

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences Alimentaires
Spécialité Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

Effets de la cuisson sur les substances bioactives des légumes

Présenté par :

BOUCHENNA Katia & BRIKH Guarmia

Soutenu le :20/09/2021

Devant le jury composé de :

Mme. Hamri Sabrina

M. Mokrani Abderrahmane

Mme. Merzouk Hafida

Professeur

MCA

MCB

Présidente

Encadreur

Examinatrice

Année universitaire : 2020 / 2021

Remerciement

Avant tout on remercie le dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, la force et le courage mais surtout la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Nous voudrions tout d'abord remercier chaleureusement notre promoteur Mr Mokrani Abderrahmane, maître de conférence classe A à UAMB, d'avoir accepté de nous encadrer et de proposer ce sujet, aussi bien pour sa gentillesse, sa disponibilité et surtout pour ses remarques et ses conseils, sa bienveillance dont il a toujours fait preuve durant ce travail.

Ensuite, on tient à remercier vivement les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail. En particulier, merci à Madame Hamri-Zeghichi Sabrina, (maître de conférences classe A à UAMB), d'avoir bien voulu présider ce jury.

Merci à Madame Merzouk Hafida (maître de conférences classe B à UAMB) pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos sentiments de reconnaissance et nos remerciements les plus respectueuses vont aussi à toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de notre mémoire, à tous les enseignants, collègues et amis, ainsi qu'au personnel administratif de l'UAMB., pour la dimension humaine inestimable qu'ils ont manifestée à notre égard.

Nos profond remerciement vont également à nos chères familles et les personnes qui nous ont aidés et soutenus durant tout le long de notre cursus.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mon très cher père

*il été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, méticuleux, je tiens à honorer
l'homme que tu été*

*Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier
pour ton amour, ta générosité, ta compréhension... Ton soutien fut une lumière dans tout
mon parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai
toujours eu pour toi. Que Dieu t'accorde sa Sainte Miséricorde.*

A Ma très chère mère

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour, éternel et ma
considération pour les sacrifices que tu consenti pour mon instruction et mon bien être je te
remercie pour tout le soutien et l'amour que tu me portes depuis mon enfance et j'espère que
ta bénédiction m'accompagnerait toujours*

A mes chères sœurs Yasemine, Amel, Narimane, Tassadit et mon beau-frère

Massinissa *Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre
soutien et encouragements. Que Dieu le Tout Puissant vous gardes et vous procures santé et
bonheur*

A mes petites nièces Anna et Léa que j'adore *A mon cher Smail qui a été là pour moi dans
les moments les plus difficiles et qui m'a soutenu tout au long de ce travail. Aucun mot ne
pourrait exprimer ma gratitude, mon amour et mon respect.*

A mes amies Hanane, Lydia et Mounia qui sont pour moi des sœurs sur qui je peux compter.

Je tien à vous remercier d'avoir été là dans les moments les importants de ma vie.

Guarmia

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*À MES CHERS PARENTS : mon père **Madjid***

*et ma chère mère **Rachida** Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.*

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

*À Mes chers et adorables frère et sœur : **Soraya**, la prunelle de mes yeux, mon frère **Mohammed** Que j'adore. En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

*À mon cher grand père **Mouloud** Ceci est ma profonde gratitude pour ton éternel amour, que ce travail soit le meilleur cadeau que je puisse t'offrir.*

*Je le dédie aussi à mes très chères amies **Sara, Zahra, Anis, Sarah** merci pour tous ces moments que nous avons passés ensemble, pour nos éclats de rire et notre complicité. Je profite de cette occasion pour vous dire que je vous aime beaucoup et j'espère que vous trouverez vos bonheurs dans les années à venir*

Katia

Liste des tableaux

Tableau I : Rôle des différentes classes de vitamines	10
Tableau II : Effet des modes de cuisson sur les différentes classes de vitamines	10
Tableau III : Effets des modes de cuisson sur les caroténoïdes dans les légumes	17
Tableau IV : Effet des modes de cuisson sur les acides phénoliques des légumes	23
Tableau V : Effet des modes de cuisson sur les flavonoïdes des légumes	24
Tableau VI : effet de la cuisson sur la capacité antioxydante des légumes	30

Liste des figures

Figure 1 :Les différentes structures chimiques de la classe carotène.....	14
Figure 2 : Les différentes structures chimiques de la classe xanthophylles.	15
Figure 3 :exemple de mécanisme de dégradation sur le lycopène au cours de la cuisson	17
Figure 4 : Les différentes structures chimiques des classes de polyphénols	20
Figure 5 : les voies de formation des radicaux libres d'oxygène	26
Figure 6 : Modifications des chaînes latérales des acides aminés des protéines après attaque radicalaire.....	28
Figure 7 : modification en chaine des acides gras insaturés après une attaque radicalaire	29

Liste des abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique

CAT : Capacité Antioxydant Totale

Cl⁻ : ion chlorure

Da : Dalton

ERO : espèces réactives de l'oxygène

H₂O₂ : peroxyde d'hydrogène

HOO ; radical hydroperoxyde

LDL : lipoprotéines de densité légère

MDA : Malondialdéhyde

NAD : nicotinamide adénine di-nucléotide

NADP : nicotinamide adénine di-nucléotide phosphate

NO• : radical oxyde nitrique

O₂ : oxygène singulet

O₂•⁻ : Anion superoxyde

OH• : Radical hydroxyle

ONOOH : nitroperoxyde

PH : Potentiel Hydrogène

ROO : radical peroxyde

ROOH : hydroperoxyde

SH : Sulfhydryles

TAP : Teneur en acides phénoliques

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
ChapI.La cuisson des aliments	3
1 Définition.....	3
2 Les modes de cuisson.....	3
2.1 L'ébullition	3
2.2 La friture	3
2.3 La cuisson sous vide	4
2.4 La cuisson à la vapeur.....	4
2.5 La cuisson au micro-onde	4
2.6 La cuisson au four	4
3 Impact de la cuisson sur les aliments	5
3.1 L'impact nutritionnel.....	5
3.2 Impact sanitaire	5
3.3 Impact organoleptique	6
3.3.1 L'apparence	6
3.3.2 La texture	6
3.3.3. La flaveur	6
Chap II.Effet de la cuisson sur les nutriments	7
1 Les macronutriments	7
1.1.Les protéines	7
1.1.1 Définition	7
1.1.2 Effet de la cuisson sur les protéines	7
1.2 Les lipides	8
1.2.1 Définition	8
1.2.2 Effet de la cuisson sur les lipides	8
1.3 Les glucides.....	8
1.3.1 Définition	8
1.3.2 Effet de la cuisson.....	9
2 les micronutriments	9
2.1 Les vitamines	9
2.1.1 Définition	9
2.1.2 Effet de la cuisson sur les vitamines	9
2.1.3 Les mécanismes de dégradations et d'améliorations de la teneur des vitamines	11

2.2	Les minéraux.....	12
2.2.1	Définition	12
2.2.2	Effet de la cuisson sur les minéraux.....	12
Chap III.Effet de la cuisson sur les différentes classes de composés phytochimiques		13
1	Les caroténoïdes.....	13
1.1	Définition et structure	13
1.2	La classification.....	13
1.2.1	Les carotènes	13
1.2.1.1	L'α et le β-carotène	13
1.2.1.2	Le lycopène	14
1.2.2	Les xanthophylles	14
1.2.2.1	La lutéine (C ₄₀ H ₅₆ O ₂)	14
1.2.2.2	La zéaxanthine	15
1.2.2.3	La β-cryptoxanthine	15
1.3	Effet de la cuisson sur les caroténoïdes	16
2	Les polyphénols	19
2.1	Définition et structure	19
2.2	Classification.....	19
2.2.1	Les acides phénoliques.....	19
2.2.2	Les flavonoïdes	20
2.2.3	Les anthocyanines.....	20
2.2.4	Les proanthocyanidines.....	20
2.2.5	Les phytoestrogènes.....	21
2.2.6	Les isoflavones	21
2.2.7	Les lignanes	21
2.2.8	Les stilbènes	22
2.3	Effet de la cuisson sur les polyphénols	22
2.3.1	Effet sur les acides phénoliques.....	22
2.3.2	Effet sur Les flavonoïdes.....	23
2.3.3	Effets sur les phytoestrogènes	24
Chap IV. Effet de la cuisson sur la capacité antioxydant		26
1	Radicaux libres	26
1.1	Définition.....	26

2	Le stress oxydatif	27
2.1	Définition	27
2.2	Les conséquences du stress oxydatif	27
2.2.1	Effets sur l'ADN.....	27
2.2.2	Effets sur les glucides	27
2.2.3	Effets sur les protéines	28
2.2.4	Effets sur les lipides	28
3	Les antioxydants	29
3.1	Définition	29
3.2	Effet de la cuisson sur la capacité antioxydant.....	30
	Conclusion.....	33

INTRODUCTION

Les fruits et légumes sont, sans aucun doute, des éléments importants pour une alimentation saine et équilibrée. Ils fournissent des quantités importantes de minéraux, de vitamines, de glucides, de protéines, de fibres alimentaires ainsi que divers composés phytochimiques dont les antioxydants (les caroténoïdes, les polyphénols,...etc.). Ces derniers sont impliqués dans la protection de diverses pathologies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires et les cancers(Plavšić et al., 2006; Liu, 2013).

La plupart des légumes sont consommés après cuisson. Ils sont cuits de différentes manières selon les recettes et les traditions culinaires de chaque pays. L'application du traitement thermique lors de la cuisson domestique englobe une variété de procédés tels que l'ébullition, la friture, la cuisson à la vapeur, la cuisson au four, la cuisson sous vide ou le micro-onde (van Boekel et al., 2010)

Ces différentes méthodes de cuisson ont une grande influence sur les profils phytochimiques et les propriétés biologiques des légumes. Elles peuvent les modifier de manière positive ou négative (Bernhardt & Schlich, 2006). D'une part, ces modifications comprennent l'amélioration de la qualité nutritionnelle (amélioration de la digestibilité des aliments et de la biodisponibilité des nutriments, formation et/ou libération des composés d'intérêt tels que les antioxydants, amélioration de la sécurité alimentaires par la destruction des substances indésirables et amélioration de la qualité organoleptique). D'autre part, des réactions indésirables entraînant une perte de valeurs nutritionnelles et formation de molécules potentiellement mutagènes et cancérigènes.

Les substances bioactives ont suscité un intérêt considérable auprès des chercheurs en alimentation en raison de leur bon impact sur la santé humaine. Les substances bioactives sont des métabolites secondaires omniprésents dans le règne végétal et sont considérés comme des ingrédients non nutritionnels mais vitaux pour le maintien de la santé humaine (Patil et al., 2009). Ces substances remplissent un large éventail de fonctions, notamment la pigmentation et la capture de la lumière (par exemple, les anthocyanes, le lycopène) et la prévention du stress oxydatif (caroténoïdes, anthocyanines, flavonols).

De ce principe s'inscrit l'objectif de la présente étude qui vise à faire une synthèse sur les effets de la cuisson domestique sur les composés bioactifs des légumes.

Ce manuscrit est devisé en quatre parties :

La première partie vise à définir les différents modes de cuisson (ébullition, friture, cuisson a la vapeur, cuisson sous vide, cuisson au four et cuisson aux microondes) ainsi que leurs impacts sur la qualité nutritionnelle, sanitaire et organoleptique.

La deuxième partie présente les effets effet de la cuisson sur les macronutriments (protéines, lipides, glucides) et les micronutriments (vitamines et minéraux) des légumes.

La troisième partie présente les effets de la cuisson sur les différentes classes de composés bioactifs tels que les caroténoïdes et les polyphénols (acides phénoliques, flavonoïdes, phytoestrogènes,...).

Enfin, la quatrième partie qui présente l'effet de la cuisson sur l'activité antioxydante.

I. La cuisson des aliments

1. Définition

La cuisson est un traitement thermique faisant intervenir des transferts de chaleur, de matière et des réactions physiques, chimiques, biochimiques et microbiologiques (Kinsman et al., 1994). C'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). La cuisson peut englober plusieurs opérations qui sont couramment effectuées dans les ménages : l'ébullition, la cuisson au four, le grillage, la friture, la cuisson sous vide, la cuisson à la vapeur...etc., qui varient toutes dans la méthode d'application de la chaleur. La cuisson entraîne la destruction des microorganismes, améliore l'appétence des aliments et la qualité organoleptique (Ramaswamy and Marcotte, 2005).

2. Les modes de cuisson

Il existe plusieurs méthodes de cuisson (Joyeux, 1994), les plus utilisées dans les préparations culinaires sont :

2.1. L'ébullition

L'ébullition est une technique courante internationale qui est généralement employée lors de traitement des légumes. La plupart des légumes sont cuits dans de l'eau bouillante pour les rendre tendres et appétissants (Mehmood and Zeb, 2020). L'ébullition entraîne plusieurs changements dans la composition physique et chimique des légumes (Mann et al., 1992).

2.2. La friture

La friture est une technique de cuisson où la graisse ou l'huile est utilisée comme moyen de transfert de chaleur, en contact direct avec l'aliment. La friture est un processus dans lequel les aliments sont cuits tout en flottant ou étant immergés dans de l'huile chaude. Ce dernier procédé est également connu sous le nom de "friture profonde" dans lequel l'eau est éliminée de l'aliment par un chauffage rapide dans l'huile. En plus de fournir de la chaleur pour la cuisson, l'huile de friture devient également un composant du produit final (Wu et al., 2013).

2.3. La cuisson sous vide

La cuisson sous vide est définie comme "des matières premières ou des matières premières avec des aliments intermédiaires qui sont cuits dans des conditions de température et de temps contrôlées dans des poches sous vide stables à la chaleur" (Schellekens, 1996). Le contrôle précis de la température offre un plus grand choix de saveurs et de textures que les méthodes de cuisson traditionnelles (Baldwin, 2012).

2.4. La cuisson à la vapeur

La cuisson à la vapeur est utilisée depuis longtemps pour améliorer la palatabilité (l'appétibilité) des aliments et leur qualité hygiénique en inactivant les agents pathogènes. C'est une méthode qui utilise la vapeur comme moyen par lequel la chaleur est transférée à la surface d'un aliment par convection, puis au centre géométrique de l'aliment par conduction (Li et al., 2017). La cuisson à la vapeur implique un processus de chauffage relativement doux qui confère donc les avantages d'une réduction des pertes à la cuisson, la prévention de la formation d'amines aromatiques hétérocycliques mais également la réduction des modifications oxydatives des protéines des aliments par rapport à d'autres méthodes de cuisson telles que la friture et le rôtissage (Barzegar et al., 2019). La cuisson des légumes à la vapeur est une technique plus sûre en ce qui concerne la rétention des composés bioactifs par rapport à d'autres techniques de cuisson telles que l'ébullition, la cuisson aux micro-ondes et la friture (Mehmood and Zeb, 2020).

