

N° d'Ordre :

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE

Mémoire

De fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie (S.N.V.)

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Intitulé du thème :

**Détermination des métabolites secondaire et
l'activité antioxydants de l'extrait aqueux
avant et après cuisson de Topinambour
cultivé en Algérie**

Présenté par : **Melle** Reguig Soumia

Melle Khodja Imane

Mémoire soutenu devant l'honorable jury composé de :

Président de jury : **Mme** Méziani Samira (M.C.A/UDL/SBA)

Examineur : **Mme** Mehida Hayet (M.C.A/UDL/SBA)

Promoteur : **Mme** Sarsar Fatima Zohra (M.C.B/UDL/SBA)

Année universitaire 2019 - 2020

Session : « Septembre »

Remerciements

Nous remercions tout d'abord ALLAH, Dieu, le tout puissant de nous avoir accordé santé, courage, foie et la volonté d'achever ce travail.

Nos premiers remerciements iront à notre encadreur Mme Sarsar Fatima Zohra (maitre de conférences à l'université de Sidi Bel Abbes) pour sa patience, sa disponibilité, son aide, ses encouragements, ses précieux conseils, la rigueur, l'orientation et surtout ses judicieux conseils.

Qu'elle trouve ici l'expression de nos plus sincères et chaleureux remerciements.

Nos sincères remerciements et gratitude vont aussi à Mme Méziani Samira (Maitre de conférences à l'université de Sidi Bel Abbes) pour avoir accepté de juger ce travail et d'en présider le jury de soutenance.

Qu'elle trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.

On remercie Mme Mehida Hayet (Maitre de conférences à l'université de Sidi Bel Abbes) qui a accepté de juger ce travail en tant qu'examineur. On lui adressons nos sentiments les plus respectueux

Qu'elle trouve ici l'expression de nos respectueuses gratitude et nos profonds respects

Nous tenons particulièrement à remercier tous les technicien(ne)s de laboratoire de biochimie appliquée.

Nous tenons à formuler notre gratitude et nos profondes reconnaissances à l'égard de nos parents pour leurs indéfectibles soutiens durant tout notre cursus.

Toutes nos salutations à tous nos collègues de la post graduation.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail qu'ils trouvent ici nos sincères et profondes gratitude

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes que
j'aime :*

*Mes très chers parents à qui je dois le mérite d'être
arrivée là, qu'ils trouvent ici l'expression de ma
profonde gratitude et mon affection.*

*Mon très chers fiancé **MiZU***

*Mes très chers frères **Mohammed** et **Salah***

Toute ma famille et les amis(es)

*Ma binôme, ma copine **Soumia** et toute sa famille*

Toute l'équipe du laboratoire biochimie appliquée et

Toute la promotion biochimie appliquée

2019/2020

Imy.zu

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes que
j'aime :*

*A mes très chers parents pour leurs dévouements, leurs
amours, leurs sacrifices et leurs encouragements. Que
ce travail soit, pour eux, un faible témoignage de ma
profonde affection et tendresse.*

*A mes très chers frères et sœurs : **NADJET, HADJER,**
NAWEL, MOHAMED et ma petite ange : **ARIDJE***

A tous mes amis (es)

*A ma binôme **IMANE** et toute sa famille*

A toute la promotion de biochimie appliquée

2019_2020

Soumi

Résumé

L'objectif de cette étude est la détermination des composés phénoliques et de l'activité antioxydantes des extraits aqueux avant et après traitement thermique du topinambour (*Helianthus tuberosus*) qui appartient à la famille des astéracées.

A cet effet, notre étude propose de quantifier les polyphénols, flavonoïde et l'acide ascorbique d'une part, d'autre part une évaluation de l'activité antioxydante par le DPPH. L'étude expérimentale révèle un taux des polyphénols totaux qui varie entre **6,585±0.005** et **13,115±0.010** EAG mg/g de topinambour et la teneur en flavonoïdes totaux varient de **14,616±0.009** à **26,282±0.018** EQ mg/g, la teneur en vitamine C de **21,886±0.044** mg/g de topinambour cru et **17,028±0.013** mg/g de topinambour après traitement thermique.

Les résultats de l'évaluation du pouvoir anti radicalaire appréciés par le DPPH varient entre **99,540±0.060** et **87,409±0.012** mg/ml.

