eau et la durée du stockage

Les résultats présentés dans le tableau 22, indiquent une corrélation négativement significative entre la teneur en polyphénols totaux des légumes stockés et cuits dans l'eau et la durée de stockage. Elle est de -0,90 pour le chou Ch.E et -0,99 pour l'épinard Ep.C ; ce qui signifie que plus la durée de stockage augmente plus la teneur en composés phénoliques totaux diminue. Ce constat peut s'expliquer par l'effet combiné des deux facteurs temps et température de cuisson.

Tableau 22. Matrice de corrélations (*Pearson*) entre la teneur en composés phénoliques totaux et la durée du stockage des légumes cuits dans l'eau.

Variables		Durée du stockage (jours)			
		P.T.E	Ca.E	Ch.E	Ep.E
Teneur en polyphénols totaux mg EAG/100g	P.T.E	0,14			
	Ca.E		-0,39		
	Ch.E			-0,90*	
	Ep.E				-0,99*

* : corrélation significative

3. Activité antioxydante des légumes

3.1. Légumes crus

3.1.1. Activité antioxydante des légumes crus

Les résultats exprimés en tant que pourcentage de l'activité anti-radicalaire (Figure 21), révèlent que tous les extraits des légumes sont des antiradicalaires. Le chou Ch₀.C a présenté l'activité anti-radicalaire la plus élevée (39,27± 0,98%), suivie par l'épinard Ep₀.C (21,54±0,97%), la pomme de terre P.T₀.C (18,55±1,30%) et en dernier la carotte Ca₀.C (13,33±1,03%).

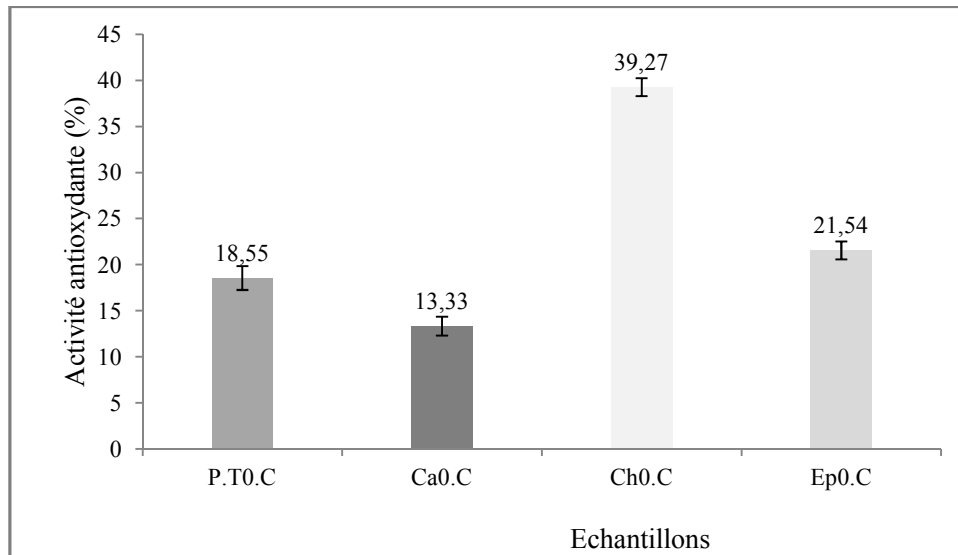


Figure 21. Activité antioxydante des extraits de légumes crus

Les valeurs obtenues sont différentes à celles rapportées par Faller et Fialho (2009) qui ont trouvé des valeurs de 11,2% et 13,00% dans la pomme de terre successivement pour les cultures organique et conventionnelle. Ces valeurs semblent être inférieures à nos résultats.

Dans le cas de la carotte, la valeur de l'activité antioxydante mesurée est de $17,33 \pm 0,011\%$. Ce résultat est inférieur à ceux rapportés par Faller et Fialho (2009) qui ont enregistré des valeurs de 40,4% et 48,3%.

Quant au chou, la valeur de l'activité antioxydante mesurée est de $39,27 \pm 0,007\%$. De même, ce résultat reste inférieur à ceux rapportés par Faller et Fialho (2009) qui ont trouvé des valeurs de 41,0% et 57,2%.

Pour l'épinard, la valeur de l'activité antioxydante mesurée est de $21,54 \pm 0,012\%$. Ce résultat est inférieur à ceux rapportés par Faller et Fialho (2009) qui ont obtenus des valeurs comprises entre $83 \pm 1\%$ et $39 \pm 4\%$.

En se référant à la bibliographie et dans l'objectif de comparer les pourcentages de l'activité antiradicalaire obtenus par rapport à ceux cités dans la littérature, plusieurs facteurs doivent être pris en considération et qui peuvent influencer l'activité antiradicalaire. Il existe des facteurs climatiques, environnementaux (Markus *et al.*, 1999), génétiques (Haward *et al.*, 2003), état de maturation (Navarro *et al.*, 2006) et la différence entre les méthodes d'extraction (Tabart *et al.*, 2007).

3.1.2. Activité antioxydante totale des légumes crus stockés

Les valeurs de l'activité antiradicalaire des quatre espèces de légumes crus, mesurées après les différentes périodes de stockage et exprimées (en %) sont présentées dans le tableau 19. Ces valeurs sont situées dans les intervalles suivants : 18,55±1,30-17,13±1,80, 13,33±1,03-17,45±0,25, 39,27±0,98-33,97±2,39 et 21,54±0,97-11,45±2,15 respectivement pour les échantillons de pomme de terre P.T.C, de carotte Ca.C, de chou Ch.C et d'épinard Ep.C.

Les pourcentages d'augmentation ou de perte sont variables selon l'espèce de légume considérée. Elles sont de l'ordre de +1,42%, -2,12%, -5,3% et -10,09% successivement pour les échantillons de pomme de terre P.T.C, de carotte Ca.C, de chou Ch.C et d'épinard Ep.C.

En se référant aux résultats de la mesure des valeurs de l'activité antioxydante des légumes crus P.T₀.C, Ca₀.C, Ch₀.C et Ep₀.C (Témoins), l'analyse de la variance indique des différences significatives ($p \leq 0,05$) entre les échantillons de l'épinard Ep.C dès le premier jour du stockage et à partir du troisième jour entre les échantillons du chou Ch.C. En revanche, aucune différence significative n'a été observée entre les échantillons de pomme de terre P.T.C et de carotte Ca.C (Tableau 23).

Tableau 23. Analyse des différences par le test de *Dunnnett* entre les échantillons des légumes crus pour le pourcentage de l'activité antiradicalaire en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).

Légumes	Durée du stockage (jours)					
	0	1	2	3	4	5
P.T.C	18,55±1,30	19,17±1,55	18,78±1,83	18,26±1,97	18,56±1,66	17,13±1,80
Ca.C	17,33±1,03	17,03±0,83	16,61±1,71	17,24±0,45	17,00±2,05	17,45±0,25
Ch.C	39,27±0,98 ^a	38,05±1,07 ^a	36,11±1,38 ^a	35,18±0,85 ^b	35,01±1,49 ^b	33,97±2,39 ^b
Ep.C	21,54±0,97 ^a	17,90±1,20 ^b	17,58±1,15 ^b	15,49±0,66 ^b	13,01±1,03 ^b	11,45±2,15 ^b

Moyenne ± écart type ; n = 3. Les moyennes de la même ligne ayant des exposants différents sont significativement différentes du témoin à $P \leq 0,05$.

Les travaux de Kevers *et al.*, (2007), indiquent que chez la plupart des légumes, le stockage n'a pas d'effet négatif sur la capacité antioxydante. Ces auteurs ont été effectués un stockage de certains fruits et légumes à 4°C et à température ambiante jusqu'au début de la

dégradation visuelle. Dans certains cas, une augmentation de la capacité antioxydante a été observée dans les jours qui suivent leur achat. Des observations similaires ont déjà été obtenues dans certains fruits (Ayala-Zavala *et al.*, 2004 ; Gil *et al.*, 2006) et légumes (Jimenez *et al.*, 2003) conservés à température ambiante ou au réfrigérateur.