2.5. La cuisson au micro-onde

La cuisson au micro-onde est aujourd'hui une technique de cuisson très populaire en raison de sa capacité à atteindre des taux de chauffage élevés, de la réduction du temps de cuisson, de la sécurité de sa manipulation, de sa facilité d'utilisation et de son faible entretien (Salazar-González et al., 2012). En outre, le micro-onde pourrait avoir moins d'effets sur la saveur et les qualités nutritionnelles des aliments (Vadivambal and Jayas, 2010).

2.6. La cuisson au four

La cuisson au four est l'un des procédés de cuisson les plus répandus qui fait appel à l'énergie thermique sans exposition directe des aliments à une flamme. Elle est généralement réalisée dans un four ou sur une surface chaude. Les fours de cuisson traditionnels fonctionnent avec une température intérieure d'environ 230°C, mais le taux de transfert de chaleur basé sur la convection est lent (Lee, 2021).

3. Impact de la cuisson sur les aliments

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

3.1. Impact nutritionnel

Le corps humain a besoin d'acquérir divers nutriments. Après le processus de cuisson, l'aliment peut être mangé et les nutriments peuvent être facilement digérés et absorbés par le corps humain. Selon Van Boekel et al. (van Boekel et al., 2010), la cuisson des légumes permet d'en améliorer la digestibilité des macronutriments par :

- ❖ La gélatinisation et l'augmentation de la digestibilité des aliments riches en amidon ce qui s'est révélé très bénéfique pour la santé.
- ❖ La transformation a un effet doublement contrasté sur la digestibilité des protéines : les protéines dénaturées sont généralement plus digestes.

Les propriétés nutritionnelles des mono- et disaccharides quant à elles sont peu affectées par la chaleur.

Les processus de cuisson a également des effets négatifs, comme la réduction des valeurs nutritives causée par la dégradation des vitamines thermolabiles (notamment la vitamine C et les vitamines du groupe B), la destruction de certains acides aminés essentiels et la fuite des sels minéraux et des vitamines dans l'eau de cuisson (Tornberg, 2005), la lipolyse, l'oxydation ainsi que la polymérisation et la dégradation des lipides (Pomeranz, 1985).

3.2. Impact sanitaire

Les aliments crus peuvent être contaminés, soit par des micro-organismes, soit par des toxines. Comme la plupart du temps c'est sur la surface des aliments que se trouve la contamination, un simple lavage et des conditions optimales de manipulations permettent de la réduire mais parfois, celle-ci peut être interne, comme dans le cas de toxines intrinsèques (Mitjavila, 1986). 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 une partie de la flore thermosensible (Cuq and Guilbert, 1992) et l'élimination de nombreuses toxines. Par exemple, Hwang et Lee (2006) ont montré que la cuisson réduit la concentration des Aflatoxine B1 (Hwang and Lee, 2006). Cependant, il ne faut pas oublier que la cuisson peut aussi avoir un effet néfaste. En particulier, avec la formation de molécules cancérigènes, d'autant plus générées que la température de cuisson est élevée (Sugimura, 2002).

3.3. Impact organoleptique

Les caractéristiques organoleptiques peuvent être divisées en trois grandes catégories (Rocca-Poliméni, 2007) :

- ❖ L'apparence, liée aux propriétés visuelles telles que la couleur, la taille ou la forme.
- ❖ La flaveur, liée au goût et à l'odeur.
- ❖ La texture, liée principalement à des sensations tactiles, même si la vue et l'ouïe peuvent participer à la reconnaissance texturale.

3.3.1. L'apparence

Au cours de la cuisson, 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. Dans le cas des végétaux, les couleurs des légumes frais étant souvent dues à des pigments spécifiques tels que les anthocyanes, chlorophylle, caroténoïdes,... etc., (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 (Priestley, 1979).

3.3.2. La texture

La texture est le résultat de nombreuses interactions complexes des composants de la matrice alimentaire (Walstra, 2003). La cuisson est souvent un moyen d'obtenir une texture originale pour un aliment. Pour les végétaux, la cuisson en tant que traitement hydrothermique, provoque un ramollissement des tissus pouvant aller jusqu'à la délitescence des fruits et légumes (Roudaut et al., 2002).

3.3.3. La flaveur

Dans le cas de modification de la flaveur au cours de cuisson, elle résulte de plusieurs réactions physico-chimiques qui sont soit des synthèses, soit des dégradations de molécules. Les composés aromatiques se forment principalement lors de la réaction de Maillard (Van Boekel, 2006) à la suite d'un traitement thermique, mais d'autres réactions y contribuent également. L'oxydation est une autre réaction très importante pour la qualité des aliments. Cependant, cette réaction n'est pas souhaitable car elle entraîne la formation de composés aromatiques indésirables (Lindsay, 2008).

II. Effet de la cuisson sur les nutriments

1. Effet sur les macronutriments

Les macronutriments sont des nutriments nécessaires en grande quantité et comprennent trois composants de base, à savoir les glucides, les lipides et les protéines. (Dave,2021)

1.1.Les protéines

1.1.1. Définition

Les protéines sont des macromolécules, des polymères d'unités structurales appelées acides aminés(Blanco, 2017). Elles sont présentes dans toute matière vivante, ce qui indique qu'elles ont des fonctions très importantes. Les protéines sont indispensables à la construction de nouveaux tissus, régulations des hormones, réactions biochimiques, protection immunitaire (Ramalakshmi, 2021).

1.1.2.Effet de la cuisson sur les protéines

La plupart des préparations culinaires n'abaissent que peu ou pas la valeur nutritionnelle des protéines. Certains ont même des effets favorables (la digestibilité est améliorée en raison du dépliement partiel des protéines, et aussi à la destruction des inhibiteurs de la trypsine). Cette dernière observation est particulièrement pertinente dans le cas des protéines végétales (Cheftel, 1986).

Cependant, des modifications défavorables apparaissent parfois. Elles affectent, dans la plupart des cas, la structure primaire des protéines et la diminution des teneurs en acides aminés indispensables tels que le tryptophane et la méthionine (Cuq and Guilbert, 1992).La perte des protéines dans les légumes varie de 0 à 48,14% pendant la cuisson (Ramalakshmi, 2021). Les principales causes des pertes nutritionnelles sont dues à la réaction de Maillard (la destruction des acides aminés essentiels, tels que la lysine, et la réduction de la digestibilité des protéines) (Tessier et al., 2007).

La cuisson affecte également la composition chimique et l'hydroxylation des acides aminés aromatiques (Yuan et al., 2009). Ces modifications oxydatives des acides aminés, dont certains sont essentiels, conduisent à une diminution de la valeur nutritionnelle des protéines(Santé-Lhoutellier et al., 2008).Les traitements thermiques entraînent une dénaturation protéique rapide qui se traduit par des changements de conformation et une augmentation de l'hydrophobie de surface(Promeyrat et al., 2010).

1.2. Les lipides

1.2.1. Définition

Les lipides sont un composant de base de toutes les cellules vivantes en plus des rôles fonctionnels dans la cellule, les lipides peuvent être accumulés en tant que réserves d'énergie et de carbone. Les acides gras sont les éléments constitutifs des lipides qui déterminent leurs caractéristiques et par conséquent, le rôle cellulaire d'un lipide (Wynn, 2011). Les lipides sont retrouvés dans huiles végétales, les produits laitiers, les graisses animales...etc.

1.2.2. Effet de la cuisson sur les lipides

Les lipides peuvent subir au cours des préparations culinaires de nombreuses modifications chimiques. Ces modifications peuvent affecter leur valeur nutritionnelle. La chaleur peut produire différents effets dont les principaux sont : hydrolyse des lipides et production d'acides gras libres, polymérisation d'acides gras, formation de polymères cycliques. Ces modifications se produisent sur les doubles liaisons d'acides gras insaturés et provoquent ainsi des pertes d'acides gras indispensables.

L'hydrolyse des liaisons esters des lipides (lipolyse) peut se produire sous l'effet de la chaleur en milieu humide. Ce phénomène est le plus important au cours de la friture, essentiellement en raison de l'eau apportée par l'aliment à frire et par la température élevée de l'huile (Cuq and Guilbert, 1992).

1.3. Les glucides

1.3.1. Définition

Les glucides sont des aldoses ou cétooses composés de C, H et O. Ils sont classés en monosaccharides, oligosaccharides et polysaccharides (Blanco, 2017). Les glucides sont utilisés comme carburant énergétique, pour la synthèse de glycoprotéines et de glycolipides, et comme précurseur général de la plupart des composés organiques complexes de l'organisme (Bhagavan, 2002). Les glucides sont présents dans les aliments à base de farine, les légumes, les fruits, les noix et les céréales.

1.3.2. Effet de la cuisson sur les glucides

Les glucides représentent le deuxième principal composant des denrées alimentaires. Outre leur participation à des interactions spécifiques induites par la chaleur (par exemple, la réaction de Maillard et diverses réactions de condensation), les propriétés nutritionnelles des mono- et disaccharides sont peu affectées par la chaleur tant que le traitement reste modéré. La plupart des sucres ont une digestibilité de 98% mais la digestibilité de l'amidon varie de 50 à 85% selon son origine, sa structure et son degré de gélatinisation. La gélatinisation commence par le mouillage suivi du gonflement à travers une température en fonction de l'origine par exemple la fécule de pomme de terre se gélatinise entre 56 et 67°C (Hardy et al., 1999).

2. Effet sur les micronutriments

Le terme micronutriment regroupe les vitamines, minéraux et oligoéléments dont les besoins sont quantitativement très inférieurs aux nutriments représentés par les glucides, lipides et protéines. L'alimentation doit donc être suffisamment diversifiée pour apporter l'ensemble des éléments nutritifs, mais aussi micro-nutritifs pour couvrir les besoins de l'organisme (Esterle, 2010).

2.1. Les vitamines

2.1.1. Définition

Les vitamines sont des micronutriments essentiels, des composés organiques qui ne peuvent pas être synthétisés et doivent donc être obtenus grâce à l'alimentation. Un apport insuffisant de vitamines donne lieu à des syndromes de carence spécifiques (Combs Jr and McClung, 2016). Les différentes classes des vitamines et leurs fonctions sont présentés dans le tableau I.

2.1.2. Effet de la cuisson sur les vitamines

Les vitamines sont les micronutriments les plus sensibles aux traitements thermiques. Cette thermolabilité est connue depuis longtemps. Néanmoins, l'étendue de la thermolabilité dépend de la nature de la vitamine (Karmas and Harris, 2012). Les effets de la cuisson sur les différentes classes de vitamines sont présentés dans le tableau II.

Tableau I : Rôle des différentes classes de vitamines (Bender, 2003).

Vitamines	Fonction
A	Pigments visuels dans la rétine.
D	Maintien l'équilibre calcique et améliore l'absorption intestinale de Ca ²⁺
E	Antioxydant en particulier dans les membranes cellulaires
K	Coenzymes dans la formation de γ -carboxyglutamate dans les enzymes de la coagulation sanguine et de la matrice osseuse.
B1	Coenzyme dans le pyruvate et 2-oxo-glutarate déshydrogénase et transcétolase régulent le canal Cl ⁻ dans la conduction nerveuse.
B2	Coenzyme dans les réactions d'oxydation et de réduction.
B3	Partie fonctionnelle de NAD et NADP, coenzyme dans les réactions d'oxydation et de réduction.
B6	Coenzyme dans la transamination et décarboxylation des acides aminés et glycogène phosphorylase.
B9	Cofacteur impliqué dans de nombreuses réactions intracellulaires.
B12	Coenzyme dans le transfert d'un fragment de carbone et métabolisme de l'acide folique.
C	Coenzyme dans l'hydroxylation de la proline et la lysine dans la synthèse du collagène.

Tableau II : Effets des modes de cuisson sur les différentes classes de vitamines.

Légumes	Mode de cuisson	Effet de la cuisson	Références
Brocoli Épinard Pomme de terre Carotte Chou-fleur	Ébullition	Vit C↓, vit A↓, Vit E ↑, vit K↑ Vit C↓, Vit A↑, Vit E↑, Vit K↑ Vit C↓, Vit (B1=, B2↓, B3↓, B6↓, B9↓) Vit C↑, Vit A↓, Vit E↓ Vit C↓, Vit A↑, Vit E↓, Vit (groupe B) ↓	(Lee et al., 2018) (Selman, 1994) (Rumm-Kreuter & Demmel, 1990) (ALI, 2015)
Brocoli Pomme de terre Carotte Epinard Chou-fleur	Microonde	Vit C↑, Vit A↑, Vit E↓, Vit K↑ Vit C↑, Vit (B1↑, B2↓, B3↓, B6↑, B9↓) Vit C↑, Vit A↓, Vit E↑, Vit C↑, Vit A↑, Vit E↑, Vit K↑, Vit B9↑ Vit C↓	(Lee et al., 2018) (Rumm-Kreuter and Demmel, 1990) (Pellegrini et al., 2010)
Brocoli épinard Pomme de terre Carotte Chou-fleur	Cuisson à la vapeur	Vit C↑, Vit A↑, Vit E↑, Vit K↑ Vit C↓, Vit A↑, Vit E↑, Vit K↑, Vit B9↓ Vit C↓ Vit C↓, Vit A↑, Vit E↑ Vit C↓	(Lee et al., 2018) (Rumm-Kreuter and Demmel, 1990) (Pellegrini et al., 2010)

↑ (augmentation), ↓ (diminution), = (stable), Vitamine A (β- carotène)

2.1.3. Les mécanismes de dégradations et d'améliorations de la teneur des vitamines

Plusieurs mécanismes peuvent expliquer l'augmentation et/ou la diminution de la teneur en vitamines après cuisson :

- ❖ La perte de la vitamine C dans presque tous les légumes est due à l'hydrosolubilité et la sensibilité de cette vitamine à la température élevée durant la cuisson.
- ❖ L'augmentation de la vitamine E dans les légumes après cuisson pourrait être attribuée au ramollissement des tissus par rupture des cellules chez les plantes et par conséquent, la vitamine E est libérée des lipides. La perte de la vitamine E durant la cuisson peut être attribuée à l'effondrement des compartiments cellulaires causés par les enzymes oxydantes (Knecht et al., 2015).
- ❖ La cuisson des aliments pourrait augmenter l'extraction du β -carotène (provitamine A) en ramollissant les parois végétales et en perturbant les complexes caroténoïdes-protéines (Bernhardt and Schlich, 2006). La diminution de la teneur en β -carotène par les modes de cuisson pourrait être due à l'altération de l'état physique des carotènes (Marx et al., 2003).
- ❖ L'augmentation de la vitamine K après la cuisson dans tous les légumes est due à la dégradation de la paroi cellulaire et libération de cette vitamine (Lee et al., 2018).
- ❖ La vitamine B1 (VitB1), ou thiamine, est une vitamine instable à la chaleur et très soluble dans l'eau. Sa stabilité dépend du degré de chauffage et des propriétés de la matrice alimentaire (Eitenmiller and Laden, 1999).
- ❖ La riboflavine est stable par rapport à l'oxydation et à la chaleur mais sensible à la lumière. Roche et Maskova (Roche, 1976; (Maskova et al., 1994) ont rapporté que des pertes de riboflavine n'étaient observées qu'au cours d'une longue ébullition. Par conséquent, les pertes observées de cette vitamine résultent très probablement d'une lixiviation dans l'eau de cuisson (Ayrançi and Kaya, 1993).
- ❖ La niacine est la vitamine hydrosoluble la plus stable. Les procédures de transformation et de cuisson ne désactivent pas la niacine. La lixiviation est généralement la principale voie de perte de la niacine pendant la préparation des aliments.
- ❖ La dégradation thermique de la vitamine B6 augmente avec l'élévation du pH. Les pertes de la vitamine B6 dans les légumes peuvent être élevées et elles résultent de la lixiviation dans l'eau. Les pertes de la Vit 9 sont dues au lessivage. Cette vitamine est sensible à la chaleur, la lumière, l'air, aux oxydants et aux réducteurs (Lešková et al., 2006).