Mots clé : composés phénoliques, activité antioxydante, extrait aqueux, traitement thermique, topinambour, DPPH.

Summary

The objective of this study is to determine the phenolic compounds and the antioxidant activity of aqueous extracts before and after heat treatment of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) belonging to the asteraceae family.

To this end, our study proposes to quantify the polyphenols, flavonoids and ascorbic acid on the one hand, and on the other hand an evaluation of the antioxidant activity by DPPH

The experimental study reveals a level of total polyphenols which varied between **6,585±0.005** and **13,115±0.010** EAG mg / g of Jerusalem artichoke and the content of total flavonoids vary from **14,616±0.009** to **26,282±0.018** EQ mg / g, the vitamin C content of **21,886±0.044** mg mg / g. raw Jerusalem artichoke and **17,028±0.013** mg / g Jerusalem artichoke after heat treatment

The results of the evaluation of the anti-free radical power assessed by DPPH vary between **99,540±0.060** and **87,409±0.012** mg / ml.

Key words : phenolic compound, antioxidant activity, aqueous extract, heat treatment, Jerusalem artichoke, DPPH.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد المركبات الفينولية والنشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات المائية قبل وبعد المعالجة الحرارية لخرشوف القدس (*Helianthus tuberosus*) الذي ينتمي إلى عائلة *asteraceae* تحقيقا لهذه الغاية ، تقترح دراستنا تحديد البوليفينول والفلافونويد وحمض الأسكوربيك من ناحية ، ومن ناحية أخرى تقييم النشاط المضاد للأكسدة بواسطة DPPH

كشفت الدراسة التجريبية عن مستوى إجمالي من مادة البوليفينول التي تراوحت بين $0.005 \pm 6,585$ و $0.010 \pm 13,115$ EAG مجم / جم من خرشوف القدس وتفاوت محتوى الفلافونويد الكلي من $0.009 \pm 14,616$ إلى $0.018 \pm 26,282$ EQ مجم / جم ، ومحتوى فيتامين C يبلغ $0.044 \pm 886,21$ مجم / جم. خرشوف القدس الخام و $0.013 \pm 17,028$ مجم / جم خرشوف القدس بعد المعالجة الحرارية

تختلف نتائج تقييم القوة المضادة للجذور التي تم تقييمها بواسطة DPPH بين $0.060 \pm 540,99$ و $0.012 \pm 87,409$ مجم / مل.

الكلمات المفتاحية: مركبات فينولية ، نشاط مضاد للأكسدة ، مستخلص مائي ، معالجة حرارية ، خرشوف القدس ، DPPH.

Liste des abréviations

A	: extrait aqueux avant traitement thermique
AGPI	: acides gras polyinsaturés
AlCl₃	: chlorure d'aluminium
AsA	: acide ascorbique
B	: extrait aqueux après traitement thermique
DAHP	: l'acide 3-désoxy-D-arabino- heptulosonate-7-phosphate
DCPIP	: 2,6-Dichlorophénol indophénol
DHA	: L'acide docosahexaénoïque
Dip	: 2,2Dichlorophénol indophénol
DPPH	: 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
EAG	: équivalent acide gallique
EPA	: acide eicosapentaénoïque
EQ	: équivalente quercétine
ERO	: Espèces réactives oxygénée
FAD	: flavine –adénine –dinucléotide
GPx	: Glutathion peroxydase
GSH	: Glutathion
GSSG	: glutathion oxydé
H₂O₂	: Le peroxyde d'hydrogène
LIPOX	: lipoperoxydation
MDA	: malondialdehyde
MS	: matière sèche
Na₂CO₃	: carbonate de sodium
NADPH	: nicotinamide adénine dinucléotide phosphate
RL	: radicaux libre
SOD	: Superoxydedismutase
Tct	: taux des cendres totales