La capacité antioxydante a été diminuée au cours du stockage des Ch.C et Ep.C. Ce résultat est en accord avec ceux cités par Kevers *et al.*, (2007). Cependant, ces auteurs ont rapporté une diminution de plus de 50% de l'activité antioxydante dans les épinards et le brocoli qui appartient à la même espèce que le chou. Ces valeurs sont plus élevées par rapport à nos résultats. Ceci peut s'expliquer par la différence de la durée de stockage utilisée (23 jours chez ces auteurs et 5 jours pour notre étude). Serrano *et al.*, (2006), ont également montré une diminution de la capacité antioxydante dans le brocoli au cours de stockage.

3.1.3. Corrélations entre l'activité antioxydante et la durée du stockage des légumes crus

Les résultats présentés dans le tableau 24, indiquent une corrélation négativement significative entre l'activité antioxydante des Ch.C ($r = -0,817$) et Ep.C ($r = -0,939$) et la durée de stockage, ce qui signifie que plus la durée de stockage est élevée plus l'activité antioxydante diminue. Cela peut s'expliquer probablement par la diminution du contenu phénolique total de ces légumes Kevers *et al.*, (2007).

Tableau 24. Matrice de corrélation (*Pearson*) entre l'activité antiradicalaire et la durée du stockage des légumes crus.

Variables		Durée du stockage (jours)			
		P.T.C	Ca.C	Ch.C	Ep.C
Activité antiradicalaire (%)	P.T.C	-0,310			
	Ca.C		0,053		
	Ch.C			-0,817*	
	Ep.C				-0,939*

* : corrélation significative

3.2. Activité antioxydante des légumes cuits

3.2.1. Activité antioxydante des légumes cuits à la vapeur (après 06 h de la récolte)

Les valeurs de l'activité antioxydante varient entre 11,33% et 44,56%. Elles sont équivalentes à $11,33 \pm 0,95\%$, $24,13 \pm 1,02\%$, $26,41 \pm 3,10\%$ et $44,56 \pm 2,66\%$ respectivement pour la carotte, la pomme de terre, l'épinard et le chou (Figure 22).

Les résultats obtenus indiquent que les pourcentages de l'activité antioxydante sont affectés d'une façon variable selon le légume considéré (Figure 22). Une augmentation est constatée dans le cas de la pomme de terre, du chou et de l'épinard et une diminution dans le cas de la carotte par rapport à l'état cru a été constatée.

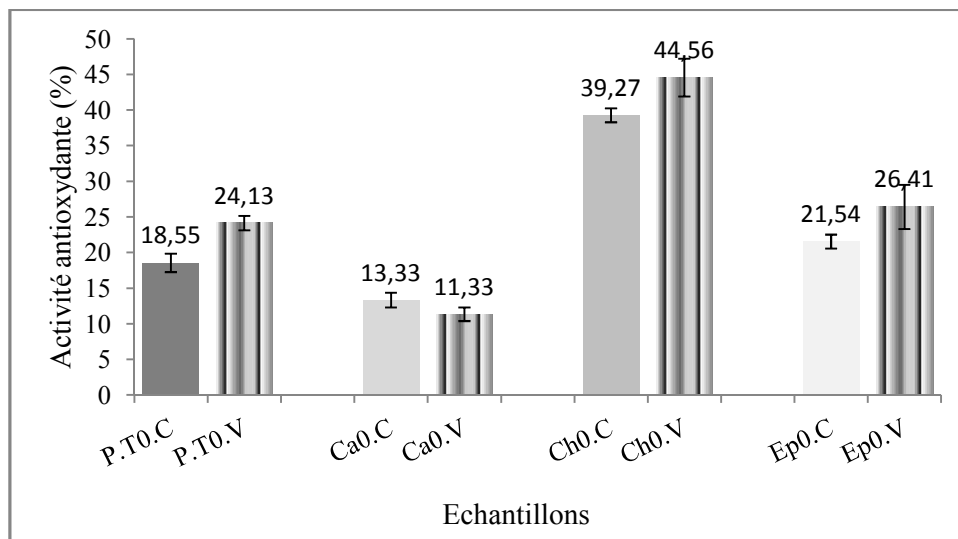


Figure 22. Activité antioxydante totale des légumes étudiés.

Les pourcentages de l'activité antioxydante des pommes de terre P.T₀.C, carotte Ca₀.C, chou Ch₀.C et épinard Ep₀.C sont respectivement de $18,55 \pm 1,30\%$, $13,33 \pm 1,03\%$, $39,27 \pm 0,98\%$ et $21,54 \pm 0,97\%$. Une augmentation de l'activité antioxydante a été observée dans le cas de la cuisson à la vapeur des pommes de terre P.T₀.V (+1,42%), du chou Ch₀.V (+5,30%) et de l'épinard Ep₀.V (10,09%) et une diminution dans le cas de la cuisson de la carotte Ca₀.V (-5,29%) (Figure 22).

Les résultats obtenus sont en accord à ceux rapportés par Faller et Fialho (2009). Ces auteurs ont rapporté une diminution de l'activité antioxydante totale dans le cas de la carotte (-31,20%) et une augmentation dans le cas de la pomme de terre (21,20%) après cuisson à la vapeur.

Dans le cas du chou, les mêmes auteurs rapportent une diminution de l'activité antioxydante (-41,22%) après cuisson à la vapeur ce qui est différent à nos résultats.

Quant à l'épinard, Turkman *et al.*, (2005) ont rapporté une diminution de l'activité antioxydante (- 30%) après cuisson à la vapeur ce qui est différent à nos résultats.

L'augmentation de l'activité antioxydante de la pomme de terre P.T.C, du chou Ch.C et de l'épinard Ep.C peut s'expliquer par l'augmentation de leur teneur en polyphénols totaux. Des études très récentes ont montré que plus le contenu en polyphénols dans les légumes était important, plus grande était la capacité antioxydante totale de ces aliments. Dans le cas de la carotte, l'activité antioxydante diminue après cuisson à la vapeur malgré leur teneur en polyphénols élevé. En se référant à la bibliographie, la même constatation a été faite dans le cas de l'oginon.

Selon Makris et Rossiter (2001), la cuisson affecte non seulement la teneur en polyphénols totaux des légumes mais, aussi la composition phénolique. La modification de la qualité des polyphénols de la carotte entraîne une diminution de l'activité antioxydante.

3.2.2. Activité antioxydante totale des légumes stockés et cuits à la vapeur

Les valeurs de l'activité antiradicalaire des quatre espèces de légumes cuits à la vapeur mesurées après différentes périodes de stockage et exprimées en % sont présentées dans le tableau 20. Ces valeurs sont situées dans les intervalles suivants : 24,13±1,02-22,41±1,42 11,33±0,95-11,11±0,85, 44,56±2,66-37,95±2,25 et 26,41±3,10-15,41±2,14 respectivement pour les échantillons de pomme de terre P.T.V, carotte Ca.V, Chou Ch.V et l'épinard Ep.V.

En se référant aux résultats de la mesure des pourcentages de l'activité antiradicalaire des légumes P.T₀.V, Ca₀.V, Ch₀.V et Ep₀.V, l'analyse de la variance indique des différences significatives ($p \leq 0,05$) entre les échantillons d'épinard Ep.V dès le premier jour du stockage et à partir du quatrième jour entre les échantillons du chou Ch.V. Par contre, aucune différence significative n'a été observée entre les échantillons de pomme de terre P.T.V et de carotte Ca.V (Tableau 25).

Tableau 25. Analyse des différences par le test de *Dunnnett* entre les échantillons des légumes cuits à la vapeur pour le pourcentage de l'activité antiradicalaire en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).