- ❖ Les études qui ont cherché à évaluer les pertes de Vit B9 dans les légumes verts et les autres végétaux ne sont pas toutes concordantes. Même si le taux de perte à la cuisson est souvent décrit comme allant de 50 à 70 %, aucun classement des modes de cuisson ne peut être proposé avec certitude (Stea et al., 2007).

2.2. Les minéraux

2.2.1. Définition

Les minéraux tels que le calcium, le zinc et le potassium sont nécessaires à l'organisme pour un certain nombre de processus tels que la décomposition, la digestion et la libération de l'énergie des aliments, le renforcement des os, des ongles et des dents et la régulation des fluides et du cholestérol dans le corps (Meacham et al., 2008).

2.2.2. Effet de la cuisson sur les minéraux

La perte en minéraux pendant la cuisson des légumes est moindre dans tous les légumes. La rétention du magnésium (>90%) dans les légumes était plus importante que celle du fer et du calcium après la cuisson. En général, les sels de calcium ne sont pas aussi solubles que les autres sels de sodium et de potassium et la perte de calcium représente environ un quart du calcium total de l'aliment (Oser et al., 1943). Peterson et al ont rapporté que la perte de calcium était d'environ 30% du calcium total en utilisant des quantités moyennes et grandes d'eau pour la cuisson des légumes. Les sels de magnésium sont plus solubles que ceux de calcium (Peterson et al., 1925). Dans les légumes, la solubilité de la plupart des sels minéraux augmente avec la température de l'eau. De même, la perte de calcium dépend de la nature de l'eau utilisée pour la cuisson (Noble and Halliday, 1937).

Les minéraux perdus pendant la cuisson se lessivent vers l'eau de cuisson (Huma et al., 2008). D'autre part, un gain en certains minéraux est observé dans certaines situations : la cuisson dans une eau dure entraîne un enrichissement en calcium (Cuq and Guilbert, 1992).

III. Effet de la cuisson les composés phytochimiques

1. Effet sur les caroténoïdes

1.1. Définition et structure

Les caroténoïdes sont des terpénoïdes constitués de huit unités isoprènes avec un squelette à 40 atomes de carbone. Leurs structures consistent généralement en une chaîne polyénique avec neuf doubles liaisons conjuguées et un groupe terminal aux deux extrémités de la chaîne polyénique (Maoka, 2020). À ce jour, plus de 750 caroténoïdes ont été identifiés dans diverses sources naturelles. Les caroténoïdes sont des composés non polaires qui confèrent des teintes jaunes, orange et rouges à un certain nombre de fruits et légumes couramment consommés (Britton et al., 2004). La lipophilie de ces composés influe également sur leur absorption, leur transport et leur excrétion dans l'organisme (Stahl and Sies, 1993). Ils sont synthétisés par des organismes photosynthétiques et certains organismes non-photosynthétiques (bactéries et champignons) (Ruiz-Sola and Rodríguez-Concepción, 2012). Tous les caroténoïdes sont des antioxydants efficaces qui protègent le système cellulaire contre une diversité de dérivés d'oxygène réactif et d'espèces azotées réactives (Rodrigues et al., 2012).

1.2. La classification

Les caroténoïdes sont classés principalement en deux groupes : les carotènes, qui sont composés uniquement de carbone et d'hydrogène, et les xanthophylles qui sont des dérivés oxygénés (Urich, 1994).

1.2.1. Les carotènes

1.2.1.1. L' α et le β -carotène

Ce sont des terpénoïdes (C_{40}) sans oxygène et principalement responsables de la couleur orange/rouge. L' α et le β -carotène (figure 1) sont les deux carotènes essentiels qui agissent comme une provitamine A impliquée dans l'amélioration de la santé oculaire (Strobel et al., 2007). Cependant, le β -carotène (forme *trans*) a un potentiel plus élevé de production de vitamine A que l' α -carotène ou la β -cryptoxanthine et a donc été largement étudié (Grune et al., 2010; Fernández-García et al., 2012).

1.2.1.2. Le lycopène

C'est un caroténoïde acyclique non polaire en $C_{40}H_{56}$ (figure 1) (Richelle et al., 2012). Les 11 doubles liaisons conjuguées ainsi que quelques deux doubles liaisons non conjuguées présentes dans le lycopène permettent une isomérisation importante (Zechmeister, 1944). Il est responsable de la couleur rouge à rose des tomates, du pamplemousse rose et d'autres aliments (Story et al., 2010). Ils peuvent être de puissantes molécules antioxydantes et sont particulièrement efficaces pour éliminer l'oxygène singulet (Sies and Stahl, 1995).

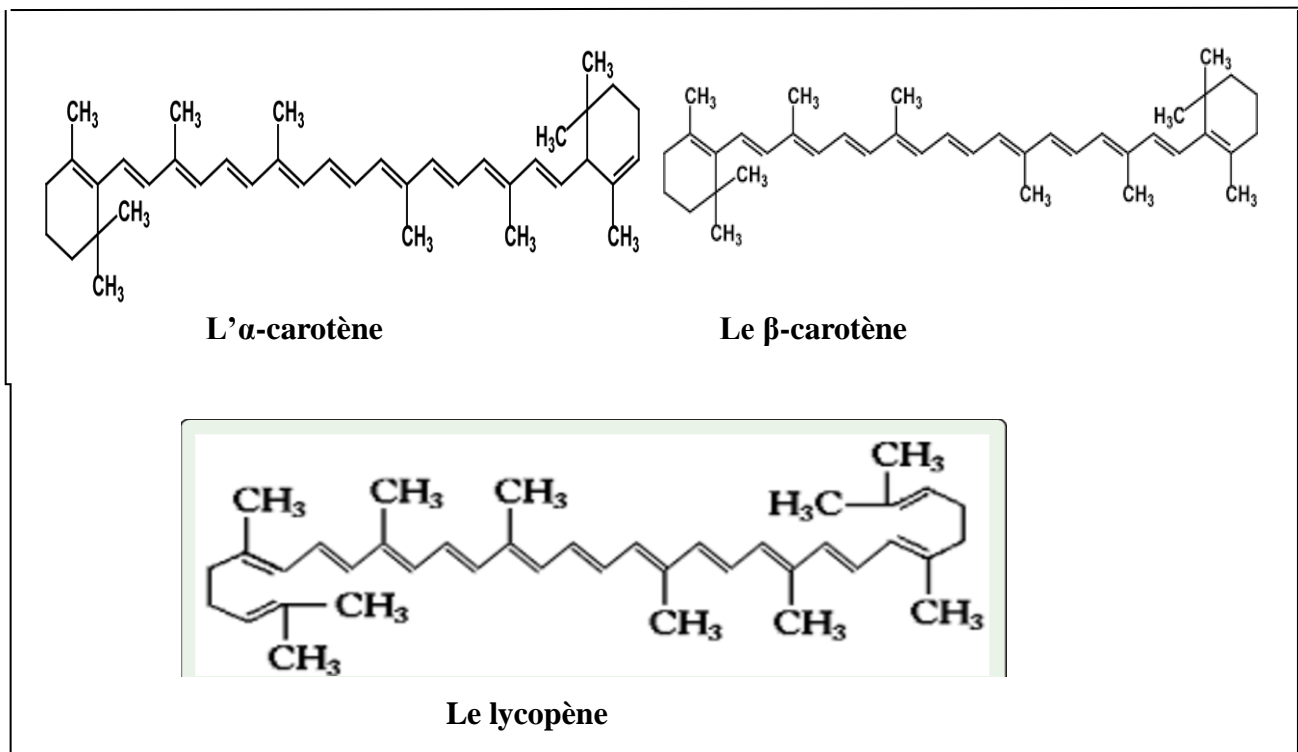


Figure 1 : Les différentes structures chimiques des carotènes

1.2.2. Les xanthophylles

1.2.2.1. La lutéine ($C_{40}H_{56}O_2$)

La lutéine (figure 2) est l'un des caroténoïdes naturels les plus connus dans le règne végétal. La couleur jaune de la lutéine est directement liée à sa structure et, par conséquent, donne une couleur jaune au jaune d'œuf, à la graisse animale et à la macula rétinienne de l'œil humain (Kalariya et al., 2012). Les propriétés antioxydantes de la lutéine signifient également qu'elle peut piéger les radicaux libres dans le corps humain, ce qui peut également être bénéfique pour la santé humaine en général (Yang et al., 2018).

1.2.2.2. La zéaxanthine

La zéaxanthine (figure 2) de formule moléculaire de $C_{40}H_{56}O_2$ est le principal pigment du maïs jaune, du jaune d'œuf et de certains légumes et fruits oranges et jaunes (Handelman et al., 1999). La zéaxanthine ne présente aucune activité provitaminique. C'est un isomère de la lutéine avec des structures très proches et est produite par la même voie métabolique. Les seules différences entre les molécules sont la position de la double liaison dans l'un des anneaux ioniques (Zhao et al., 2013).

1.2.2.3. La β -cryptoxanthine

La β -cryptoxanthine (figure 2) est un caroténoïde de formule $C_{40}H_{56}O$ appartenant au groupe des composés oxydés. C'est l'un des caroténoïdes les moins connus ayant une activité provitamine A et peut être plus bioefficace que l' α -carotène. Les meilleures sources alimentaires de β -cryptoxanthine sont les oranges, les papayes, les pêches et les mandarines. Des études suggèrent que la consommation de la β -cryptoxanthine alimentaire est associée à des taux plus faibles de cancer du poumon (Tanumihardjo and Yang, 2005).

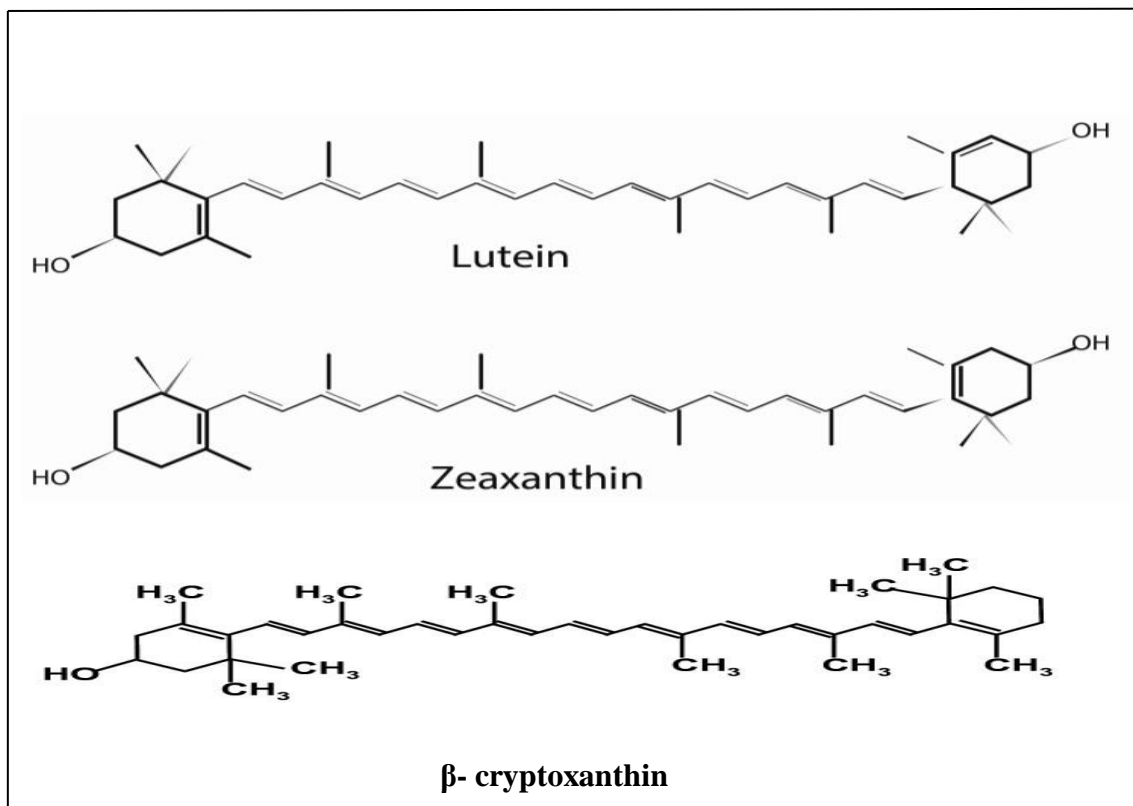


Figure 2 : Les différentes structures chimiques de la classe xanthophylles.

1.3. Effet de la cuisson sur les caroténoïdes

L'attention est souvent portée sur la transformation industrielle mais la préparation à domicile peut également entraîner des pertes de caroténoïdes, parfois dans des proportions plus importantes.

De par leur structure chimique, en particulier la présence d'une chaîne carbonée polyconjuguée, les caroténoïdes sont des molécules sensibles à l'oxygène, la lumière, l'acidité, aux métaux et à la chaleur (Caris-Veyrat et al., 2003).

Le tableau III résume la plupart des études de l'effet de la cuisson sur les caroténoïdes. Nous voyons que la cuisson à la vapeur est le mode de cuisson qui entraîne une augmentation des caroténoïdes. Pour l'ébullition, la plupart des articles ont indiqué des pertes de caroténoïdes et une légère augmentation de β -carotène dans les carottes. Pour la friture, la plupart des articles ont rapporté une diminution des caroténoïdes après la friture, les autres modes de cuisson tels que la cuisson au microonde affectent peu la teneur en caroténoïdes.

Les traitements thermiques peuvent altérer la composition et la bioactivité des pigments des légumes et provoquent ainsi leur isomérisation et oxydation. Ces changements dépendent du type de traitement thermique appliqué et de son intensité au cours de la cuisson (Cervantes-Paz et al., 2014).

Selon Caris-Veyrat et al. (Caris-Veyrat et al., 2003), les mécanismes classiques de dégradation des caroténoïdes sont les suivants :

- isomérisation d'une ou de plusieurs doubles liaisons de la chaîne hydrocarbonée de E-caroténoïde et formation de Z-caroténoïdes;
- oxydation des doubles liaisons Z en époxyde ;
- clivage oxydant de la fonction époxyde pour produire des produits de coupure possédant des fonctions aldéhyde ou cétone de longueur de chaîne variable, les plus longs pouvant à leur tour être clivés et oxydés pour former les apo-caroténoïdes plus courts. Des molécules à chaîne plus courte pourraient ensuite se former pour donner des molécules volatiles.