Liste des Tableaux

Tableau	TITRE	PAGE
1	les Macro-composants de Jérusalem Artichoke Helianthus tuberosus portion 100g	9
2	les Composants glucidiques de JerusalemArtichoke Helianthus tuberosus portion 100g	10
3	les Graisse dans JerusalemArtichoke Helianthus tuberosus portion 100g	11
4	les Composants minérale de JerusalemArtichoke Helianthus tuberosus portion 100g	12
5	La vitamine dans JerusalemArtichoke Helianthus tuberosus portion 100 g	13
6	: les Composants protéique de JerusalemArtichoke Helianthus tuberosus exprimée en% de matière sèche	14
7	Les principales classes de composés phénoliques	18
8	Propriétés biologiques des composés phénoliques	25
9	Principaux radicaux libres et comparaison de leur pouvoir oxydant	27
10	Principales sources de production des radicaux libres.	27
11	Dilutions de l'acide gallique	42
12	Les dilutions de Quercétine	44
13	Taux d'humidité des tubercules de topinambour	48
14	Taux de cendre des tubercules de topinambour	48
15	Teneur en polyphénols des tubercules de topinambour	49
16	Teneur en flavonoïdes des tubercules de topinambour	51
17	Teneur de l'acide ascorbique des tubercules de topinambour	52
18	Les valeurs du pouvoir antioxydant des extraits de topinambour avec différentes concentrations.	54

Liste des figures

figure	TITRE	PAGE
1	Les tubercules de topinambour	3
2	(A) feuilles et fleurs,(B) les tubercules, (C) Rhizomes et les tiges et les branches	5
3	(A) Morphologie générale de la tige souterraine, des rhizomes et des tubercules d'une petite plante d'artichaut de Jérusalem. (B) Morphologie externe d'un tubercule. (C) Morphologie souterraine des plantes cultivées dans des milieux d'argile compactée + perlite	7
4	<i>Composition moyenne pour 100 g d'aliments cuits La teneur en eau n'est pas prise en compte</i>	8
5	<i>Structure chimique des acides hydroxybenzoïques (a) et Structure chimique des acides hydroxycinnamiques (b).</i>	18
6	<i>structure chimique des flavonoïdes (Bruneton 1999 ;Morreel et al., 2006).</i>	19
7	<i>Structure chimique (a) d'un tanin condensé (proanthocyanidine) et (b) d'un gallotanin</i>	20
8	<i>Structures chimiques de deux alcaloïdes, la morphine (a) et de la cocaïne (b)</i>	20
9	<i>Structure de de la molécule d'isoprène</i>	21
10	<i>La Biosynthèse des polyphénols par la voie shikimate</i>	22
11	<i>Biosynthèse des polyphénols par la voie d'acétate</i>	22
12	<i>Les différentes étapes de la phase d'initiation à l'oxydation</i>	28
13	<i>Phase de propagation</i>	29
14	<i>Les pathologies associées aux espèces réactives oxygénées</i>	31
15	<i>Espèces réactives oxygénées et systèmes de protection permettant de limiter leur effet toxique. GSH: glutathion, Cl⁻: anion chlorure, MPO: myéloperoxydase, SOD: superoxydedismutase, Se-GPx: glutathion</i>	32

	<i>peroxydase séléno-dépendante</i>	
16	<i>Elimination du H₂O₂ par les réactions enzymatiques combinées de la GPx et de la GR</i>	33
17	<i>Oligoéléments nécessaires aux activités des enzymes antioxydantes</i>	34
18	<i>Propriété réductrice des polyphénols</i>	35
19	<i>Les tubercules de topinambour</i>	36
20	<i>Préparation de l'extrait aqueux après traitement thermique. (B)</i>	39
21	<i>Préparation de l'extrait aqueux avant traitement thermique. (A)</i>	39
22	<i>Protocole de Préparation de l'extrait aqueux avant et après traitement thermique</i>	40
23	<i>Principe de la réduction du réactif de Folin-Ciocalteu</i>	41
24	<i>Diagramme représentant le dosage des polyphénols totaux</i>	43
25	<i>Mécanisme de réaction du chlorure d'aluminium avec les flavonoïdes</i>	44
26	<i>Dosage des flavonoïdes totaux par la méthode de (Bahorun et al., 1996)</i>	45
27	<i>Réaction de réduction de DPPH· par l'antioxydant</i>	46
28	<i>Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols</i>	49
29	<i>Quantité de polyphénols en EAG mg/g de topinambour</i>	50
30	<i>gamme d'étalonnage exprimée en quercétine.</i>	51
31	<i>Quantité de flavonoïde en Eq mg/g de topinambour</i>	52
32	<i>Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique</i>	52
33	<i>la teneur de vitamine C des tubercules de topinambour</i>	53
34	<i>Pouvoir anti radicalaire des extraits de topinambour</i>	54