Légumes	Durée du stockage (jours)					
	0	1	2	3	4	5
P.T.V	24,13±1,02	24,55±1,57	23,80±1,99	23,77±1,90	24,88±1,62	22,41±1,42
Ca.V	11,33±0,95	11,00±1,01	09,55±0,65	10,85±0,99	09,50±1,00	11,11±0,85
Ch.V	44,56±2,66 ^a	44,11±1,28 ^a	42,96±1,50 ^a	42,38±1,11 ^a	40,21±1,25 ^b	37,95±2,25 ^b
Ep.V	26,41±3,10 ^a	20,55±2,70 ^b	21,05±1,36 ^b	17,11±1,83 ^b	14,57±2,84 ^b	15,41±2,14 ^b

Moyenne ± écart type ; $n = 3$. Les moyennes de la même ligne ayant des exposants différents sont significativement différentes du témoin à $P \leq 0,05$.

3.2.3. Corrélation entre l'activité antioxydante et la durée du stockage des légumes stockés et cuits à la vapeur

Les résultats présentés dans le tableau 26, indiquent une corrélation négativement significative entre l'activité antioxydante et la durée de stockage du chou Ch.V ($r = -0,814$) et de l'épinard Ep.V ($r = -0,836$), ce qui signifie que plus la durée de stockage augmente plus l'activité antioxydante diminue. Dans le cas de la pomme de terre P.T.V et de la carotte Ca.V, la durée du stockage n'a pas un effet significatif sur l'activité antioxydante.

Tableau 26. Matrice de corrélation (*Pearson*) entre l'activité antiradicalaire et la durée du stockage des légumes cuits à la vapeur.

Variables		Durée du stockage (jours)			
		P.T.V	Ca.V	Ch.V	Ep.V
Activité antiradicalaire (%)	P.T.V	-0,241			
	Ca.V		-0,199		
	Ch.V			-0,814*	
	Ep.V				-0,836*

* : corrélation significative

3.3. Activité antioxydante des légumes cuits dans l'eau (après 06h de la récolte)

Les valeurs de l'activité antioxydante varient entre 05,01% et 24,96%. Elles sont équivalentes à $21,40 \pm 1,89\%$, $05,01 \pm 1,24\%$, $24,96 \pm 1,14\%$ et $11,75 \pm 1,13\%$ respectivement pour les échantillons cuits dans l'eau des pomme de terre P.T₀.E, carotte Ca₀.E, chou Ch₀.E et épinard Ep₀.E (Figure 23).

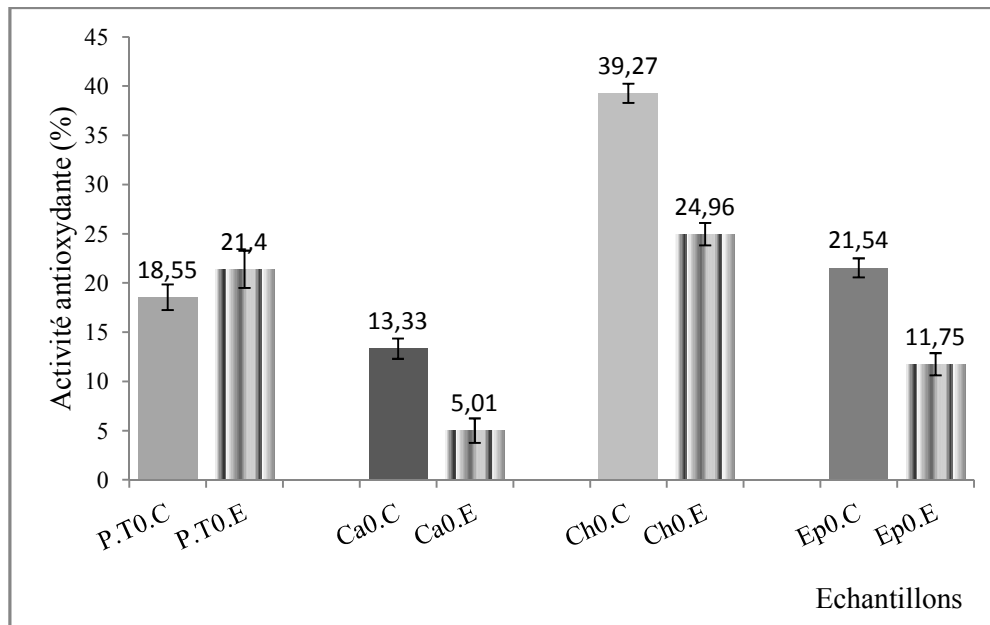


Figure 23. Activité antioxydante totale des légumes crus et cuits dans l'eau.

En se référant à l'état cru, l'activité antioxydante a été augmentée lors de la cuisson dans l'eau de la pomme de terre (+2,85%). Par contre, les autres légumes ont enregistré des pertes de l'ordre de 8,32%, 14,31% et 9,79% respectivement pour la carotte, le chou et l'épinard (Figure 23).

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Faller et Fialho (2009) et Turkman *et al.*, (2005, qui ont montré une diminution de l'activité antioxydante totale dans les carottes Ca₀.E (-34,8%), les choux Ch₀.E (-14,1%) et les épinards Ep₀.E (> 50%), et une augmentation dans le cas des pommes de terre P.T₀.E (+15,10%) après cuisson dans l'eau.

La diminution de l'activité antioxydante totale après cuisson dans l'eau des carottes, choux et épinards peut s'expliquer par la diminution de leur contenu phénolique total (Kevers *et al.*, 2007).

Dans le cas de la pomme de terre, l'augmentation de l'activité antioxydante de peut s'interpréter de deux manières soit le chauffage entraîne la libération des composés phénoliques initialement associés aux parois des cellules (Mehinagic *et al.*, 2011). Soit, par la formation de nouvelles substances chimiques issues de la réaction de Maillard. Ces substances peuvent augmenter le pourcentage de l'activité antioxydante de la pomme de terre (Manzocco *et al.*, 2001).

3.3.1. Activité antioxydante totale des légumes stockés et cuits dans l'eau

En se référant aux résultats de la mesure des valeurs de l'activité antiradicalaire des légumes cuits dans l'eau mesurées après 06 heures de la récolte (cas des témoins : P.T₀.E, Ca₀.E, Ch₀.E et Ep₀.E), l'analyse de la variance indique des différences significatives ($p \leq 0,05$) entre les échantillons d'épinard Ep.E et du chou Ch.E dès le premier jour du stockage. Par contre, aucune différence significative n'a été observée entre les échantillons de carotte Ca.E et de pomme de terre P.T.E (Tableau 27).

Tableau 27. Analyse des différences par le test de *Dunnnett* entre les échantillons des légumes cuits dans l'eau pour le pourcentage de l'activité antiradicalaire en fonction de la durée du stockage ($p \leq 0,05$).

Légumes	Durée du stockage (jours)					
	0	1	2	3	4	5
P.T.E	21,40±1,89	20,87±1,01	21,33±1,70	19,13±2,07	20,51±1,82	19,92±0,51
Ca.E	05,01±1,24	03,20±1,04	05,76±2,00	02,45±1,35	04,36±2,75	05,12±1,20
Ch.E	24,96±1,14 ^b	19,48±2,18 ^a	14,28±0,98 ^a	11,22±2,79 ^a	10,14±1,97 ^a	08,32±2,06 ^a
Ep.E	11,75±1,13 ^b	07,27±1,28 ^a	06,07±2,16 ^a	04,11±1,58 ^a	01,76±1,76 ^a	01,01±1,17 ^a

Moyenne ± écart type ; n = 3. Les moyennes de la même ligne ayant des exposants différents sont significativement différentes du témoin à $P \leq 0,05$.

3.3.2. Corrélation entre l'activité antioxydante et la durée du stockage des légumes stockés et cuits dans l'eau

Les résultats enregistrés dans le tableau 28 montrent deux corrélations négativement significatives entre la durée de stockage et l'activité antioxydante des choux et épinards. Ce qui signifie que la durée de stockage a un impact négatif sur l'activité antioxydante des légumes feuilles cuits dans l'eau. En effet cette différence peut être due à l'effet combiné du temps et de température.

Tableau 28. Matrice de corrélations (*Pearson*) entre l'activité antiradicalaire et la durée du stockage des légumes cuits dans l'eau.