Tableau III : Effets des modes de cuisson sur les caroténoïdes dans les légumes.

Mode de cuisson	Légume	Effet de cuisson		Référence
Vapeur	Brocoli	Lutéine ↑ 74%	β-carotène ↑ de 25%	(dos Reis et al., 2015)
	Chou-fleur	↑ de 35%	↓ de 71%	
	Epinards	↑ de 14% en lutéine et ↓ de 13% en β-carotène.		(Eriksen et al., 2016)
	Haricot vert	↑ de la teneur en caroténoïdes totaux.		(Bureau et al., 2015)
Friture	Pomme de terre	↓ significative du β-carotène.		(Kim et al., 2015)
	Tomate	↓ de la teneur en lycopène.		(Mayeaux et al., 2006; Sahlin et al., 2004)
	Epinards	↑ de 26% en β-carotène et 18% en lutéine		(Eriksen et al., 2016)
Micro-ondes	Brocoli	↑ la teneur en lutéine de 3% et ↓ de (29%) pour β-carotène.		(Nunn et al., 2006)
	Epinards	↑ de 10% en β-carotène et ↓ de 9% en lutéine.		(Khachik et al., 1992)
	Chou-fleur	↓ de 2% de β-carotène et 8% pour lutéine		(dos Reis et al., 2015)
Ébullition	Carotte	une ↑ (14 %) de la teneur en β-carotène		(Miglio et al., 2008)
	Chou-fleur	↑ de (31%) de β-carotène et de (11%) de lutéine		(dos Reis et al., 2015)

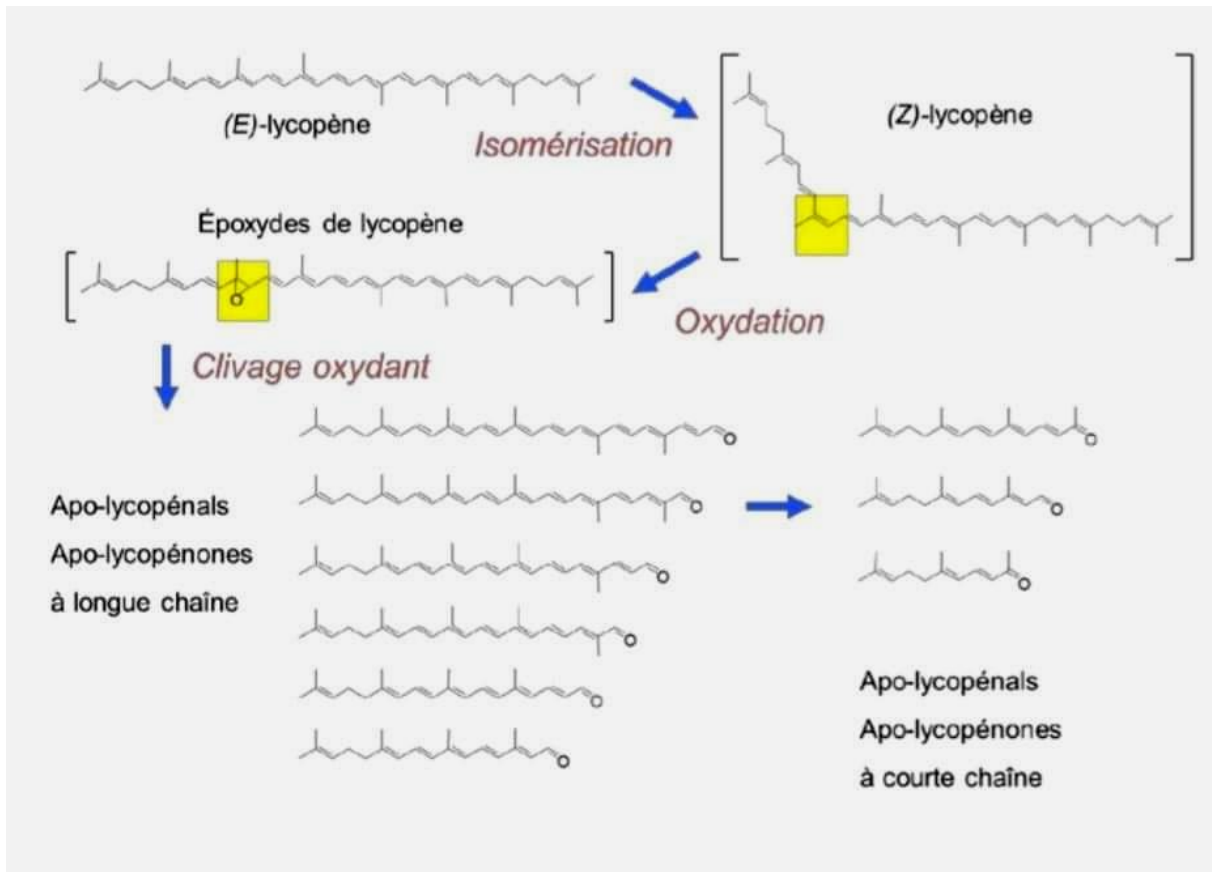


Figure 3 :Exemples de mécanisme de dégradation du lycopène au cours de la cuisson (Caris-Veyrat et al., 2003).

La teneur en caroténoïdes des aliments a été significativement affectée par les procédés de cuisson. D'un autre côté, selon d'autres chercheurs, la cuisson domestique peut augmenter la teneur en caroténoïdes par rapport au produit frais non cuit. Ce phénomène peut s'expliquer par la dégradation de la cellulose dans la paroi cellulaire de la cellule végétale, ainsi que la meilleure extractibilité des caroténoïdes à partir des matières végétales contenant ces composés en raison de la dénaturation des complexes caroténoïdes-protéines pendant le traitement thermique. Ce même phénomène a été observé au niveau des caroténoïdes de la pomme de terre qui, liés aux protéines (par exemple, protéine-xanthophylle), ont été dissociés avec une augmentation détectable des caroténoïdes des pommes de terre cuites (de Sá and Rodriguez-Amaya, 2003;Burmeister et al., 2011).

Des études de bioaccessibilité et de biodisponibilité ont indiqué que les isomères *cis* sont plus facilement solubilisés dans les micelles que les caroténoïdes *trans* (Borel, 2003) et une meilleure biodisponibilité des isomères *cis* en traversant la paroi intestinale (Richelle et al., 2012).

2. Les polyphénols

2.1. Définition et structure

Les polyphénols sont des métabolites secondaires complexes exclusivement synthétisés par le règne végétal (Collin et al., 2011). Ils peuvent aller de molécules simples (acides phénoliques simples) à des molécules hautement polymérisées (tanins condensés) (Urquiaga and Leighton, 2000), de poids moléculaires compris entre 100 Da pour les composés phénoliques simples à 30 000 Da pour les polymères complexes (Cirillo and Iemma, 2012). Ce sont des substances possédant plus d'un cycle benzénique portant un ou plusieurs fonctions hydroxyles (OH) qui peuvent être libres ou engagés. Plus de 8 000 composés phénoliques ont été isolés et identifiés (Tao and Lambert, 2014). Ces composés sont présents dans les racines, les tiges, les fleurs et les feuilles des végétaux (Vautrin, 2005). Ils sont généralement plus diverses et abondants dans les fruits, les légumes, les feuilles et les graines (Câmara et al., 2013). Les polyphénols sont essentiels dans l'interaction de la plante avec son environnement (Urquiaga and Leighton, 2000) et peuvent constituer des signaux de reconnaissance entre les plantes, ou bien lui permettant de résister aux diverses agressions vis-à-vis des organismes pathogènes. Donc ces composés jouent un rôle essentiel dans l'équilibre et l'adaptation de la plante au sein de son milieu naturel. D'un point de vue thérapeutique, ces molécules constituent la base des principes actifs que l'on trouve dans les plantes médicinales (Macheix et al., 2005).

2.2. Classification

Les composés phénoliques peuvent être regroupés en une dizaine de sous-classes qui se différencient par leurs structures de base et les substituants qu'ils portent (Neve and Pincemail, 2008). On distingue principalement les phénols simples, les flavonoïdes, les lignanes et les stilbènes (Boros et al., 2010). Les différentes classes de polyphénols sont présentées en figure 4.

2.2.1. Les acides phénoliques

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 des acides hydroxycinnamiques contenus dans la plupart des fruits. La plus

grande proportion se retrouvant généralement sur la face extérieure de la peau du fruit mûr (Benbrook, 2005).

2.2.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent le groupe le plus courant de polyphénols végétaux en fournissant une grande partie des précurseurs de couleur et de saveur aux fruits et légumes. Ils constituent des pigments responsables des colorations jaune, orange et rouge de différents organes végétaux (Havsteen, 2002). Ce sont des dérivés de la benzo- γ -pyrone constitués d'éléments phénoliques et pyraniques et sont classés selon leurs substitutions. Les six principales sous-classes de flavonoïdes sont les suivantes : les flavones, les flavonols, les flavanones, les flavanols, les anthocyanidines et les isoflavones. (Perla et al., 2012). La plupart des flavonoïdes sont présents dans la nature sous forme de glycosides et autres formes conjuguées, qui contribuent à leur complexité et leur diversité (Harborne and Williams, 2000). Les flavonoïdes sont très répandus dans la plupart des fruits, légumes et graines comestibles.

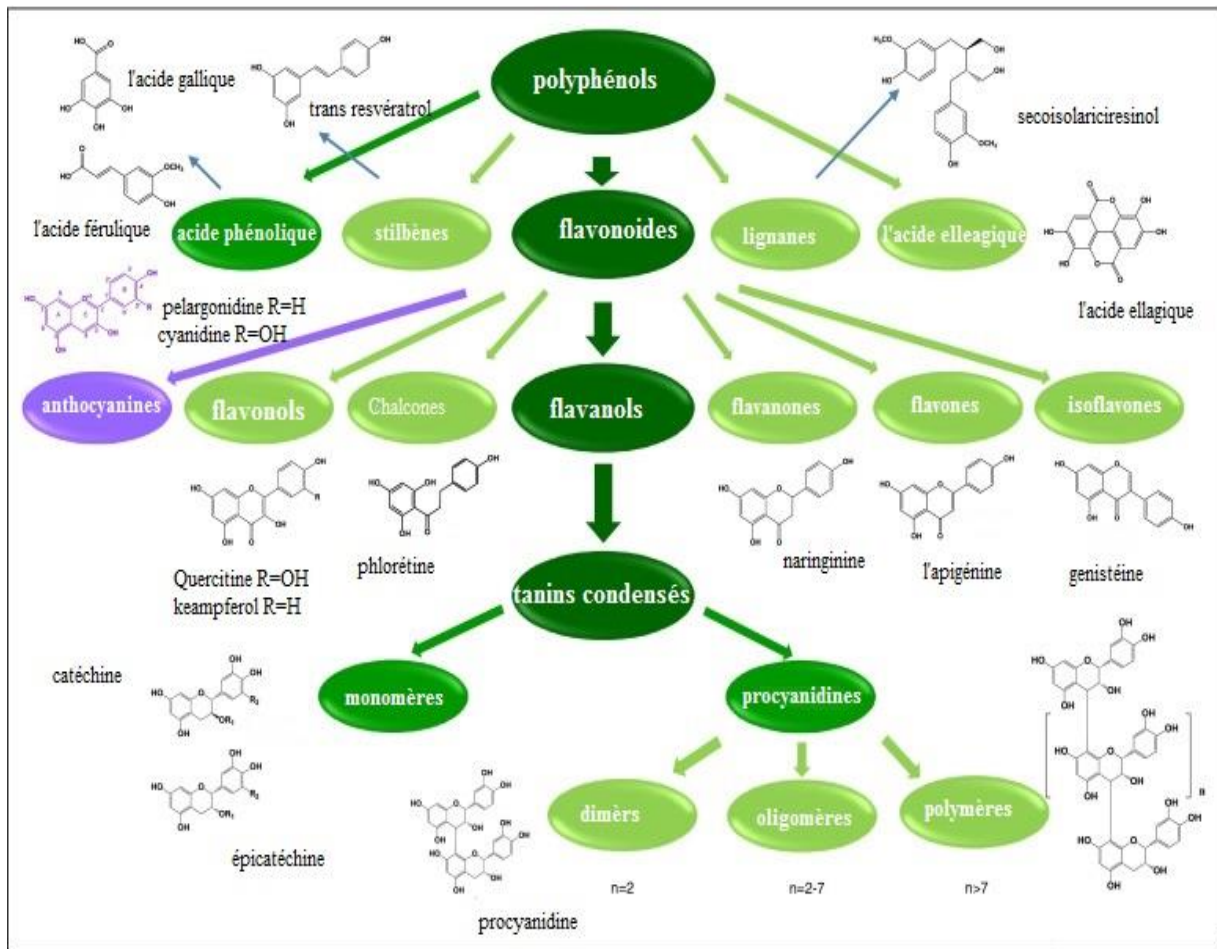


Figure 4 : Les différentes structures chimiques des classes de polyphénols (Zhang and Tsao, 2016)

2.2.2.1. Les anthocyanidines

Les anthocyanidines sont les principaux composants des pigments rouges, bleus et violets de la majorité des pétales de fleurs, des fruits et légumes et de certaines variétés spéciales de céréales, par exemple le riz noir (Tsao, 2010). Chez les plantes, elles ont pour fonction d'attirer les pollinisateurs et les disperseurs de graines et agissent également comme photo-protecteurs en piégeant les radicaux libres générés pendant la photosynthèse (Stintzing and Carle, 2004). Les anthocyanes dans les plantes existent principalement sous des formes glycosidiques qui sont communément appelées anthocyanes. La cyanidine, la delphinidine et la pélargonidine sont les anthocyanidines les plus répandues avec plus de deux douzaines d'autres anthocyanidines monomères (un total de 31 anthocyanidines) (Andersen and Markham, 2006).

2.2.2.2. Les proanthocyanidines

Les proanthocyanidines, plus connues sous le nom de tanins condensés, sont des flavan-3-ols ou des flavanols oligomères et polymères. Les procyanidines (polymères de l' (épi) catéchine) sont les plus courantes dans les aliments. Cependant, les prodelphinidines (dérivées à partir de l' (épi)gallocatéchine) et les propélargonidines (dérivées de l'afzéline) ont également été identifiées (Gu et al., 2004). La présence des proanthocyanidines sont limitées à quelques types d'aliments et de fruits qui sont les principales sources de proanthocyanidines dans le régime alimentaire, alors que les légumes sont une source mineure (Prior and Gu, 2005).