SOMMAIRE

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

Synthèse Bibliographique

Chapitre I : Généralités sur topinambour

I.	Histoire et origine de topinambour.....	3
II.	Classification.....	4
III.	Carte d'identité.....	4
IV.	Les variétés de topinambour.....	5
V.	La morphologie du topinambour.....	5
	V.1 tiges et branches.....	5
	V.2 Les feuilles.....	6
	V.3 Inflorescence.....	6
	V.4 Fruit.....	6
	V.5 Rhizomes.....	7
VI.	Cultures.....	7
VII.	Composition nutritionnelle de Topinambour.....	8
	VII.1 Composants glucidiques.....	9
	VII.2 Graisse.....	10
	VII.3 Les minéraux.....	11
	VII.4 Vitamines.....	12
	VII.5 Protéines.....	13
VIII.	Topinambour et santé.....	14
	VIII.1 Allié minceur.....	15
	VIII.2 Santé intestinale.....	15
	VIII.3 Prévention du diabète.....	15
	VIII.4 Prévention du cancer.....	15
	VIII.5 Riche en minéraux et vitamines.....	16
	VIII.6 Protection du système nerveux.....	16
	VIII.7 Biodisponibilité des minéraux.....	16

Chapitre II : Les métabolites secondaires

I.	Définition.....	17
II.	Les composés phénoliques.....	17
	II.1 Acides phénoliques.....	18

II.2 Les flavonoïdes.....	19
II.3 Les tanins (proanthocyanidines).....	19
II.4 Les alcaloïdes.....	20
II.5 Les terpénoïdes.....	21
III. Biosynthèse des polyphénols.....	21
III.1 La voie de l'acide shikimique.....	21
III.2 Voie de l'acétate.....	22
IV. Propriétés biologiques des composés phénoliques.....	23
IV.1 Activité anti-inflammatoire.....	23
IV.2 Activité antibactérienne.....	23
IV.3 Activité anticancéreuse.....	23
IV.4 Activité antioxydante.....	23

Chapitre III : Le stress oxydatif et le pouvoir antioxydant

I. Stress oxydatif.....	26
II. Radicaux libres.....	26
II.1 Origine des radicaux libres (RL).....	27
III. Mécanisme de l'oxydation.....	28
III.1 Phase d'initiation.....	28
III.2 Phase de propagation.....	28
III.3 Phase de terminaison.....	29
IV. Rôles pathologique des espèces actives de l'oxygène.....	29
IV.1 Les membranes.....	29
IV.2 Les protéines.....	30
IV.3 Les acides nucléiques.....	30
IV.4 Oxydation des glucides.....	30
V. Implications pathologiques du stress oxydatif.....	30
VI. Les antioxydants.....	31
VI.1 Antioxydants enzymatiques.....	31
VI.1.1 Les Superoxydedismutase (SOD).....	31
VI.1.2 Les Catalases.....	32
VI.1.3 Glutathion peroxydase (GPx).....	32
VI.2 Antioxydants non enzymatique.....	33
VI.2.1 L'acide ascorbique.....	33
VI.2.2 Le glutathion.....	33

VI.2.3 Les oligoéléments.....	34
VI.2.4 Vitamine E.....	34
VI.2.5 Caroténoïdes.....	34
VI.2.6 Tannins.....	35
VI.2.7 Flavonoïdes.....	35

PARTE PRATIQUE

Chapitre I : *Matériels et méthodes*

I. Matériel végétal.....	36
II. Analyses physico-chimiques.....	36
II.1 Détermination de la teneur en eau.....	36
II.1.1 Principe.....	36
II.1.2 Le matériels.....	36
II.1.3 Méthode.....	37
II.2 Détermination du taux de cendre.....	37
II.2.1 Principe.....	37
II.2.2 Matériels.....	37
II.2.3 Méthode.....	37
II.3 Préparation de l'extrait aqueux (Extraction hydrique).....	38
II.3.1 Matériels.....	38
II.3.2 Mode opératoire.....	38
II.4 Dosage des composés phénoliques.....	41
II.4.1 Dosages des phénols totaux.....	41
II.4.1.1 Principe.....	41
II.4.1.2 Protocole expérimentale.....	41
II.4.2 Dosages des flavonoïdes.....	43
II.4.2.1 Principe.....	43
II.4.2.2 Protocole expérimentale.....	44
II.4.3 Détermination de la teneur en acide ascorbique.....	45
II.4.3.1 Principe.....	45
II.4.3.2 Mode opératoire.....	45
II.5 Evaluation de l'activité antioxydant des extraits au radical DPPH.....	46
II.5.1 Principe.....	46
II.5.2 Matériels.....	46
II.5.3 Protocole expérimentale.....	47