Variables		Durée du stockage (jours)			
		P.T.E	Ca.E	Ch.E	Ep.E
Activité antiradicalaire (%)	P.T.E	-0,302			
	Ca.E		0,024		
	Ch.E			-0,926*	
	Ep.E				-0,919*

* : *corrélation significative*

Conclusion et
perspectives

Certains légumes ne sont consommés que quelques jours après leur cueillette, ou comme plusieurs aliments subissent la cuisson afin d'être consommés. L'effet du stockage et de la cuisson ainsi que la comparaison entre les différents modes de cuisson sur l'activité antioxydante et la teneur polyphénolique des légumes n'ont pas été largement étudiés.

C'est dans ce contexte que cette étude a été conduite, elle a pour but de connaître l'impact de deux modes de cuisson, le premier à la vapeur d'eau et le deuxième par ébullition ou immersion dans l'eau, sur la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante totale des quatre espèces de légumes : la pomme de terre, la carotte, le chou et l'épinard en tenant compte de l'effet de la durée du stockage.

La première analyse indispensable était l'évaluation du taux d'humidité des légumes, elle nous a permis de révéler des valeurs élevées dans les échantillons les plus frais et/ou après cuisson.

Les résultats d'extraction et du dosage des polyphénols totaux ont montré que leur teneur n'est pas stable, et varie beaucoup selon le légume, elle a été plus importante pour le chou et l'épinard que pour la pomme de terre et la carotte. Quant à la durée du stockage, les teneurs en polyphénols totaux varient selon le légume considéré et leur degré de fraîcheur. Elle a un impact positif dans le cas de la carotte et un impact négatif dans le cas du chou, de l'épinard et de la pomme de terre.

Le traitement thermique semble avoir un impact positif dans le cas de cuisson par la vapeur et un impact négatif dans le cas de cuisson dans l'eau bouillante pour la carotte, le chou et l'épinard. Par contre, il a un impact positif dans les deux modes de cuisson de la pomme de terre. L'augmentation ou la perte varie en fonction du légume considéré, du mode de cuisson et de la durée du stockage.

Quant à l'activité antioxydante, le traitement thermique semble avoir un impact positif dans le cas de cuisson par la vapeur et un impact négatif dans le cas de cuisson dans l'eau bouillante pour le chou et l'épinard. Par contre, il a un impact positif dans les deux modes de cuisson de la pomme de terre et un impact négatif dans les deux modes de cuisson de la carotte.

A l'essor de la présente étude, il serait intéressant de mener une étude plus approfondie afin de quantifier et de caractériser la nature des composés polyphénoliques existant dans les différentes couches histologiques des légumes et dans l'eau qui a servi à la cuisson et d'évaluer le pouvoir antioxydant de chaque composé phénolique. De plus, l'effet des interactions entre ces constituants eux-mêmes et entre ces constituants et la matrice végétale est très peu exploré. Par exemple, l'oxydation des caroténoïdes est-elle modifiée en présence de polyphénols ? La destruction de cette matrice par des traitements physiques ou thermiques permet-elle une meilleure diffusion des micronutriments ou au contraire conduit-elle à leur insolubilisation sous forme de complexes néoformés ? Une approche plus intégrative serait nécessaire pour comprendre l'impact final en termes de (bio) disponibilité des micronutriments.

Références
bibliographiques

- Arapitsas P. and Turner C., 2008. Pressurized solvent extraction and monolithic column-HPLC/DAD analysis of anthocyanins in red cabbage. *Talanta*, 74(5):1218-1223.
- Ashrae, 1997. Thermal properties of foods. *In Handbook of fundamentals*. American Society for Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers. Atlanta, Ga. USA 31.1-31.22.
- Audigie C-L., Figarella J., Zonszain F. (1978). Manipulation biochimique. Doin (Ed). Paris, 274 p.
- Ayala-Zavala J-F., Wang S-Y., Wang C-Y. and Gonzalez-Aguilar G-A., 2004. Effect of storage temperature on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 37: 687–695.
- Bahorun T., Gressier B., Trotin F., Brunet C., Dine T., Luyckx M., Vasseur J., Cazin M., Cazin J-C. and Pinkas M., 1996. Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittelforschung. Drug Research* 46 II (11): 1086-1089.
- Bahorun T., Trotin F., Pommery J., Vasseur J. and Pinkas M., 1994. Antioxidant activities of *Crataegus monogyna* extracts. *Planta Med*, 60: 323-328.
- Barkat M., Kadri F., 2011. Impact de deux modes de cuisson sur la teneur en polyphénols solubles de six légumes. *Revue de génie industriel*, 6: 41-4541.
- Bate-Smith E., 1973. Tannins of herbaceous leguminosae. *Phytochemistry*, 12: 1809 -1812.
- Baucher M., Monties B., Van Montagu M., and Boerjan W., 1998. Crit. Rev. *Plant Sci*, 17: 125–197.
- Beckman C-H., 2000. Physiol. Mol. *Plant Pathol*, 57: 101–110.
- Bénard K., 2009. Etude de l'impact de la nutrition azotée et des conditions de culture sur le contenu en polyphénols chez la tomate. Thèse de doctorat. Nancy Université-Inra. 260p.
- Bengoechea M-L., Sancho A-I., Bartolome B., Estrella I., Gomez Cordoves C. et Hernandez T., 1997. *J. Agric. Food Chem.* (45) : 4071–4075.
- Bergquist S-A., Gertsson U-E., Knuthsen P. and Olsson M-E., 2005. *J. Agric. Food Chem* 53: 9454–9464.

- Beta T., 2003. Anti-nutrients or anti-oxidants in cereal grains: an evaluation of the composition and functionality of phenolic compounds with special reference to sorghum and barley. Conference proceedings of the AFRIPRO Workshop on the proteins of sorghum and millets: enhancing nutritional and functional properties for Africa, 2-4 April, Pretoria, South Africa, 11: 1-9.
- Bimbenet J-J., Duquenoy A. et Trystram G., 2002. Génie des procédés alimentaire. Des bases aux applications, Dunod, Paris.
- biological systems. *Free Radical Biology and Medicine*, 18: 125-126.
- Blois M-S., 1958. Antioxidant determinations by the use of stable free radical. *Nature*, 181: 1199-1200.
- Boizot N. and Charpentier J-P., 2006. Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre foustier. Le cahier des Techniques de l'Inra, pp 79-82.
- Brand-Williams W., Cuvelier M-E. and Berset C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 28: 25-30.
- Brat P., Georgé S., Bellamy A., Du Chaffaut L., Scalbert A. and Mennen L., 2006. Daily polyphenol intake in France from fruit and vegetables. *J. Nutr*, 136 (9):2368-73.
- Brody A-L., 1989. Introduction *In* Brody A-L. Controlled, modified atmosphere, vacuum packaging of foods. USA: *Food and Nutrition Press*, 1-16.
- Brownlee H-E., Hedger J. and Scott I-M., 1992. Effects of a range of procyanidins on the cocoa pathogen *Crinipallis perniciosa*. *Phys. Mol. Plant Pathol*, 40: 227 - 232.
- Bunea A., Andjelkovic M., Socaciu C., Bobis O., Neacsu M., Verhe R. and Camp J-V., 2008. Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach (*Spinacia oleracea L.*). *Food Chemistry*, 108: 649-656.
- Burden J. et Wills R-B-H., 1992. Prévention des pertes après récolte: Fruits, légumes, racines et tubercules Collection FAO ; formation N° 17/2 Rome.
- C.D.A.E.Q, 2008. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Détermination des composés phénoliques : dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse après dérivation avec l'anhydride acétique. Rév. 2, 20 p.