2.2.3. Les phytoestrogènes

Les phytoestrogènes sont des substances chimiques d'origine végétale naturelles qui ont la capacité de provoquer des effets oestrogéniques et/ou antiœstrogéniques en raison de leurs similitudes structurales avec l'hormone humaine, l'œstradiol. La majorité des phytoestrogènes appartiennent à un large groupe de composés phénoliques. En général, les phytoestrogènes sont des œstrogènes relativement faibles, nécessitant des concentrations beaucoup plus élevées que l'œstradiol pour produire une réponse biologique équivalente (Gültekin and Yildiz, 2019).

Chez les plantes, ces composés se produisent principalement sous forme de glycosides, ils agissent comme antioxydants, filtres contre la lumière et surtout agissent comme des agents défensifs contre les prédateurs (Mazur and Adlercreutz, 1998). Les principales classes de phytoestrogènes sont les isoflavones, les lignanes et les stilbènes.

2.2.3.1. Les isoflavones

Les isoflavones ont une structure de 1,2-diarylpropane et sont présents dans les aliments végétaux soit sous forme d'aglycone (génistéine, daidzéine ou glycitine) ou sous forme de glycosides y compris l'acétyle et le malonyl glycosides et les β -glucosides (Barnes et al., 1994).

2.2.3.2. Les lignanes

Les lignanes sont des dimères d'unités phénylpropanoïde (C6-C3) liés par les carbones centraux de leurs chaînes latérales (Haworth, 1936). Les lignanes, connus depuis longtemps comme produits naturels, sont distribués largement dans le règne végétal. Divers lignanes sont connus pour leur activité anti-tumorale, antimitotique, antivirale et pour leur capacité à inhiber spécifiquement certaines enzymes (MacRae and Towers, 1984).

2.2.3.3. Les stilbènes

Les stilbènes sont une classe de métabolites secondaires polyphénoliques dont le principal critère de reconnaissance réside dans la présence, au sein de leur structure chimique, du 1,2-diphényléthylène ou du 1,2-diphényléthane comme unité de base. Un stilbène monomérique est ainsi formé de deux noyaux aromatiques reliés par un pont éthylène (Ramawat and Mérillon, 2013). Les stilbènes sont des phytoalexines, composés produits chez les plantes en réponse à l'attaque par les microbes pathogènes fongiques, bactériens et viraux. Les sources principales des stilbènes sont les raisins, les vins, le soja et les arachides (Crozier et al., 2006).

2.3. Effet de la cuisson sur les polyphénols

2.3.1. Effet sur les acides phénoliques

Les modifications des acides phénoliques lors de la cuisson pourraient principalement résulter de trois séries de réactions : (1) dégradation par oxydation des acides phénoliques, (2) libération d'acides libres à partir des formes conjuguées et (3) formation de complexes de substances phénoliques à partir de composés apparentés tels que les protéines, les tanins et les anthocyanes (Barroga et al., 1985). Les différents effets de la cuisson sur les acides phénoliques sont présentés dans le tableau IV.

Tableau IV : Effet des modes de cuisson sur les acides phénoliques des légumes

Mode de cuisson	Légume	Effet	Référence
Ébullition	Carotte	une perte totale d'acide chlorogénique. une augmentation jusqu'à 24% de la TAP.	(Perla et al., 2012) (Miglio et al., 2008)
	Carotte	Diminution de 31% TAP	(Miglio et al., 2008)
Friture	Brocoli. Pomme de terre.	Diminution de 72% de la TAP	(Tudela et al., 2002)
	Artichaut	Augmentation de 66-94% d'acide caféoylquinique.	(Ferracane et al., 2008)
Micro-ondes	Brocoli	Diminution de 14% de TAP	(Vallejo et al., 2003)

TAP : teneur en acides phénolique.

2.3.2. Effet sur Les flavonoïdes

L'effet des procédés de cuisson domestique sur la teneur en flavonoïdes tels que la cuisson par ébullition, friture, cuisson au four ou par micro-onde a été étudié. Les données relatives à l'effet des traitements thermiques sur les flavonoïdes restent controversées entre celles qui ont rapporté l'absence d'une différence significative et d'autres qui montrent des pertes variables (Cools et al., 2011). Au cours de la cuisson, les pertes en flavonoïdes dépendent de leur nature chimique. L'augmentation de la teneur en flavonoïdes est liée à la perte de l'intégrité des tissus, des cellules, des membranes et des organites après traitement thermique (Olivera et al., 2008).

Le tableau V résume la plupart des études de l'effet des modes de cuisson sur les teneurs en flavonoïdes de quelques légumes.

Tableau V : Effet des modes de cuisson sur les flavonoïdes des légumes

Mode de cuisson	Légumes	Effets	Référence
Ébullition	Pomme de terre	Diminution de la teneur totale en flavonoïdes	(Giallourou et al., 2016) (Makris and Rossiter, 2000)
	Cresson		
	Oignons		
Vapeur	Choux rouge	Diminution de la teneur totale en anthocyanine	(Xu et al., 2014)
	Tomate	Augmentation de la teneur totale en flavonoïdes	(Capanoglu et al., 2008)
Friture	Poivre vert	Augmentation de la teneur en dérivés de quercétine	(Juániz et al., 2016)
Micro-ondes	Pomme de terre à chair violette	Diminution de la teneur totale en flavonoïdes	(Tian et al., 2016)

2.3.3. Effets sur les phytoestrogènes

La teneur en isoflavones de plusieurs aliments crus et cuits a été. Liggins et al. (2000) ont noté une perte totale d'isoflavones dans les pois et les fèves. Cependant, aucun effet n'a été signalé dans la patate douce (Liggins et al., 2000 ; Kuhnle et al., 2009). Une augmentation des isoflavones jusqu'à 80% a été rapportée dans certains échantillons. Cela peut être attribué à la libération provoquée par le traitement thermique des isoflavones préalablement liés à des protéines structurelles ou à des polysaccharides végétaux (Wu et al., 2006). Selon Shibata et al. (Shibata et al., 2006; Xu and Chang, 2008), la cuisson à la vapeur comme est la meilleure méthode de cuisson pour la conservation des isoflavones. A noter également que les traitements thermiques modifient le profil des isoflavones dans les produits à base de soja avec diminution des malonyl-glycosides et un changement vers les formes β -glucoside et aglycone (Jung et al., 2008).

Milderet al. (Milder et al., 2005; Penalvo et al., 2008) ont évalué la teneur en lignanes de plusieurs légumes crus et cuits et ont noté une réduction de lignanes dans les échantillons de Brassicacées après ébullition mais la perte la plus élevée (85%) a été observée dans les haricots (Kuhnle et al., 2009). Une augmentation de la teneur en lignanes dans plusieurs légumes (tubercules) après la cuisson a été rapportée. Cependant, aucune variation significative de lignanes de carotte n'a été observée.

IV. Effet de la cuisson sur la capacité antioxydante

1. Radicaux libres

1.1. Définition

Les radicaux libres peuvent être définis comme toute espèce chimique qui contient des électrons non appariés qui augmentent la réactivité chimique d'un atome ou d'une molécule (Moncada, Palmer, & Higgs, 1991). Il existe des radicaux primaires qui dérivent de l'oxygène par des réductions à un électron tels que l'anion superoxyde ($O_2^{\bullet-}$) et le radical hydroxyle (OH^{\bullet}), ou de l'azote tel que le monoxyde d'azote (NO^{\bullet}). D'autres espèces dérivées de l'oxygène dites espèces réactives de l'oxygène ERO, comme l'oxygène singulet O_2 , le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ou le nitroperoxyde ($ONOOH$) sont appelés des radicaux secondaires (Yoshikawa et al., 2000). Le radical hydroxyle, le plus puissant oxydant connu, a une demi-vie extrêmement courte, réagissant sur le site de sa formation par sa capacité à attaquer la plupart des molécules biologiques ce qui entraîne la propagation des réactions en chaîne des radicaux libres. Le superoxyde est formé lorsque l'oxygène accepte un électron et n'est pas en soi particulièrement réactif. Il est susceptible d'être plus important en tant que source de radicaux hydroxyles et de peroxyde d'hydrogène. L'oxyde nitrique, un exemple d'un radical physiologique, présente un intérêt considérable par son rôle de médiateur du tonus vasculaire (Moncada et al., 1991). Les différentes voies de génération des radicaux libres sont présentées dans la figure 5.

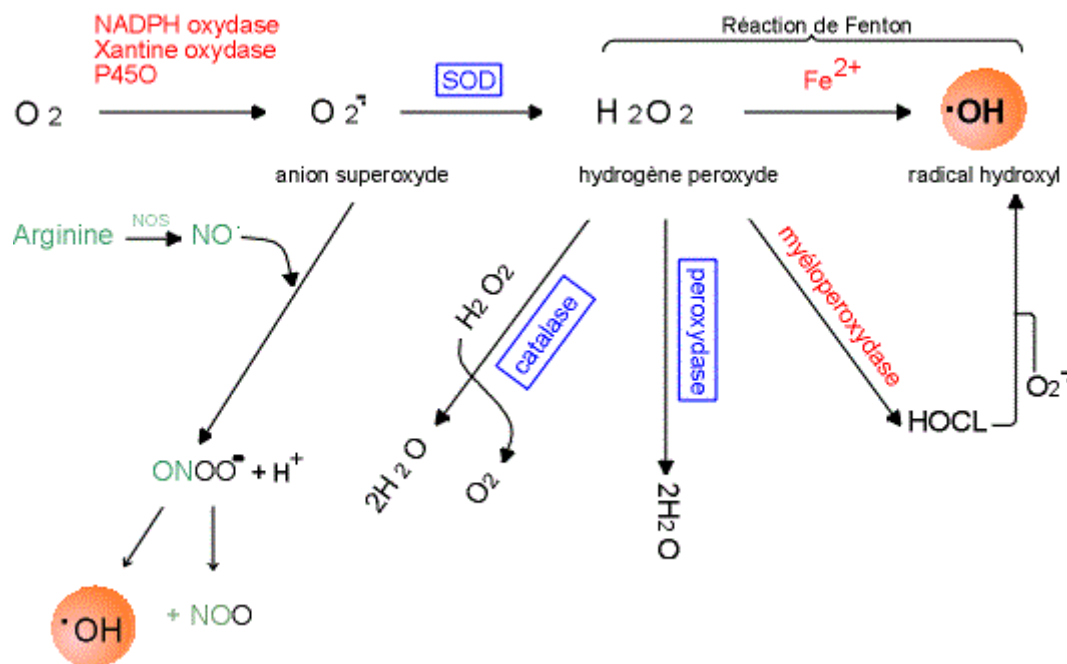


Figure 5 : les voies de formation des radicaux libres d'oxygène (Polla, 1999)

2. Le stress oxydatif

2.1. Définition

Le stress oxydatif est défini comme un déséquilibre entre la production de radicaux libres et l'activité des métabolites antioxydants. Il induit des dommages cellulaires aux lipides, protéines et aux membranes (Hugon et al., 1996).

2.2. Les conséquences du stress oxydatif

La production excessive de radicaux libres provoque des lésions directes des molécules biologiques (oxydation de l'ADN, des protéines, des lipides et des glucides).

2.2.1. Effets sur l'ADN

Il s'agit d'une molécule très sensible à l'attaque par les radicaux oxygénés. Cinq principales classes de dommages oxydatifs médiés par l' $\text{OH}\cdot$ peuvent être générées parmi lesquelles (Cadet et al., 2002) :

- Les bases oxydées (la guanine très sensibles à l'oxydation) ;
- Attaque de la liaison entre la base et le désoxyribose créant un site abasique ;
- Attaque des lipides dont la peroxydation générant des aldéhydes mutagènes, formant des adduits sur les bases de l'ADN de type MDA-guanine ou éthénodérivés ;
- Des cassures de brins peuvent perturber les mécanismes de réplication de l'ADN.

2.2.2. Effets sur les glucides

Les espèces réactives de l'oxygène attaquent les mucopolysaccharides et notamment les protéoglycanes du cartilage. L'oxydation du glucose dans des conditions physiologiques, en présence de traces métalliques, en libérant des radicaux $\text{OH}\cdot$, des cétoaldéhydes et l' H_2O_2 et qui entraîneront la coupure des protéines ou leur glycation par attachement du cétoaldéhyde formant des dérivés produits finaux de glycation avancée (Favier, 2003).

2.2.3. Effets sur les protéines

Les protéines les plus sensibles aux attaques radicalaires sont surtout les groupements sulfhydryles (SH). C'est le cas de nombreuses enzymes cellulaires et protéines de transport qui vont ainsi être oxydées et inactivées. Les protéines oxydées perdent leurs propriétés biologiques et deviennent aussi très hydrophobes, soit par suppression de groupements amines ionisables soit par extériorisation de zones hydrophobes centrales (Figure 3) (Favier, 2003).

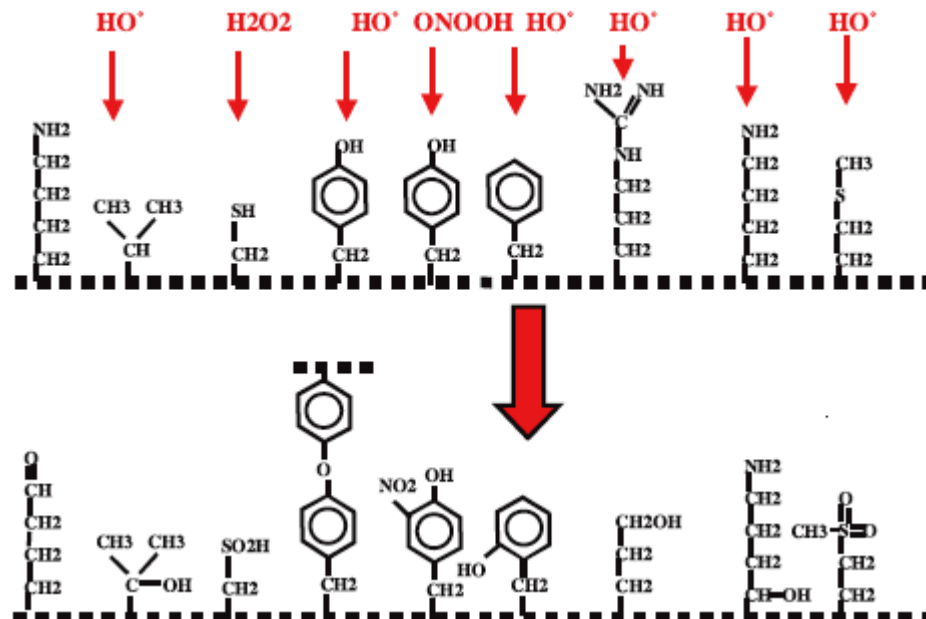


Figure 6 : Modifications des chaînes latérales des acides aminés des protéines après attaque radicalaire (Favier, 2003).