Chapitre II : Résultats et discussions

I. Détermination de la teneur en eau	48
II. Détermination du taux de cendre	48
III. Tests phytochimiques	49
III.1 Dosage des composés phénoliques	49
III.2 Dosage des flavonoïdes	51
III.3 Détermination de la teneur en acide ascorbique.....	52
IV. Évaluation de l'activité antioxydant par piégeage du radical libre DPPH.....	53
Conclusion.....	56
Références bibliographiques	

INTRODUCTION



INTRODUCTION

La plupart des espèces végétales qui poussent dans le monde possèdent des vertus thérapeutiques, car elles contiennent des principes actifs qui agissent directement sur l'organisme. Elles sont utilisées aussi bien en médecine classique qu'en phytothérapie ; elles présentent en effet des avantages dont les médicaments sont souvent dépourvus (**Larousse, 2001**).

Récemment, beaucoup de chercheurs s'intéressent aux plantes médicinales comme le topinambour pour leur richesse en antioxydants naturels à savoir les polyphénols, les flavonoïdes, les tannins qui possèdent des activités antioxydantes. De ce fait, l'exploitation de nouvelles molécules bioactives ayant des effets secondaires limités ou inexistantes depuis des sources naturelles et leur adoption comme une alternative thérapeutique aux molécules synthétiques sont devenues des objectifs prioritaires pour les recherches scientifiques et les industries alimentaires et pharmaceutiques (**Roussel, 2009**).

L'importance des antioxydants d'origine naturelle ne cesse de croître ces derniers temps. Ces antioxydants, en tant que constituants alimentaires, semblent contribuer de manière significative à la prévention de certaines maladies comme, le cancer, les maladies cardiovasculaires (effets hypocholestérolémiant, hypolipidémies) (**Berger, 2006**).

Les mécanismes d'action de l'activité antioxydante sont divers. Ils impliquent la neutralisation des radicaux libres, la complexation d'ions, des métaux de transition et la réduction des phénomènes oxydatifs et du vieillissement cellulaire (**Djeridane et al., 2006**).

Le monde des sciences biologiques et médicales est envahi par un nouveau concept, celui du « stress oxydant », c'est-à-dire d'une situation où la cellule ne contrôle plus la présence excessive de radicaux oxygénés toxiques, situation que les chercheurs impliquent dans la plupart des maladies humaines telle que le vieillissement, le cancer, l'athérosclérose, les accidents cardiovasculaires et les maladies neurodégénératives (**Favier, 2003**). Le dysfonctionnement des systèmes de régulation de l'oxygène et de ses métabolites est à l'origine du phénomène de stress oxydant qui est impliqué dans de nombreuses pathologies tels que les maladies cardiovasculaires, les cancers, les complications du diabète ou encordes affections neurologiques dégénératives (**Pincemail, 2007**).

Pour échapper aux conséquences du stress oxydant, il est nécessaire de rétablir l'équilibre oxydants / antioxydants afin de préserver les performances physiologiques de l'organisme. Les antioxydants font actuellement l'objet de nombreuses études, car ils pourraient s'avérer utiles dans la prophylaxie et le traitement des maladies dans lesquelles le stress oxydant est incriminé (**Derbel et Ghedira, 2005**).

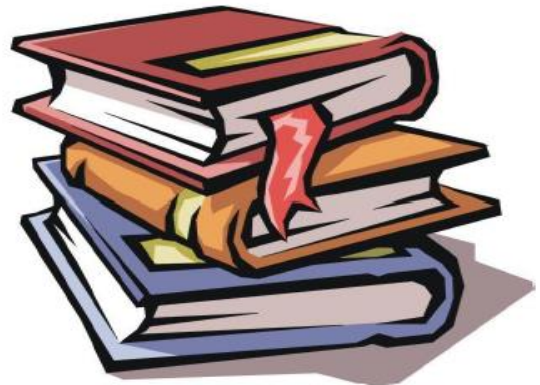
Originaire d'Amérique du nord, Le topinambour possède de nombreuses antioxydants parmi les quels (vitamine C, polyphénol, flavonoïdes), qui ont la capacité de piéger les radicaux libres et donc de prévenir le stress oxydant, L'usage des tubercules du topinambour réputé pour des activités nutritionnels, préventives et thérapeutiques nécessite des études scientifiques avec la phytochimie et l'identification des polyphénols (**Krishnaiah et al., 2011**).