- Cartea M E., Francisco M., Soengas P. and Velasco P., 2011. Phenolic Compounds in *Brassica* Vegetables, 16: 251-280.
- Causeret J., 1986. Caractéristiques nutritionnelles et bon usage de nos aliments. In : L'alimentation humaine. Evolution et tendances. Documents Inra P 60, Dijon, 1 – 15
- Charles M. et Benbrook P-D., 2005. Accroître la teneur en antioxydants des aliments grâce à l'agriculture et à la transformation alimentaire biologiques. Rapport sur l'état des connaissances scientifiques. *The Organic Center*:
- Chaux C. et Foury C., 1994. Productions légumières-Tome 2 : Légumes feuilles, tiges, fleurs, racines, bulbes. Editions Tec et Doc. Paris, 639.
- Cheftel J-C. et Cheftel H., 1976. Introducción a la Biología y Tecnología de Alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza.
- Ciéslik E., Greda A. and Adamus W., 2006. Contents of polyphenols in fruit and vegetables. *Food Chem*, 94(1): 135-42.
- Collin S. et Crouzet J., 2011. Polyphénols et procédés. Transformation des polyphénols au travers des procédés appliqués à l'agro-alimentaire, *Tec et Doc*, ISBN, 978-2-7430-1338-7.
- Combris P., Amiot-Carlin M-J. et Caillavet F., 2007. Les fruits et légumes dans l'alimentation : Enjeux et déterminants de la consommation. Rapport de l'expertise scientifique collective menée par l'Inra à la demande du ministère de l'Agriculture et de la Pêche. INRA. Paris, 374p.
- Combris P., Amiot-Carlin M-J., Caillavet F., Causse M., Dallongeville J., Padilla M., Renard C., Soler L-G., 2008. Les fruits et légumes dans l'alimentation. Enjeux et déterminants de la consommation. Quae, Inra, 128 p.
- Courtois B., Frouin J., Greco R., Bruschi G., Droc G., Hamelin C., Ruiz M., 2012. Genetic diversity and population in a European collection of rice. *Crop Science* 52:1663-75.
- Cuq L. et Guilbert S., 1992. Cuisson et conservation des aliments, dans *Alimentation et nutrition humaines*, Dupin H., Cuq J.L., Malewiak M.I., Leynaud-Rouaud C. et Berthier A.M., ESF, Paris, 1182-1134.
- Dauté C-M., Barrot L. et Chevalier P., 2001. Produits végétaux riches en carotènes. Fiches descriptives et pratiques à l'usage des pays Sahéliens. IRD : 30p.

- Deshpandes S-S. et Cheryan M., 1985. Evaluation of vanillin assay for tannin of dry beans. *Journal of Food Science*, 50: 905-910.
- Dicko M-H., Gruppen H., Voragen A-G-J. et Van Berkel W-J-H., 2006. Biochemical characterization of major sorghum grain peroxidase. *J. FEBS*, 273: 2293-2307.
- Dicoteau, D.R. 2000. Vegetable Crops. 221-237 Prentice Hall.
- Didry N., Pinkas M. et Torck M., 1982. La composition chimique et l'activité antibactérienne des feuilles de diverses espèces de grindelia. *Pl. Med. Phytother*, XVI, 7 - 15.
- Diogon T., 2002. Isolement et caractérisation de messagers codant pour des peroxydases chez *Spinacia oleracea*. Thèse de Doctorat en science, 167p.
- Doré C. et Varoquaux F., 2006. La carotte (183-198). Dans Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Collection savoir-faire, *Inra*. 812p.
- Doyon G, 1990. La conservation d'un aliment : les mécanismes de dégradation et le choix d'un emballage. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* 23 (4): 165-170.
- Dupin H., Cuq J-L., 1992. Alimentation et nutrition humaine, ESF Paris, 1533.
- Dykes L. et Rooney L-W., 2006. Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J. Cereal Sci.*, 44: 236-251.
- Edenharder R., Keller G., Platt K-L. and Unger K-K., *J. Agric, Food Chem*, 49: 2767–2773.
- Edwards M., 1999. Vegetables and fruits, in Food texture: Measurement and perception, *Aspen Publishers, Gaithersburg* 9: 259-281.
- Eichhorn S. et Winterhalter P., 2005. Anthocyanins from pigmented potato (*Solanum tuberosum L.*) Varieties. *Food Research International* 38: 943–948.
- Encyclopédie de la cuisine, 1999. Les éditions Québec Amérique inc.
- Erlund I., 2004. Review of the flavonoids quercetin, hesperetin, and naringenin. Dietary sources, bioactivities, bioavailability and epidemiology. *Nutr Res* 24: 851-74.
- Fachmann W. et Kraut H., 1995. The composition of foods. Répertoire Général des aliments. *Tec et Doc. Inra, Ciquel-REGAL*, 26 : 897.

- Falleh H., Ksouri R., Chaieb K., Karray-Bouraoui N., Trabelsi N., Boulaaba M., Abdelly C., 2008. Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities . *C. R. Biologies*, 331: 372-379.
- Faller A.L.K. et Fialho E., 2009. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Research International* 42: 210–215.
- FAO, 1992. Prévention des pertes après récolte: fruits, légumes, racines et tubercules (Collection FAO: Formation, n° 17/2) ISBN 92-5-202766-1.
- FAO, 2006. STAT data. <http://faostat.fao.org/>
- FAO., 2004. Ethique et intensification agricole durable. Collection FAO : Questions d'éthique, n° 3, Rome, 3-5.
- FAO., 2008. Eclairage sur un trésor enfoui. Année internationale de la pomme de terre. Etude FAO, Rome, 2008.
- Favier J-C., Ireland Ripet J., Toque C. et Feinberg M., 1995. Répertoire général des aliments. Table de composition Inra, CNEVA, Ciquel *Tec et Doc*. Paris, 897p.
- Fernández de Simón B., Pérez-Ilzarbe J., Hernández T., Gómez- Cordovés C. and Estrella I., 1992. Importance of phenolic compounds for the characterization of fruit juices *J. Agric. Food Sci*, 40: 1531–1535.
- Fleuriet A., Jay-Allemand C., Macheix J-J., 2005. Composés phénoliques des végétaux, un exemple des métabolites secondaires d'importance économique. *Presses polytechniques et universitaires romandes*, 121-216.
- Friedman M., 1997. Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols. A review. *J. Agric. Food Chem*, 45: 1523–40.
- Garcia-Salas P., Morales-Soto A., Segura-Carretero A. et Fernández-Gutiérrez A., 2010. Phenolic-compound-extraction systems for fruit and Vegetable samples. *Molecules* 15: 8813-8826.
- Ghedira K., 2005. Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactiques et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie* 4: 162-169.
- Gil M-I., Aguayo E. et Kader A- A., 2006. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *J. Agric. Food Chem*, 54: 4284–4296.

- Gonçalves E.M., Pinheiro J., Abreu M., Brandao T-R-S., Silva C-L-M., 2010. Carrot (*Daucus carota L.*) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching *Journal of Food Engineering*, 97: 574–581.
- Grote M. et Fromme H-G., 1984. «Electron microscopic investigations of the cell structure in fresh and processed vegetables (carrots and green beanpods)», *Food Microstructure in*, 3 (1): 55- 64.
- Guerven E., 2006. Terre source de beauté, recettes traditionnelles et naturelles de monde éditions Médicis à Paris, 262 p.
- Hagerman A-E., 2002 (www.users.muohio.edu/hagermae).
- Halliwell B. et Gutteridge J-M-C., 1995. The definition and measurement of antioxidants in Halliwell B. et Gutteridge J-M-C., 1995. The definition and measurement of antioxidants in biological systems. *Free Radical Biology and Medicine*, 18: 125-126.
- Havsteen B-H., 2002. The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacol Therap*, 96: 67-202.
- Hawkes J-G., 1990. The potato, Evolution, biodiversity and genetic resources, *Belhaven Press*, London, 259 p.
- Hayase F. and Kato M., 1984. Antioxidant compounds of sweet potatoes. *J. Nutri. Sci. Vitaminol*, 30: 37 - 46.
- Hincks M-J. et Stanley D-W., 1986. Multiple mechanisms for bean hardening. *Journal of Food Technology*, 21: 731-750.
- Hotchkiss J-H., 1989. In: Food toxicology, a perspective on the relative risks. Taylor S L., Scanlan R-A., *Marcel Dekker, Inc., New York*, 57-100.
- Howard L-R., Clark J-R. and Brownmiller C., 2003. Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. *J. Sci. Food Agric*. 83: 1238–1247.
- Howard L-R., Pandjaitan N., Morelock T. and Gil M-I., 2002. *Agric J., Food Chem*, 50: 5891–5896.
- Howard L-R., Pandjaitan N., Morelock T. and Gil M-I., 2002. Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and growing season. *J. Agric Food Chem*, 50: 5891-5896.