2.2.4. Effets sur lipides

Généralement, les acides gras polyinsaturés sont la cible privilégiée de l'attaque par le radical hydroxyle (Esterbauer et al., 1992). Ce radical est capable d'arracher un hydrogène sur les carbones situés entre deux doubles liaisons pour former un radical diène conjugué, oxydé en radical peroxyde (peroxydation lipidique). L'attaque des lipides circulants aboutissant à la formation des LDL (lipoprotéines de densité légère) oxydées qui, captées par des macrophages, formeront le dépôt lipidique de la plaque d'athérome des maladies cardiovasculaires. L'attaque des phospholipides membranaires modifiant la fluidité de la membrane et donc le fonctionnement de nombreux récepteurs et transporteurs et la transduction des signaux.

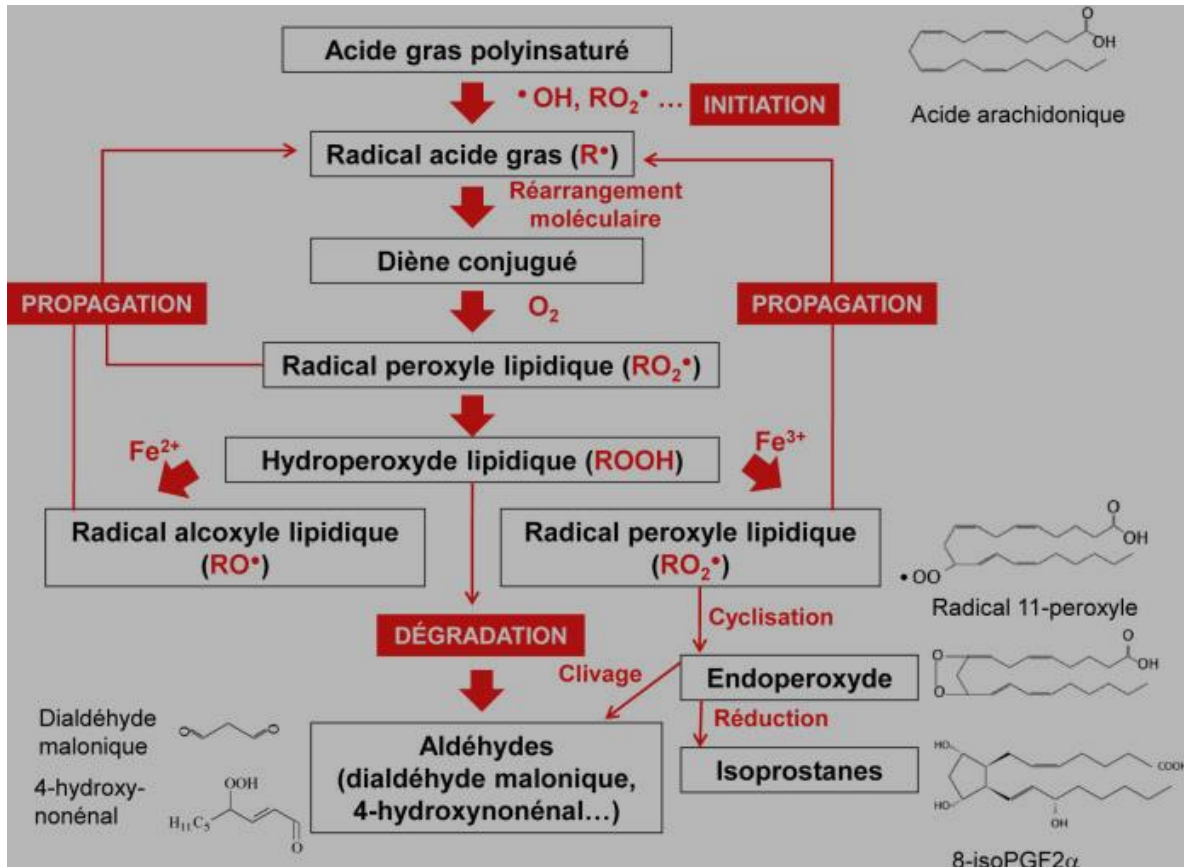


Figure 7: Modification en chaîne des acides gras insaturés après une attaque radicalaire (Favier, 2003).

3. Les antioxydants

3.1. Définition

Les antioxydants peuvent être définis comme des substances qui, lorsqu'elles sont présentes dans les aliments, retardent, contrôlent ou inhibent l'oxydation et la détérioration de la qualité des aliments. Dans l'organisme, les antioxydants réduisent le risque de maladies dégénératives dues au stress oxydatif (Shahidi, 2015). L'organisme possède deux systèmes de défense très efficaces : les antioxydants enzymatiques (superoxyde dismutase, catalase, glutathion peroxydase) et les antioxydants non enzymatiques (caroténoïdes, polyphénols, vitamines). Ces antioxydants sont d'autant plus importants que certains peuvent être utilisés en thérapeutique pour tenter de prévenir le stress oxydatif (Diplock, 1991).

3.2. Effet de la cuisson sur la capacité antioxydante

De toute évidence, les différentes méthodes de cuisson ont différents effets sur la capacité antioxydant totale (CAT). Ces variations dépendent du légume lui-même (structure des molécules bioactives), de la méthode de cuisson, de la température, de la localisation des composés dans les légumes, de la découpe, du hachage (Makris and Rossiter, 2001). Les différents effets des modes de cuisson sur la capacité antioxydante de quelques légumes sont présentés dans le tableau VI.

Tableau VI: Effets des modes de cuisson sur la capacité antioxydante des légumes

Mode de cuisson	Légumes	Effet de la cuisson	Références
Friture	Pomme de terre	↑ de (CAT) 60%	(Pellegrini et al., 2009)
	Artichaut	↑ de (CAT) 20%	
	Aubergine	↑ de (CAT) 10%	
	Oignon	↓ de CAT 30%	
Cuisson à la vapeur	Brocoli	↓ de (64%) la CAT	(Faller and Fialho, 2009)
	Carotte	↓ de (9%) CAT	
	Oignon	↓ de (17%) CAT	
	Pomme de terre	↑ de (3%) CAT	
Ebullition	Chou-fleur	↓ de (11%) CAT	(Girgin and El, 2015)
	Carotte	↓ de (5%) CAT	(Faller and Fialho, 2009)
	Oignon	↓ de (17%) CAT	
	Pomme de terre	↓ de (2%) CAT	
	Brocoli	↓ de (66%) CAT	
Micro-onde	Pomme de terre	↑ de (17%) CAT	(Faller and Fialho, 2009)
	Carotte	↓ de (8%) CAT	
	Oignon	↓ de (20%) la CAT	
	Brocoli	↓ de (64%) la CAT	

Les légumes cuits sont traditionnellement associés à une qualité nutritionnelle réduite en raison de la perte de composés notamment des antioxydants (Fillion and Henry, 1998).

Le chauffage peut entraîner plusieurs dégradation des antioxydants tels que l'oxydation, la lixiviation et autres phénomènes qui entraînent une diminution des antioxydants dans les aliments cuits par rapport aux aliments frais (Kalt, 2005). Nous citons comme exemple la formation de nouveaux composés ayant une activité prooxydante (produits de la réaction Maillard tels que les radicaux hautement réactifs) qui peut dépendre de l'intensité et de la durée du traitement thermique lui-même : lorsque le chauffage est réalisé à basse température, les phases qui contribuent à la formation de composés aux propriétés prooxydantes durent plus longtemps que dans le cas de traitements à haute température (Nicoli et al., 1999).

Une autre cause d'appauvrissement en antioxydants dans les fruits et légumes traités thermiquement est représentée par la consommation d'acide ascorbique et de polyphénols comme réactifs dans la réaction de Maillard (Djilas and Milić, 2005).

Selon Pellegrini et al. (Pellegrini et al., 2009), L'augmentation observée des valeurs de la CAT dans les légumes cuits, extrêmement élevée dans certains cas, sont dues à :

- 1) La libération des composés antioxydants de la matrice végétale par la destruction des parois cellulaires ;
- 2) L'isomérisation trans-cis des caroténoïdes ;
- 3) L'estérification intramoléculaire des polyphénols ainsi que leur polymérisation ;
- 4) La formation des produits de réaction de Maillard (PRM) qui possèdent une activité antioxydant. La réaction de Maillard est une réaction très complexe entre les carbonyles et les amines. Elle se produit spontanément au cours de la transformation et le stockage des aliments. Elle produit généralement une large gamme de produits ayant des odeurs et des couleurs, des propriétés antioxydantes, anti-allergiques, antimicrobiennes et cytotoxiques (Liu et al., 2008; Plavšić et al., 2006). Hayase et al indiquent que ce sont les PRM de haut poids moléculaire qui sont responsables des propriétés antioxydantes comme les mélanoidines (Hayase et al., 1989).
- 5) L'interaction entre différents composés. Ces événements, qui se produisent principalement lorsque différentes matrices alimentaires sont mélangées (Par exemple phase aqueuse et phase lipidique), ont des conséquences presque imprévisibles sur les propriétés antioxydantes et la stabilité des aliments. La transformation peut favoriser ou renforcer ces réactions.

- 6) Des découvertes récentes ont suggéré que les polyphénols partiellement oxydés peuvent présenter une activité antioxydante plus élevée que les formes non oxydées(Nicoli et al., 2000).

Conclusion

Les fruits et légumes sont riches en micronutriments (vitamines, minéraux) et en macronutriment (protéine, lipide, glucide). Ils contiennent également des fibres qui calment l'appétit de façon rapide et durable et qui facilitent le transit intestinal. Ils apportent peu de calories grâce à leur teneur élevée en eau et sont donc des aliments de choix dans la prévention de l'obésité et du diabète. Les antioxydants qu'ils renferment (caroténoïdes, vitamines C et E, polyphénols,...) pourraient expliquer l'effet protecteur reconnu des fruits et légumes vis-à-vis des maladies cardiovasculaires et des cancers.

Cependant, plusieurs légumes (pommes de terre, aubergine, courgette,...) ne peuvent pas être consommés en l'état et doivent subir une cuisson préalable. Les différentes méthodes de cuisson permettent d'attendrir les légumes, de les rendre plus onctueux et plus digestibles, d'éliminer les substances toxiques et les facteurs antinutritionnels et les enzymes responsables de diverses formes de dégradation et d'améliorer la qualité organoleptique.

La cuisson peut avoir des effets favorables et défavorables sur la teneur en macronutriments (protéine, lipide, glucide) et micronutriments (vitamines et minéraux). La cuisson augmente la digestibilité et la biodisponibilité des protéines et des glucides. Les macronutriments subissent plusieurs modifications : changements de structure, pertes et dégradations des éléments de base (acides aminés et acide gras) suite aux réactions chimiques (réaction de Maillard, oxydation, lipolyse) qui se produisent lors de la cuisson.

En plus, la cuisson peut altérer la teneur en vitamines et cela dépend du type de légume et de la méthode de cuisson appliquée. Par exemple les vitamines C, B1, B9, E, A sont les plus sensibles à la chaleur.

Les différents traitements thermiques ont des effets variables sur les molécules phytochimiques (caroténoïdes et polyphénols). Les caroténoïdes sont sensibles à la chaleur, ce qui entraîne des pertes importantes lors de la cuisson domestique. D'autre part, la chaleur peut dégrader la cellulose de la paroi cellulaire de la cellule végétale en libérant le contenu des caroténoïdes. La destruction thermique des parois cellulaires et les compartiments sous-cellulaires pendant le processus de cuisson favorise la libération des composés phénoliques ce qui entraîne une augmentation de la teneur en polyphénols dans les légumes cuits. D'autre part, l'exposition des légumes à de fortes températures provoque une diminution de la teneur en composés phénoliques.

Le stress oxydatif intervient sur tous les métabolismes de l'organisme en raison des cibles multiples des radicaux libres. L'effet des antioxydants est étroitement associé à la lutte contre les radicaux libres et à la réduction des dommages oxydatifs qui sont responsables de plusieurs maladies chroniques. La cuisson entraîne l'augmentation de la capacité antioxydante totale (CAT) presque dans tous les légumes cuits. Ceci pourrait être lié à la libération des composés antioxydants, soit en raison de la dégradation des structures cellulaires, ou en raison de la génération de produits néoformés de la réaction Maillard ayant une activité antioxydante.

Les différents modes de cuisson ont des effets variables sur les composés phytochimiques des légumes, cela dépend de plusieurs paramètres tels que le temps et la température de la cuisson ainsi que le type et les caractéristiques du légume lui-même. L'ébullition entraîne une perte importantes des molécules hydrosolubles des légumes ce qui affecte considérablement leurs valeurs nutritionnelles.

Pour conclure, il nous est difficile de dire qu'un tel mode de cuisson est meilleur que l'autre. Le choix de la cuisson dépend des aliments, des nutriments à préserver mais surtout du résultat gustatif souhaité par le consommateur.

En perspective, il serait intéressant d'élargir cette étude à d'autres types d'aliments autres que les légumes ainsi que de réaliser différents tests de cuisson de quelques légumes a fin de déterminer l'effet de la cuisson sur les molécules bioactives et dire quel est le meilleur mode de cuisson a recommander pour le consommateur.

Liste des références bibliographiques

- ALI, A. M., 2015. Effect of food processing methods on the bioactive compound of cauliflower. *Egyptian Journal of Agricultural Research* 93, 117-131.
- Andersen, O. M., Markham, K. R., 2006. *Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications*. Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications, pp. 1237-1237.
- Ayranci, G., Kaya, S., 1993. Kinetic analysis of the loss of some B-vitamins during the cooking of macaroni. *Food/Nahrung* 37, 153-155.
- Baldwin, D. E., 2012. Sous vide cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 1, 15-30.
- Barnes, S., Kirk, M., Coward, L., 1994. Isoflavones and their conjugates in soy foods: extraction conditions and analysis by HPLC-mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42, 2466-2474.
- Barroga, C. F., Laurena, A. C., Mendoza, E. M. T., 1985. Polyphenols in mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek): determination and removal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 33, 1006-1009.
- Barzegar, F., Kamankesh, M., Mohammadi, A., 2019. Heterocyclic aromatic amines in cooked food: A review on formation, health risk-toxicology and their analytical techniques. *Food Chemistry* 280, 240-254.
- Benbrook, C. M., 2005. Accroître la teneur en antioxydants des aliments grâce à l'agriculture et à la transformation alimentaire biologiques. *The organic center*, 6-8.
- Bernhardt, S., Schlich, E., 2006. Impact of different cooking methods on food quality: Retention of lipophilic vitamins in fresh and frozen vegetables. *Journal of Food Engineering* 77, 327-333.
- Bhagavan, N. V., 2002. *Medical biochemistry*. Academic press.
- Bimbenet, J., Duquenoy, A., Trystram, G., 2002. *Génie des procédés alimentaires: des bases aux applications*, édition DUNOD. ISBN.
- Borel, P., 2003. Factors affecting intestinal absorption of highly lipophilic food microconstituents (fat-soluble vitamins, carotenoids and phytosterols).
- Boros, B., Jakabová, S., Dörnyei, Á., Horváth, G., Pluhár, Z., Kilár, F., Felinger, A., 2010. Determination of polyphenolic compounds by liquid chromatography–mass spectrometry in *Thymus* species. *Journal of Chromatography A* 1217, 7972-7980.
- Britton, G., Liaaen-Jensen, S., Pfander, H., Mercadante, A., Egeland, E., 2004. *Carotenoids: handbook*. Springer Science & Business Media.