L'objectif de notre travail vise à démontrer la richesse de nos plantes en polyphénols et de déterminer leur activité antioxydante.

Notre étude englobe deux parties :

- ❖ La première est une synthèse bibliographique comportant des généralités sur la plante étudiée et de quelques rappels sur les radicaux libres, stress oxydatif, les composés phénoliques et les antioxydants et les plantes étudiées.
- ❖ La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale, qui porte sur l'extraction aqueuse et le dosage des composés phénoliques (polyphénols totaux, et flavonoïdes, les tannins hydrolysables) et une évaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux de topinambour.

Synthèse Bibliographique



Chapitre I

Généralités sur topinambour

I Histoire et origine de topinambour

Il y avait initialement une confusion quant à l'origine de l'artichaut de Jérusalem. Linnaeus, dans *Species Plantarum*, 1753 a indiqué une origine brésilienne, bien que dans son précédent *Hortus Cliffortianus*, 1737 il ait énuméré *H. tuberosus* comme provenant du Canada. Paxton a également indiqué que les espèces avaient été introduites pour la première fois en Angleterre en 1617 à partir du Brésil (**Hereman, 1868**).



Figure 1 : les tubercules de topinambour

<https://www.biendecheznous.be/legumes/legumes-de-chez-nous/topinambour>

L'impression d'une origine sud-américaine peut en fait avoir contribué à l'acceptation du nom commun topinambour adopté du nom des indigènes (Topinambous) de l'île de S.Luiz de Maranhão sur la côte du Brésil, ou du moins plus exactement, sachant qu'au cours des XVIe et XVIIe siècles, le «Canada» représentait une zone beaucoup plus large qu'à l'époque moderne, il semble avoir été relativement largement accepté par les botanistes européens vers la fin du XVIIe siècle comme en témoignent les noms attribués à l'espèce dans les plantes herbacées du jour; par exemple, "Adenes Canadenses" dans *Apparatus Plantarius Primus* de Peter Lauremberg (1632); «Canada» et «Artischokisubterrâ» d'Antoine Vallot dans *Hortus Regis Paris* (1665); «Chrysanthemum Canadense Arumosum» dans le *Catalogus Plantarum Horti* de F. Schuyl (1672); et "Helenium Canadense" dans le personnage de Paul Ammann *Plantarum Naturalis* (1676) (**Stanley et Stephen, 2008**).

Alphonse De Candolle dans sa *Géographie Botanique*, 1855 indique également que l'origine sud-américaine est erronée. Quoi qu'il en soit, de nombreuses listes incorrectes ont continué d'apparaître même au XXe siècle. Par exemple, Martyn dans l'édition de 1807 du *Miller's Gardener's and Botanist's Dictionary* déclare qu'ils sont incontestablement le produit

d'un climat chaud, étant originaires du Brésil, Robinson, 1871 «originaires du Brésil» et Gray (Torrey et Gray, 1843). «une espèce introduite, qui proviendrait à l'origine du Brésil».

Champlain l'a exporté en Europe vers 1604 où il a été abondamment utilisé durant la période de disette causée par la guerre. Sa popularité déclina rapidement suite à l'introduction de la pomme de terre et sa culture est devenue très rare des deux côtés de l'Atlantique (Branquart, et al., 2010).

II Classification :

Domaine : *Biota*

Règne : *Plantae Haeckel, 1866*

Sous-Règne : *Viridiplantae*

Infra-Règne : *Streptophyta John, Williamson & Guiry, 2011*

Classe : *Equisetopsida C. Agardh, 1825*

Clade : *Tracheophyta Sinnott ex Cavalier-Smith, 1998*

Classe : *Spermatophyta*

Sous-Classe : *Magnoliidae Novák ex Takht., 1967*

Super-Ordre : *Asteranae Takht., 1967*

Ordre : *Asterales Link, 1829*

Famille : *Asteraceae Bercht. & J. Presl, 1820*

Sous-Famille : *Asteroideae Lindl., 1829*

Tribu : *Heliantheae Cass., 1819*

Sous-Tribu : *Helianthinae Dumort., 1827*

Genre : *Helianthus L., 1753*

Espèce: *Helianthus tuberosus L., 1753*

(https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/101055/tab/taxo)

III Carte d'identité

Nom commun : Topinambour

Synonymes : Artichaut de Jérusalem, Truffe du Canada, Soleil vivace

Nom scientifique : *Helianthus tuberosus*

Famille : Astéracées

Habitat : Terrestre

Origine : Amérique du Nord

Introduction : Horticulture (CABI, 2016).