- Huang D., Ou B., Prior R-L., 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 1841-1856.
- Hutchings G.B., 1999. Food color and appearance, Aspen Publishers, Inc., seconde édition.
- Jabbari A., Barzegar M., Erfani F. and Hassandokht M-R., 2007. Effect of Cultivar on Chemical Composition of Some Iranian Spinach. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10: 602-606.
- Jägerstad M-I. et Skog K-I., 2005 «Genotoxicity of heat-processed foods». *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 574 (1-2): 156-172.
- Jiménez C., Cossío B-R., Labella D. et Niell, F-X., 2003. The feasibility of industrial production of Spirulina in southern Spain. *Aquaculture*, 217: 179–190.
- Joyeux H., 1994. L'alimentation ou troisième médecine. 5^{ème} édition. Collection Ecologie humaine. Paris, 660p.
- Kadam S-S., Kute L-S., Lawande K-M. and Salunke D-K., 1982. Changes in chemical composition of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus L.*) during seed development, *J. Food Sci.*, 47: 2051-2053, 2057.
- Kader A-A., 1991. Postharvest Technology of Horticultural Crops. 246 edition. University of California. Division of Agriculture and Natural Ressources, 3311-296.
- Kaloustian J., Alhanout K., Amiot-Carlin M-J., Lairon D., Portugal H., and Nicolay A., 2008. Effect of water cooking on free phytosterol levels in beans and vegetables. *Food Chem*, 107:1379–1386.
- Karou D., Dicko M-H., Simpore J. and Traore A-S., 2005. Antioxidant and antibacterial activities of polyphenols from ethnomedicinal plants of Burkina Faso. *African Journal of Biotechnology*, 4: 823–828.
- Kevers C., Falkowski M., Tabart J., Defraigne J-O., Dommes J. and Pincemail J., 2007. Evolution of Antioxidant Capacity during Storage of Selected Fruits and Vegetables. *J. Agric. Food Chem.*, 55: 8596–8603.
- Kreofsky T., Schlager J-W., Vuk-Pavlovic Z., Abraham R-T. and Rohrbach M-S., 1992. Condensed tannin promotes the release of arachidonic acid from rabbit resident alveolar macrophages. *Am. J. Resir. Cell. Mol. Biol*, 7: 172 - 181.

- Kreutzmann S., Lars P. Christensen, Edelenbos M., 2008. Investigation of bitterness in carrots (*Daucus carota* L.) based on quantitative chemical and sensory analyses LWT, 41: 193–205.
- Kuskoski E-M., Asuero A-G., Morales M-T. and Fett R., 2006. Frutos tropicais silvestres polpas de frutas congeladas: Atividade antioxidante, polifenólica antocianinas. *Ciência Rural*, 36: 1283–1287.
- Lawrie R-A., 1979. *Meat Science*, Pergamon press, New York
- Lecomte M., 2013. Analyse des mécanismes de défense de la carotte (*Daucus carota*) face au champignon pathogène *Alternaria dauci*, responsable de l'alternariose ou brûlure foliaire. Université d'Angers, 222p.
- Lee K-W., Kim Y-J., Lee H-J. et Lee C-Y., 2003. Cocoa has more phenolic phytochemicals and a higher antioxidant capacity than teas and red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 7292-7295.
- Letang G. 1996. Fruits et légumes : Réfrigération et perte d'eau. *Revue Générale du Froid*, 968: 37-42.
- Lewis C-E., Walker J-R-L., Lancaster J.E. and Sutton K-H., 1998. Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes. I: coloured cultivars of *Solanum tuberosum* L. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77: 45-57.
- Leynaude-Rouaud C., Latour-Raulin A., Cuq J.-L. et Serville Y., 1992. Les légumes et les fruits, Dans *Alimentation et nutrition humaines*, Dupin H., Cuq J.-L., Malewiak M.-I., Leynaud-Rouaud C. et Berthier A.-M., (coordinateurs), *ESF*, Paris, 965-1026.
- Liégeois C., Mestidagh M. et Collin S., 2001. Assessment of the anti-and pro-oxydant activity of specialty malts, *Food Science and Technology*, 4, 75-76.
- Macheix J-J., Fleuriet A. et Christian J-A., 2005. Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Ed : ISBN Lausanne, 192p.
- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural), 2013. La culture de pomme de terre : production et possibilité pour la transformation. Institut Technique des cultures Maraîchères et Industrielles ITCMI. *Journée de la pomme de terre CCI DAHRA Mostaganem*.

- Madritch M-D., Jordan L-M., and Lindroth R-L., 2007. Interactive effects of condensed tannin and cellulose additions on soil respiration. *Revue canadienne de recherche forestière*, 37: 2063-2067.
- Makris D-P. et Rossiter J-T., 2001. Domestic processing of onion bulbs (*Allium cepa*) and asparagus spears (*Asparagus officinalis*): Effect on flavonol content and antioxidant status. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 3216–3222.
- Makris D-P. et Rossiter J-T., 2001. Domestic processing of onion bulbs (*Allium cepa*) and asparagus spears (*Asparagus officinalis*): Effect on flavonol content and antioxidant status. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 3216–3222.
- Manach C., Scalbert A., Morand C., Rémésy C., and Jimenez L., 2004. Polyphenols: Food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition* 79: 727–747.
- Manallah A., 2012. Activités antioxydante et anticoagulante des polyphénols de la pulpe d'olive *Olea europaea* L. Thèse de magister en Biochimie Appliquée. Université de Sétif, 287p.
- Manzocco L., Calligaris S., Masrocola D., Nicoli K-C. et Lerici C-R., 2001. Review on non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science Technology*, 11: 340–346.
- Markus F., Daood H-G., Kapitany J. et Biacs P-A., 1999. Change in the carotenoid and antioxidant content of spices red pepper (paprika) as a function of ripening and some technological factors. *J. Agric. Food Chem.*, 47: 100–107.
- Martin S. et Andriantsitohaina R., 2002. Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium Cellular. *Annales de cardiologie et d'angéiologie*, 51 : 304–315.
- Mattila P. and Hellström J., 2007. Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20: 152-160.
- Matz SA., 1989. Technology of the Materials of Baking. Texas: Pan-Tech International, 96: 142-144.
- Mazza G., 1995. Anthocyanins in grapes and grape products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 35: 341-371.

- Mehinagic E., Bourles E. et Jourjon F., 2011. Composés des fruits d'intérêt nutritionnel: impact des procédés de transformation sur les polyphénols. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 43 (6): 364–368.
- Mélo E-A., Vlag L., Mis M., 2006. Polyphenol, ascorbic acid and total carotenoid contents in common fruits and vegetables. *Braz J Food Technol*, 9(2): 89-94.
- Méziane D., 1991. Histoire de la pomme de terre. Diététique n° 25: 29p.
- Middleton E-Jr, Kandaswami C. and Theoharides T-C., 2000. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological Reviews*, 52 : 673-751.
- Mohdaly A-A-A., Hassanien M-F-R., Mahmoud A., Sarhan M-A. et Smetanska I., 2013. Phenolics extracted from potato, sugar beet, and sesame processing by-products *International Journal of Food Properties*, 16:1148–1168.
- Molyneux P., 2004. The use of stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 26 (2):211-219.
- Moulton D-G., 1982. Sensory basis and perception of flavours; Part A. Introduction, Morton I-D. et McLeod A-J., (coordinateurs), *Elsevier*:
- Muller S. et Kunzek H., 1998. Material properties of processed fruit and vegetables- I. Effect of extraction and thermal treatment on apple parenchyma. *Zeitschrift Fur Lebensmittel-Untersuchung Und-Forschung a-Food Research and Technology*, 206(4): 264-272.
- Munro D-B., et Small E. 1998. Les légumes du Canada. Presses scientifiques du CNRC, Ottawa (Ontario) Canada : 437p.
- Naczki M. et Shahidi F., 2006. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis / *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41: 1523–1542.
- Nanjo F., Goto K., Seto R., Suzuki M., Sakai M. and Hara Y., 1996. Scavenging effects of tea catechins and their derivatives on 1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl radical. *Free Radic. Biol. Med.*, 21: 895-902.
- Nara K., Miyoshi T., Honma T. and Koga H., 2006. Antioxidative activity of bound-form phenolics in potato peel. *Bioscience, Biotechnology, Biochemistry*, 70: 1489-1491.