- Bureau, S., Mouhoubi, S., Touloumet, L., Garcia, C., Moreau, F., Bédouet, V., Renard, C. M., 2015. Are folates, carotenoids and vitamin C affected by cooking? Four domestic procedures are compared on a large diversity of frozen vegetables. *LWT-Food Science and Technology* 64, 735-741.
- Burmeister, A., Bondiek, S., Apel, L., Kühne, C., Hillebrand, S., Fleischmann, P., 2011. Comparison of carotenoid and anthocyanin profiles of raw and boiled *Solanum tuberosum* and *Solanum phureja* tubers. *Journal of food composition and analysis* 24, 865-872.
- Cadet, J., Bellon, S., Berger, M., Bourdat, A.-G., Douki, T., Duarte, V., Frelon, S., Gasparutto, D., Muller, E., Ravanat, J.-L., 2002. Recent aspects of oxidative DNA damage: guanine lesions, measurement and substrate specificity of DNA repair glycosylases.
- Câmara, C. R., Urrea, C. A., Schlegel, V., 2013. Pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a functional food: implications on human health. *Agriculture* 3, 90-111.
- Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., De Vos, R., 2008. Changes in antioxidant and metabolite profiles during production of tomato paste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 964-973.
- Caris-Veyrat, C., Schmid, A., Carail, M., Böhm, V., 2003. Cleavage products of lycopene produced by in vitro oxidations: characterization and mechanisms of formation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 7318-7325.
- Cervantes-Paz, B., Yahia, E. M., de Jesús Ornelas-Paz, J., Victoria-Campos, C. I., Ibarra-Junquera, V., Pérez-Martínez, J. D., Escalante-Minakata, P., 2014. Antioxidant activity and content of chlorophylls and carotenoids in raw and heat-processed Jalapeño peppers at intermediate stages of ripening. *Food Chemistry* 146, 188-196.
- Cheftel, J. C., 1986. Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chemistry* 20, 263-283.
- Cirillo, G., Iemma, F., 2012. Antioxidant polymers: Synthesis, properties, and applications. John Wiley & Sons.
- Collin, S., Counet, C., Callemien, D., Jerkovic, V., 2011. Nomenclature et voies de synthèse des principaux polyphénols.
- Combs Jr, G. F., McClung, J. P., 2016. The vitamins: fundamental aspects in nutrition and health. Academic press.
- Cools, K., Vicente, A., Terry, L. A., 2011. Methodologies for extraction, isolation, characterization and quantification of bioactive compounds. Health-promoting properties of fruit and vegetables, 371-377.
- Crozier, A., Jaganath, I. B., Clifford, M. N., 2006. Phenols, polyphenols and tannins: an overview. *Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet* 1, 1-25.

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.

de Sá, M. C., Rodriguez-Amaya, D. B., 2003. Carotenoid composition of cooked green vegetables from restaurants. *Food Chemistry* 83, 595-600.

Diplock, A. T., 1991. Antioxidant nutrients and disease prevention: an overview. *The American journal of clinical nutrition* 53, 189S-193S.

Djilas, S. M., Milić, B. L., 2005. Naturally occurring phenolic compounds as inhibitors of free radical formation in the Maillard reaction. *Maillard Reactions in Chemistry, Food and Health*. Elsevier, pp. 75-81.

dos Reis, L. C. R., de Oliveira, V. R., Hagen, M. E. K., Jablonski, A., Flôres, S. H., de Oliveira Rios, A., 2015. Carotenoids, flavonoids, chlorophylls, phenolic compounds and antioxidant activity in fresh and cooked broccoli (*Brassica oleracea* var. Avenger) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. Alphina F1). *LWT-Food Science and Technology* 63, 177-183.

Eitenmiller, R., Laden, W., 1999. Vitamin A and b-carotene. Ascorbic acid. Thiamin. Vitamin B-6. Folate. *Vitamin Analysis for the Health and Food Science*, CRC Press, Boca Raton, FL, 15-19.

Eriksen, J. N., Luu, A. Y., Dragsted, L. O., Arrigoni, E., 2016. In vitro liberation of carotenoids from spinach and Asia salads after different domestic kitchen procedures. *Food Chemistry* 203, 23-27.

Esterbauer, H., Gebicki, J., Puhl, H., Jürgens, G., 1992. The role of lipid peroxidation and antioxidants in oxidative modification of LDL. *Free Radical Biology and Medicine* 13, 341-390.

Faller, A., Fialho, E., 2009. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Research International* 42, 210-215.

Favier, A., 2003. Le stress oxydant. *L'actualité chimique* 108, 863-832.

Fernández-García, E., Carvajal-Lérida, I., Jarén-Galán, M., Garrido-Fernández, J., Pérez-Gálvez, A., Hornero-Méndez, D., 2012. Carotenoids bioavailability from foods: From plant pigments to efficient biological activities. *Food Research International* 46, 438-450.

Ferracane, R., Pellegrini, N., Visconti, A., Graziani, G., Chiavaro, E., Miglio, C., Fogliano, V., 2008. Effects of different cooking methods on antioxidant profile, antioxidant capacity, and physical characteristics of artichoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 8601-8608.

Fillion, L., Henry, C., 1998. Nutrient losses and gains during frying: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 49, 157-168.

- Giallourou, N., Oruna-Concha, M. J., Harbourn, N., 2016. Effects of domestic processing methods on the phytochemical content of watercress (*Nasturtium officinale*). *Food Chemistry* 212, 411-419.
- Girgin, N., El, S. N., 2015. Effects of cooking on in vitro sinigrin bioaccessibility, total phenols, antioxidant and antimutagenic activity of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *Botrytis*). *Journal of Food Composition and Analysis* 37, 119-127.
- Grune, T., Lietz, G., Palou, A., Ross, A. C., Stahl, W., Tang, G., Thurnham, D., Yin, S.-a., Biesalski, H. K., 2010. β -Carotene is an important vitamin A source for humans. *The Journal of nutrition* 140, 2268S-2285S.
- Gu, L., Kelm, M. A., Hammerstone, J. F., Beecher, G., Holden, J., Haytowitz, D., Gebhardt, S., Prior, R. L., 2004. Concentrations of proanthocyanidins in common foods and estimations of normal consumption. *The Journal of nutrition* 134, 613-617.
- Gültekin, E., Yildiz, F., 2019. Introduction to phytoestrogens. *Phytoestrogens in functional foods*. CRC Press, pp. 3-18.
- Handelman, G. J., Nightingale, Z. D., Lichtenstein, A. H., Schaefer, E. J., Blumberg, J. B., 1999. Lutein and zeaxanthin concentrations in plasma after dietary supplementation with egg yolk. *The American journal of clinical nutrition* 70, 247-251.
- Harborne, J. B., Williams, C. A., 2000. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry* 55, 481-504.
- Hardy, J., Parmentier, M., Fanni, J., 1999. Functionality of nutrients and thermal treatments of food. *Proceedings of the Nutrition Society* 58, 579-585.
- Havsteen, B. H., 2002. The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology & therapeutics* 96, 67-202.
- Haworth, R., 1936. Natural resins. *Annu. Rep. Prog. Chem* 33, 266-279.
- Hayase, F., Hirashima, S., Okamoto, G., Kato, H., 1989. Scavenging of active oxygens by melanoidins. *Agricultural and Biological Chemistry* 53, 3383-3385.
- Hugon, J., Hugon, F., Esclaire, F., Lesort, M., Diop, A., 1996. The presence of calbindin in rat cortical neurons protects in vitro from oxydative stress. *Brain research* 707, 288-292.
- Huma, N., Anjum, M., Sehar, S., Khan, M. I., Hussain, S., 2008. Effect of soaking and cooking on nutritional quality and safety of legumes. *Nutrition & Food Science*.
- Hutchings, J. B., 1999. Food colour and appearance in perspective. *Food colour and appearance*. Springer, pp. 1-29.
- Hwang, J.-H., Lee, K.-G., 2006. Reduction of aflatoxin B1 contamination in wheat by various cooking treatments. *Food Chemistry* 98, 71-75.
- Joyeux H., 1994. *L'alimentation ou troisième médecine*. 5ème édition. Collection Ecologie humaine. Paris, 660p.

- Juániz, I., Ludwig, I. A., Huarte, E., Pereira-Caro, G., Moreno-Rojas, J. M., Cid, C., De Peña, M.-P., 2016. Influence of heat treatment on antioxidant capacity and (poly) phenolic compounds of selected vegetables. *Food Chemistry* 197, 466-473.
- Jung, S., Murphy, P. A., Sala, I., 2008. Isoflavone profiles of soymilk as affected by high-pressure treatments of soymilk and soybeans. *Food Chemistry* 111, 592-598.
- Kalariya, N. M., Ramana, K. V., Frederik, J., 2012. Lutein. *Experimental eye research* 102, 107.
- Kalt, W., 2005. Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. *Journal of food science* 70, R11-R19.
- Karmas, E., Harris, R. S., 2012. *Nutritional evaluation of food processing*. Springer Science & Business Media.
- Khachik, F., Goli, M. B., Beecher, G. R., Holden, J., Lusby, W. R., Tenorio, M. D., Barrera, M. R., 1992. Effect of food preparation on qualitative and quantitative distribution of major carotenoid constituents of tomatoes and several green vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40, 390-398.
- Kim, H. J., Park, W. S., Bae, J.-Y., Kang, S. Y., Yang, M. H., Lee, S., Lee, H.-S., Kwak, S.-S., Ahn, M.-J., 2015. Variations in the carotenoid and anthocyanin contents of Korean cultural varieties and home-processed sweet potatoes. *Journal of food composition and analysis* 41, 188-193.
- Kinsman, D. M., Kotula, A., Breidenstein, B. C., 1994. *Muscle foods: meat, poultry, and seafood technology*.
- Knecht, K., Sandfuchs, K., Kulling, S. E., Bunzel, D., 2015. Tocopherol and tocotrienol analysis in raw and cooked vegetables: a validated method with emphasis on sample preparation. *Food Chemistry* 169, 20-27.
- Kuhnle, G. G., Dell'Aquila, C., Aspinall, S. M., Runswick, S. A., Joosen, A. M., Mulligan, A. A., Bingham, S. A., 2009. Phytoestrogen content of fruits and vegetables commonly consumed in the UK based on LC-MS and ¹³C-labelled standards. *Food Chemistry* 116, 542-554.
- Lee, E.-H., 2021. A review on applications of infrared heating for food processing in comparison to other industries.
- Lee, S., Choi, Y., Jeong, H. S., Lee, J., Sung, J., 2018. Effect of different cooking methods on the content of vitamins and true retention in selected vegetables. *Food science and biotechnology* 27, 333-342.
- Lešková, E., Kubíková, J., Kováčiková, E., Košická, M., Porubská, J., Holčíková, K., 2006. Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. *Journal of food composition and analysis* 19, 252-276.
- Li, H., Sun, D. W., Han, Z., Yu, X. C., 2017. Effects of low temperature cooking methods and holding times on selected quality attributes of cooked pork longissimus dorsi. *Journal of Food Process Engineering* 40, e12585.

Liggins, J., Bluck, L., Runswick, S., Atkinson, C., Coward, W., Bingham, S., 2000. Daidzein and genistein contents of vegetables. *British Journal of Nutrition* 84, 717-725.

Lindsay, R., 2008. Flavors, kap 10, *Fennemass Food Chemistry* 4. Utg. CRC Press, London.

Liu, R. H., 2013. Dietary bioactive compounds and their health implications. *Journal of food science* 78, A18-A25.

Liu, S.-C., Yang, D.-J., Jin, S.-Y., Hsu, C.-H., Chen, S.-L., 2008. Kinetics of color development, pH decreasing, and anti-oxidative activity reduction of Maillard reaction in galactose/glycine model systems. *Food Chemistry* 108, 533-541.

Macheix, J.-J., Fleuriet, A., Jay-Allemand, C., 2005. Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. *PPUR presses polytechniques*.

MacRae, W. D., Towers, G. N., 1984. Biological activities of lignans. *Phytochemistry* 23, 1207-1220.

Makris, D. P., Rossiter, J. T., 2000. Heat-induced, metal-catalyzed oxidative degradation of quercetin and rutin (quercetin 3-O-rhamnosylglucoside) in aqueous model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 3830-3838.

Makris, D. P., 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.

Mann, S., KAUR, H., GULATI, T., 1992. Effect of cooking on fibre content of vegetables. *Journal of food science and technology (Mysore)* 29, 185-186.

Maoka, T., 2020. Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of natural medicines* 74, 1-16.

Marx, M., Stuparic, M., Schieber, A., Carle, R., 2003. Effects of thermal processing on trans-cis-isomerization of β -carotene in carrot juices and carotene-containing preparations. *Food Chemistry* 83, 609-617.

Maskova, E., Rysova, J., Fiedlerova, V., Holasova, M., 1994. Vitamin and mineral retention in meat in various cooking methods. *Potravinarske Vedy-UZPI (Czech Republic)*.

Mayeaux, M., Xu, Z., King, J., Prinyawiwatkul, W., 2006. Effects of cooking conditions on the lycopene content in tomatoes. *Journal of Food Science* 71, C461-C464.

Mazur, W., Adlercreutz, H., 1998. Natural and anthropogenic environmental oestrogens: the scientific basis for risk assessment. *Pure Appl. Chem* 70, 1759-1776.

- Meacham, S., Grayscott, D., Chen, J.-J., Bergman, C., 2008. Review of the dietary reference intake for calcium: where do we go from here? *Critical reviews in food science and nutrition* 48, 378-384.
- Mehmood, A., Zeb, A., 2020. Effects of different cooking techniques on bioactive contents of leafy vegetables. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 100246.
- Miglio, C., Chiavaro, E., Visconti, A., Fogliano, V., Pellegrini, N., 2008. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. *Journal of agricultural and food chemistry* 56, 139-147.
- Milder, I. E., Arts, I. C., van de Putte, B., Venema, D. P., Hollman, P. C., 2005. Lignan contents of Dutch plant foods: a database including lariciresinol, pinoresinol, secoisolariciresinol and matairesinol. *British Journal of Nutrition* 93, 393-402.
- Mitjavila, S., 1986. Substances naturelles nocives des aliments. *Toxicologie et Sécurité des Aliments*, 594.
- Moncada, S., Palmer, R., Higgs, E., 1991. Nitric oxide: physiology, pathophysiology, and pharmacology. *Pharmacological Reviews* 43, 109-142.
- Neve, J., Pincemail, J., 2008. Antioxydants alimentaires: vitamines, oligoéléments et non-nutriments. *Aliments fonctionnels*. Paris: Lavoisier, 203-241.
- Nicoli, M., Anese, M., Parpinel, M., 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology* 10, 94-100.
- Nicoli, M. C., Calligaris, S., Manzocco, L., 2000. Effect of enzymatic and chemical oxidation on the antioxidant capacity of catechin model systems and apple derivatives. *Journal of agricultural and food chemistry* 48, 4576-4580.
- Noble, I., Halliday, E. G., 1937. Influence of calcium in cooking water upon mineral content of vegetables. *Food Research* 2, 499-503.
- Nunn, M. D., Giraud, D. W., Parkhurst, A. M., Hamouz, F. L., Driskell, J. A., 2006. EFFECTS OF COOKING METHODS ON SENSORY QUALITIES AND CAROTENOID RETENTION IN SELECTED VEGETABLES 1. *Journal of food quality* 29, 445-457.
- Olivera, D. F., Vina, S. Z., Marani, C. M., Ferreyra, R. M., Mugridge, A., Chaves, A. R., Mascheroni, R. H., 2008. Effect of blanching on the quality of Brussels sprouts (*Brassica oleracea* L. gemmifera DC) after frozen storage. *Journal of Food Engineering* 84, 148-155.
- Oser, B. L., Melnick, D., Oser, M., 1943. Influence of cooking procedure upon retention of vitamins and minerals in vegetables. *Food Research* 8, 115-122.
- Patil, B. S., Jayaprakasha, G. K., Chidambara Murthy, K., Vikram, A., 2009. Bioactive compounds: historical perspectives, opportunities, and challenges. *Journal of agricultural and food chemistry* 57, 8142-8160.

- Pellegrini, N., Chiavaro, E., Gardana, C., Mazzeo, T., Contino, D., Gallo, M., Riso, P., Fogliano, V., Porrini, M., 2010. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen brassica vegetables. *Journal of agricultural and food chemistry* 58, 4310-4321.
- Pellegrini, N., Miglio, C., Del Rio, D., Salvatore, S., Serafini, M., Brighenti, F., 2009. Effect of domestic cooking methods on the total antioxidant capacity of vegetables. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 60, 12-22.
- Penalvo, J. L., Adlercreutz, H., Uehara, M., Ristimaki, A., Watanabe, S., 2008. Lignan content of selected foods from Japan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 401-409.
- Perla, V., Holm, D. G., Jayanty, S. S., 2012. Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers. *LWT-Food Science and Technology* 45, 161-171.
- Peterson, W., Elvehjem, C., Jamison, L. A., 1925. Variations in the mineral content of cabbage and sauerkraut. *Soil Sci* 20, 451-457.
- Plavšić, M., Čosović, B., Lee, C., 2006. Copper complexing properties of melanoidins and marine humic material. *Science of the total environment* 366, 310-319.
- Polla, B. S., 1999. Therapy by taking away: the case of iron. *Biochemical pharmacology* 57, 1345-1349.
- Pomeranz, Y., 1985. Functional properties of food components. *Functional properties of food components*.
- Priestley, R., 1979. Effects of heating on foodstuffs. Applied science publishers.
- Prior, R. L., Gu, L., 2005. Occurrence and biological significance of proanthocyanidins in the American diet. *Phytochemistry* 66, 2264-2280.
- Promeyrat, A., Gatellier, P., Lebreton, B., Kajak-Siemaszko, K., Aubry, L., Sante-Lhoutellier, V., 2010. Evaluation of protein aggregation in cooked meat. *Food Chemistry* 121, 412-417.
- Ramaswamy, H. S., Marcotte, M., 2005. Food processing: principles and applications. CRC Press.
- Ramawat, K. G., Mérillon, J.-M., 2013. Natural products: phytochemistry, botany and metabolism of alkaloids, phenolics and terpenes. Springer.
- Richelle, M., Lambelet, P., Rytz, A., Tavazzi, I., Mermoud, A.-F., Juhel, C., Borel, P., Bortlik, K., 2012. The proportion of lycopene isomers in human plasma is modulated by lycopene isomer profile in the meal but not by lycopene preparation. *British Journal of Nutrition* 107, 1482-1488.
- 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. AgroParisTech.
- Rodrigues, E., Mariutti, L. R., Chisté, R. C., Mercadante, A. Z., 2012. Development of a novel micro-assay for evaluation of peroxy radical scavenger capacity: Application to carotenoids and structure-activity relationship. *Food Chemistry* 135, 2103-2111.

- Roudaut, G., Dacremont, C., Pàmies, B. V., Colas, B., Le Meste, M., 2002. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science & Technology* 13, 217-227.
- Ruiz-Sola, M. Á., Rodríguez-Concepción, M., 2012. Carotenoid biosynthesis in Arabidopsis: a colorful pathway. *The Arabidopsis book/American Society of Plant Biologists* 10.
- Rumm-Kreuter, D., Demmel, I., 1990. Comparison of vitamin losses in vegetables due to various cooking methods. *Journal of nutritional science and vitaminology* 36, S7-S15.
- Sahlin, E., Savage, G., Lister, C., 2004. Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *Journal of food composition and analysis* 17, 635-647.
- Salazar-González, C., San Martín-González, M. F., López-Malo, A., Sosa-Morales, M. E., 2012. Recent studies related to microwave processing of fluid foods. *Food and Bioprocess Technology* 5, 31-46.
- Santé-Lhoutellier, V., Astruc, T., Marinova, P., Greve, E., Gatellier, P., 2008. Effect of meat cooking on physicochemical state and in vitro digestibility of myofibrillar proteins. *Journal of agricultural and food chemistry* 56, 1488-1494.
- Schellekens, M., 1996. New research issues in sous-vide cooking. *Trends in Food Science & Technology* 7, 256-262.
- Selman, J., 1994. Vitamin retention during blanching of vegetables. *Food Chemistry* 49, 137-147.
- Shahidi, F., 2015. Antioxidants: Principles and applications. *Handbook of antioxidants for food preservation*. Elsevier, pp. 1-14.
- Shibata, K., Miyoshi, K., Watanabe, Y., Yasuhara, Y., 2006. Effects of boiling and steaming by steam convection oven on isoflavone derivatives in soybeans. *Journal of Japanese Society of Nutrition and Food Science (Japan)*.
- Sies, H., Stahl, W., 1995. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids as antioxidants. *The American journal of clinical nutrition* 62, 1315S-1321S.
- Stahl, W., Sies, H., 1993. Physical Quenching of Singlet Oxygen and cis-trans Isomerization of Carotenoids a. *Annals of the New York Academy of Sciences* 691, 10-19.
- Stea, T. H., Johansson, M., Jägerstad, M., Frølich, W., 2007. Retention of folates in cooked, stored and reheated peas, broccoli and potatoes for use in modern large-scale service systems. *Food Chemistry* 101, 1095-1107.
- Stintzing, F. C., Carle, R., 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in food science & technology* 15, 19-38.
- Story, E. N., Kopec, R. E., Schwartz, S. J., Harris, G. K., 2010. An update on the health effects of tomato lycopene. *Annual review of food science and technology* 1, 189-210.
- Strobel, M., Tinz, J., Biesalski, H.-K., 2007. The importance of β -carotene as a source of vitamin A with special regard to pregnant and breastfeeding women. *European journal of nutrition* 46, 1-20.

- Sugimura, T., 2002. Food and cancer. *Toxicology* 181, 17-21.
- Tanumihardjo, S., Yang, Z., 2005. CAROTENOIDS| *Epidemiology of Health Effects*.
- Tao, L., Lambert, J. D., 2014. Antioxidant and Pro-Oxidant Activities of Green Tea Polyphenols in Cancer Prevention. *Polyphenols in Human Health and Disease*, 1191-1198.
- Tian, J., Chen, J., Ye, X., Chen, S., 2016. Health benefits of the potato affected by domestic cooking: A review. *Food Chemistry* 202, 165-175.
- Tornberg, E., 2005. Effects of heat on meat proteins—Implications on structure and quality of meat products. *Meat science* 70, 493-508.
- Tsao, R., 2010. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients* 2, 1231-1246.
- Tudela, J. A., Cantos, E., Espín, J. C., Tomás-Barberán, F. A., Gil, M. I., 2002. Induction of antioxidant flavonol biosynthesis in fresh-cut potatoes. Effect of domestic cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 5925-5931.
- Urich, K., 1994. Secondary Metabolites. *Comparative Animal Biochemistry*. Springer, pp. 716-759.
- Urquiaga, I., Leighton, F., 2000. Plant polyphenol antioxidants and oxidative stress. *Biological research* 33, 55-64.
- Vadivambal, R., Jayas, D., 2010. Non-uniform temperature distribution during microwave heating of food materials—A review. *Food and Bioprocess Technology* 3, 161-171.
- Vallejo, F., Tomás-Barberán, F., García-Viguera, C., 2003. Phenolic compound contents in edible parts of broccoli inflorescences after domestic cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 1511-1516.
- Van Boekel, M., 2006. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology advances* 24, 230-233.
- van Boekel, M., Fogliano, V., Pellegrini, N., Stanton, C., Scholz, G., Lalljie, S., Somoza, V., Knorr, D., Jasti, P. R., Eisenbrand, G., 2010. A review on the beneficial aspects of food processing. *Molecular nutrition & food research* 54, 1215-1247.

Wachtel-Galor, S., Wong, K. W., Benzie, I. F., 2008. The effect of cooking on Brassica vegetables. *Food Chemistry* 110, 706-710. Walstra, P., 2003. *Physical chemistry of foods*. Marcel Decker. Inc., New York.

Wu, H., Tassou, S., Karayiannis, T., Jouhara, H., 2013. Analysis and simulation of continuous food frying processes. *Applied Thermal Engineering* 53, 332-339.

Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., Prior, R. L., 2006. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 4069-4075.

Xu, B., Chang, S. K., 2008. Total phenolics, phenolic acids, isoflavones, and anthocyanins and antioxidant properties of yellow and black soybeans as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 7165-7175.

Xu, F., Zheng, Y., Yang, Z., Cao, S., Shao, X., Wang, H., 2014. Domestic cooking methods affect the nutritional quality of red cabbage. *Food Chemistry* 161, 162-167.

Yang, C., Fischer, M., Kirby, C., Liu, R., Zhu, H., Zhang, H., Chen, Y., Sun, Y., Zhang, L., Tsao, R., 2018. Bioaccessibility, cellular uptake and transport of luteins and assessment of their antioxidant activities. *Food Chemistry* 249, 66-76.

Yoshikawa, T., Yamamoto, Y., Naito, Y., 2000. *Free radicals in chemistry, Biology and Medicine*, Ed. Oica International. Londres.

Yuan, G.-f., Sun, B., Yuan, J., Wang, Q.-m., 2009. Effects of different cooking methods on health-promoting compounds of broccoli. *Journal of Zhejiang University Science B* 10, 580-588.

Zechmeister, L., 1944. Cis-trans Isomerization and Stereochemistry of Carotenoids and Diphenyl-polyenes. *Chemical Reviews* 34, 267-344.

Zhang, D., Hamauzu, Y., 2004. Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. *Food Chemistry* 88, 503-509.

Zhang, H., Tsao, R., 2016. Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Current Opinion in Food Science* 8, 33-42.

Zhao, L.-Q., Qiu, Z.-Q., Narasimhamoorthy, B., Greaves, J. A., 2013. Development of a rapid, high-throughput method for quantification of zeaxanthin in Chinese wolfberry using HPLC–DAD. *Industrial Crops and Products* 47, 51-57.

Blanco, A., & Blanco, G. (2007). Proteins. *Medical Biochemistry*, 21-71.

Blanco, A., & Blanco, G. (2007). Carbohydrates. *Medical Biochemistry*, 73-97.

Dave, K., D. Sundrani, et al. (2021). Influence of nutrition on reproductive health through epigenetic mechanisms. *Epigenetics and Reproductive Health*, Elsevier: 221-239.

Esterle L. (2010). Calcium et santé osseuse chez l'enfant et l'adolescent. *Journal de pédiatrie et de puériculture*, 23:65- 69.

Ramalakshmi K, et. al. (2021). Impact of Cooking on Nutrients in Selected Vegetables." *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, vol.11 (2) pp 01-17.

Tessier FJ., Jacolot P., Niquet-Léridon C., (2007). La réaction de Maillard : cent ans de découvertes scientifiques sur la chimie des aliments et la santé, (10), 5.

Wynn, J. (2003). Lipids, Fatty Acids. *Comprehensive Biotechnology*. Vol.1, 41-52.

Résumé

Ces dernières années, la propagation des maladies, notamment le cancer, les maladies cardiovasculaires et le diabète, est devenue un sujet d'intérêt pour les nutritionnistes et les chercheurs, ce qui les a amenés à étudier l'importance d'une alimentation riche en fruits et légumes, qui sont de bonnes sources de nutriments et de substances phytochimiques (caroténoïdes, polyphénols et antioxydants). Dans la plupart des cas, les légumes sont consommés cuits. Les différents modes de cuisson (ébullition, vapeur, friture..) ont des effets positifs : ils améliorent la sécurité sanitaire par la destruction des germes microbiens, améliorent la digestibilité des protéines et glucides ainsi que la qualité organoleptique des aliments par la formation de nouvelles saveurs et la modification de la texture, améliorent la biodisponibilité des caroténoïdes (β -carotène, lycopène) et de certains polyphénols et la capacité antioxydante. Cependant, la cuisson a également des effets négatifs : elle diminue la teneur en protéines, oxyde les lipides notamment les acides gras insaturés, diminue la teneur en vitamines C, B1, B9, A et de certains composés bioactifs par oxydation, lessivage et autres phénomènes de dégradation. Tous les modes de cuisson ont des effets variables sur les légumes. La maîtrise de la cuisson étant délicate pour optimiser toutes les qualités des légumes. Le choix du mode de cuisson dépend de plusieurs paramètres : température, temps et type de légume. Mais la plupart des études ont montré que la cuisson à la vapeur est globalement la meilleure méthode pour préserver les différentes qualités des légumes.

Mots clés : cuisson, légume, nutriments, caroténoïdes, polyphénols, antioxydants.

Abstract

In recent years, the spread of disease, including cancer, cardiovascular disease, and diabetes, has become a topic of interest to nutritionists and researchers, leading them to explore the importance of a diet rich in fruits and vegetables, which are good sources of nutrients and phytochemicals (carotenoids, polyphenols and antioxidants). In most cases, vegetables are eaten cooked. The different cooking methods (boiling, steaming, frying, etc.) have positive effects: they improve health security by destroying microbial germs, improve the digestibility of proteins and carbohydrates as well as the organoleptic quality of food by the formation of new flavors and texture modification, improve the bioavailability of carotenoids (β -carotene, lycopene) and some polyphenols and antioxidant capacity. However, cooking also has negative effects: it decreases the protein content, oxidizes lipids especially unsaturated fatty acids, decreases the content of vitamins C, B1, B9, A and certain bioactive compounds by oxidation, leaching and other phenomena degradation. All cooking methods have varying effects on vegetables. The control of cooking is delicate to optimize all the qualities of the vegetables. The choice of cooking method depends on several parameters: temperature, time and type of vegetable. But most studies have shown that steaming is overall the best way to preserve the different qualities of vegetables.

Keywords: cooking, vegetable, nutrients, carotenoids, polyphenols, antioxidants