- Navarro J-M., Flores P., Garrido C. and Martinez V., 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chem.*, 96: 66–73.
- Nebih Hadj-Sadok D., Belkahla H. et Al Aimouche Z., 2011. Variations temporelles et structure trophique des communautés de nématodes associées à la culture de chou (*Brassica oleracea*) en Algérie. *Nematol. Medit*, 39: 29-34.
- Nilsson J., Olsson K., Engqvist G., Ekvall J., Olsson M., Nyman M., and Akesson B., 2006. Variation in the content of glucosinolates, hydroxycinnamic acids, carotenoids, total antioxidant capacity and low-molecular-weight carbohydrates in *Brassica* vegetables. *J.Sci. Food Agric*, 86: 528-538.
- Nonnecke I-L. 1989. Vegetable production. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Okamura H., Mimura A., Yakou Y., Niwano M. and Takahara Y., 1993. Antioxidant activity of tannins and flavonoids in *Eucalyptus rostrata* *Phytochem*, 33: 557 – 561.
- Ollivier D., Boubault E., Pinate C., Souillol S., Guère M., Artaud J. 2004. Analyse de la fraction phénolique des huiles d'olive vierges
- Pandjaitan N., Howard L-R., Morelock T. and Gil M-I., 2005. Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and maturation. *J. Agric. Food Chem.* 53: 8618–8623.
- Park S., Arasu M-V., Lee M-K., Chun J-H., Seo J-M., Al-Dhabi N-A. and Kim S-J., 2014b. Analysis and metabolite profiling of glucosinolates, anthocyanins and free aminoacids in inbred lines of green and red cabbage (*Brassica oleracea L.*). *LWT – Food Sci. Technol.* 58 (1): 203–213.
- Park S., Arasu M-V., Lee M-K., Chun J-H., Seo J-M., Lee S-W., Al-Dhabi N-A., Kim S-J., 2014a. Quantification of glucosinolates, anthocyanins, free amino acids, and vitamin C in inbred lines of cabbage (*Brassica oleracea L.*). *Food Chem*, 145: 77–85.
- Parliament T-H., 1989. Thermal generation of aromas: an overview, *in* Thermal generation of aromas, McGorin R-J. and Ho C-T. (coordinateurs). *American Chemical Society*.
- Parr A-J. and Bolwell P-G., 2000. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 985-1012.

- Parr A-J. et Bolwell P-G., 2000. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 985-1012.
- Pelli K. et Lyly M., 2003. Les antioxydants dans l'alimentation. Finlande, 28p.
- Pérez-Illarbe J., Hernández T. and Estrella I., 1991. Phenolic compounds in apples: Varietal differences. *Z. Lebensm. Unters.-Forsch.*, 192: 551-554.
- Pitrat M. and Foury C., 2003. Histoire des légumes, des origines à l'orée du XXIe siècle, Inra, 410p.
- Podsdek A., Sosnowska D., Redzynia M. and Anders B., 2006. Antioxidant capacity and content of *Brassica oleracea* dietary antioxidants. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(1): 49–58.
- Popovici C., Saykova I. et Tylkowski B., 2009. Evaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*, 4: 25-39.
- Popovici C., Saykova I., Tylkowski B., 2009. Evaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*, 4 : 25-39.
- Prohens J. and Nuez F., 2008. Handbook of plant breeding Vegetables I. *Ed. Springer*, 189-236. 426p.
- Ravn H., Andary C., Kovacs G. and Molgaard P., 1984. Caffeic acid esters as in vitro inhibitors of plant pathogenic bacteria and fungi. *Biochem. Syst. Ecol*, 17: 175 - 184.
- Rémésy C., 2005. Que mangerons-nous demain ? Paris : Odile Jacob, 304p.
- Ribéreau-Gayon J., 1968. Les composés phénoliques des végétaux. Ed. Dunod, Paris, 254p.
- Rocca-Poliméni R., 2007. Contribution à la compréhension de la cuisson domestique sous pression de vapeur. Etude expérimentale et modélisation des transferts, de l'évolution de la texture des légumes et du fonctionnement d'un autocuiseur. Thèse de doctorat en Sciences, 286p.
- Rousselle P., Robert Y., Crosnier J.-C., 1996. La pomme de terre – Production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations. 1 éd. Inra Paris.

- Sanchez-Moreno C., Larrauri Jose A., Saura-Calixto F.A., 1998. Procedure to Measure the Antiradical Efficiency of Polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(2): 270-276.
- Sanchez-Moreno C., Larrauri Jose A., Saura-Calixto F-A., 1998. Procedure to Measure the Antiradical Efficiency of Polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 76(2): 270-276.
- Scalbert A., 1993. Polyphenolic Phenomena, Inra, Paris: 296p.
- Scherer R. and Godoy H-T., 2009. Antioxidant activity index (AAI) by the 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl method. *Food Chemistry*, 112: 654-658.
- Schreiner M., 2005. Vegetable crop management strategies to increase the quantity of phytochemicals. *European Journal of Nutrition*, 44 (2): 85-94.
- Selmi S. et Toujani N., 2013. Nutrition clinique et métabolisme 27 : S57–S175 / Cahiers de nutrition et de diététique, 48: S57–S175.
- Serrano M., Martinez-Romero D., Guillen F., Castillo S. et Valero D., 2006. Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging. *PostharVest Biol. Technol.*, 39: 61–68.
- Simon P-W., Freeman R-E., Vieira J-V., Boiteux L-S., Briard M., Nothnagel T., Michalik B. et Kwon Y.-S., 2008. Carrot. In : Prohens J. et Nuez F. (eds). *Vegetables II – Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae*. Springer, New York: 327-357.
- Souci S-W., Fachmann W. et Krant H., 1994. La composition des aliments ; Tableaux de valeurs nutritives 5ème édition medpharm, CRC preo/Germany: 1091p.
- Sugimura T., 2002. « Food and cancer », *Toxicology*, 181-182, 17-21.
- Tabart J., Kevers C., Sipel A., Pincemail J., Defraigne J-O. et Dommes J., 2007. Optimisation of extraction of phenolics and antioxidants from black currant leaves and buds and of stability during storage. *Food Chem.*, 105: 1268–1275.
- Toivonen P-M-A., Brummell D., 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut vegetables and fruits. *Postharvest Biol. Technol*, 48: 1–14.
- Tong C-W., Sheen S-A., Fu Y-F. Goedekan D-L. and Land D-B., 1992. Microwave heat transfer in food, Dans *Advances in food engineering*, Singh R. and Wirakartakusumah M., (coordinateurs), *CRC Press*, 149-150.

- Turkmen N., Sari F. and Velioglu Y-S., 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chem.*, 93: 713-718.
- Turkmen N., Sari F. and Velioglu Y. S., 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93: 713–718.
- Unilet informations, 1996. Alimentation minérale de l'épinard. Des besoins concentrés en fin de cycle 94: 16-18.
- Vetter S. et Kunzek H., 2002. Material properties of processed fruit and vegetables. II. Water hydration properties of cell wall materials from apples. *European Food Research and Technology*, 214: 43-51.
- Villeneuve F. et Leteinturier J., 1992a. La carotte-Tome 2 : Etat des connaissances. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, 227p.
- Villeneuve F. et Leteinturier J., 1992b. La carotte-Tome 1 : Guide pratique. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, Paris, 229p.
- Villeneuve F., 1999. La carotte. Dans Technologie des légumes par Tirilly Y. et Bourgeois C-M. Collection science et techniques agro alimentaire, *Tec et Doc Lavoisier* Paris, 558.
- Vinson J. A., Su X., Zubik L., & Bose P., 2001. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 5315–5321.
- Wallace G. and Fry S., 1994. Phenolic components of the plant cell wall. *International Review of Cytology*, 151: 229-267.
- Watzl B., Rechkemmer G., 2001. Flavonoïde. *Ernährungsumschau* 48: 161–164.
- Wills RBH., McGlasson WD., Graham D., Lee TH., et Hall EC., 1981. Postharvest: An introduction to the Physiology and Handling of Fruits and Vegetables, AVI Van Nostrand, ISBN, 9780870554025, New York.
- Wu X., Beecher G-R., Holden J-M., Haytowitz D-B., Gebhardt S-E. and Prior R-L., 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J Agric Food Chem*, 52 (12): 4026-37.

- Zakaria chahine A. et Bassal A., 2005. Influence du conditionnement et de la température sur la qualité des carottes au cours du stockage. *Annales de recherche scientifique*, 6 : 97-109.
- Zhang D. and Hamazu Y., 2004. Phenolic compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrots (*Daucus carota L.*). *Food Agriculture and Environment* 2 1: 95–100.

الملخص

الأهداف الرئيسية لهذه الدراسة ، تقييم محتوى ليفينول الكلي و النشاط المضاد للاكسدة لأربعة أنواع :
و السباخ، إبراز تأثير مدة التخزين في درجة حرارة بيئية و مدة بن مجتمعة مع نطبي الطهي (الطهي بالبخار الطهي
في الماء المغلي) محتوى ليفينول الكلي النشاط المضاد للاكسدة بخضروات .كان أول تحليل أساسي يم
الخضار، وسمح لنا بالـ م عالية في العينات الطازجة / أو بعد الطهي. استخلاص مركبات الفينول الكلية استعملنا مذيب
قطبي، وكانت الكمية المتحصل عليها بعد إجراء تفاعل Ciocalteu Folin، تتراوح ما بين 0.044 ± 26.17 مكافئ حمض غليغ/100
في البطاطا، 0.48 ± 13.80 في حمض غليغ/100 غ في الجزر، 0.44 ± 86.10 في حمض غليغ/100 غ في الملفوف و
 0.85 ± 28.30 في حمض غليغ/100 غ في السباخ. من جهة أخرى، تم إجراء اختبار مضادات الاكسدة طريقة DPPH كانت
سبة النشاط المضاد للاكسدة في الخضراوات كالتالي : 1.30 ± 18.55 % نسبية لـ 1.03 ± 13.33 % نسبية للجزر،
 0.98 ± 39.27 % سبة للملفوف و 0.98 ± 21.27 % نسبية للسباخ. أظهرت النتائج الرئيسية أن مدة التخزين، لها تأثير إيجابي على
البوليفينول الكلي سبة النشاط المضاد للاكسدة في حالة لجزر وتأثير سلبي في حالة فوف، السباخ و .أظهرت
الحرارية أن لها تأثير إيجابي على محتوى ليفينول الكلي في حالة الطهي بالبخار ولها تأثير سلبي في حالة الطهي في الماء المغلي بالنسبة
للجزر، والسباخ. بالمانبل، لها تأثير إيجابي في كل من نطبي بالنسبة لـ ط.أما بالنسبة للنشاط المضاد للاكسدة،
ظهرت المعالجة الحرارية أن لها تأثير إيجابي في حالة الطهي بالبخار ولها تأثير سلبي في حالة الطهي في الماء بالنسبة للملفوف
والسباخ. كما لها تأثير إيجابي في نطبي الطهي بالنسبة لـ ط و تأثير سلبي في نطبي الطهي بالنسبة .
الكلمات الدالة : الخضروات، التخزين ليفينول الكلي، النشاط المضاد للاكسدة.

Abstract

This study aims to evaluate the total polyphenol content and antioxidant activity of four species of vegetables: potato, carrot, cabbage and spinach, and to highlight the impact of storage time at ambient temperature and duration of storage, combined with two cooking modes: one in the steam and the other in the water, on the total polyphenol content and antioxidant activity of vegetables.

The determination of the moisture content of the four vegetable species revealed high levels in the freshest samples and / or after cooking.

The extraction of total polyphenols was carried out using a polar solvent, and quantification was based on the Folin Ciocalteu reaction, the total polyphenol content was 26.17 ± 0.44 mg EAG/100g for potato, 13.80 ± 0.48 mg EAG/100g for carrot, 86.10 ± 0.44 mg EAG/100g for cabbage and 28.30 ± 0.58 mg EAG/100g for spinach. The antioxidant test was performed by the DPPH method, the percentage of the antioxidant activity of vegetables was $18.55 \pm 1.30\%$ for potato, $13.33 \pm 1.03\%$ for carrots, $39.27 \pm 0.98\%$ for cabbage and $21.54 \pm 0.97\%$ for spinach.

The main results show that the storage has a positive impact in the case of carrots and a negative impact in the case of cabbage, spinach and potatoes. The heat treatment appears to have a positive impact on the total polyphenols content in the case of cooking by steam and a negative impact in the case of cooking in boiling water for carrot, cabbage and spinach. However, it has a positive impact in both cooking modes for potato. Concerning the antioxidant activity, the heat treatment appears to have a positive impact in the case of cooking by steam and a negative impact in the case of cooking in boiling water for cabbage and spinach. However, it has a positive impact in both modes of cooking of potato and a negative impact in the two cooking modes of carrot.

Key words: vegetables, storage, cooking, total polyphenols, antioxidant activity.

Résumé

Cette étude a pour objectifs l'évaluation de la teneur en polyphénols totaux et de l'activité antioxydante de quatre espèces de légumes : pomme de terre, carotte, chou et épinard, et à mettre en évidence l'impact de la durée de stockage à température ambiante et de la durée de stockage combinée aux deux modes de cuisson : l'un à la vapeur et l'autre dans l'eau sur la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante des légumes.

La détermination du taux d'humidité des quatre espèces de légumes a révélé des taux élevés dans les échantillons les plus frais et/ou après cuisson.

L'extraction des polyphénols totaux a été réalisée à l'aide d'un solvant polaire, et leur quantification a été basée sur la réaction de Folin Ciocalteu, le contenu totale en polyphénols a été $26,17 \pm 0,44$ mg EAG/100g pour la pomme de terre, $13,80 \pm 0,48$ mg EAG/100g pour la carotte, $86,10 \pm 0,44$ mg EAG/100g pour le chou et $28,30 \pm 0,58$ mg EAG/100g pour l'épinard. Le test antioxydant a été réalisé par la méthode au DPPH, le pourcentage de l'activité antioxydante des légumes a été $18,55 \pm 1,30\%$ pour la pomme de terre, $13,33 \pm 1,03\%$ pour la carotte, $39,27 \pm 0,98\%$ pour le chou et $21,54 \pm 0,97\%$ pour l'épinard.

Les principaux résultats montrent que le stockage a un impact positif dans le cas de la carotte et un impact négatif dans le cas du chou, de l'épinard et de la pomme de terre.

Le traitement thermique semble avoir un impact positif sur la teneur en polyphénols totaux dans le cas de cuisson par la vapeur et un impact négatif dans le cas de cuisson dans l'eau bouillante pour la carotte, le chou et l'épinard. Par contre, il a un impact positif dans les deux modes de cuisson pour la pomme de terre.

Quant à l'activité antioxydante, le traitement thermique semble avoir un impact positif dans le cas de cuisson par la vapeur et un impact négatif dans le cas de cuisson dans l'eau bouillante pour le chou et l'épinard. Par contre, il a un impact positif dans les deux modes de cuisson de la pomme de terre et un impact négatif dans les deux modes de cuisson de la carotte.

Mot clés : légumes, stockage, cuisson, polyphénols totaux, activité antioxydante.