IV Les variétés de topinambour

Il n'existe pas énormément de variétés de topinambour.

Celles qu'on rencontre sont au nombre de 4 :

- Le topinambour patate : il est jaune avec une forme ronde et régulière.
- Le topinambour fuseau : blanc avec un aspect lisse.
- Le topinambour commun : le plus présent sur nos étals, sa chair est blanche et il est difforme.
- Le topinambour violet de Rennes : il est violet clair avec une forme de massue.

V La morphologie du topinambour

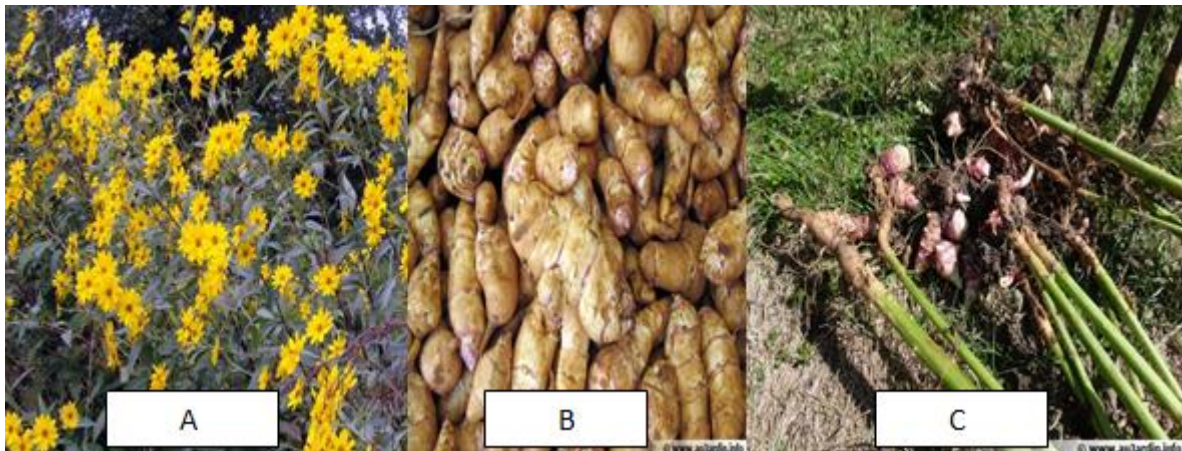


Figure 2 : (A) feuilles et fleurs, (B) les tubercules, (C) Rhizomes et les tiges et les branches
(<https://www.aujardin.info/fiches/comment-recolter-conserver-cuisiner-topinambours.php>)

La morphologie générale d'une plante d'artichaut de Jérusalem peut avoir un impact critique sur sa productivité. Le développement rapide de la canopée et son architecture générale sont des attributs essentiels au succès compétitif de l'espèce dans des milieux naturels. La morphologie de la plante est génétiquement régulée et il existe des différences distinctes entre les clones. De plus, au sein d'un clone, la structure finale présente une plasticité considérable. Deux plantes génétiquement identiques cultivées dans des conditions différentes se développent morphologiquement en plantes très différentes. De plus, la structure de l'usine n'est pas fixe mais change constamment au cours de la saison (**Stanley et Stephen, 2008**).

V.1 tiges et branches

Les tiges d'artichaut de Jérusalem peuvent atteindre 3 m ou plus de hauteur, bien que la plupart des clones soient plus courts. Des clones nains ont été sélectionnés (**Zubr et Pedersen, 1993**). Les tiges sont grosses et fortement trichomées lorsqu'elles sont jeunes. Initialement, les tiges sont assez succulentes mais deviennent ligneuses avec le temps.

Les branches varient en nombre et en position sur les tiges principales. Les tiges proviennent directement du «tubercule de semence», avec des branches se formant aux nœuds sur la tige. Des branches basales peuvent se former sous terre et à la surface du sol, il peut s'agir de tiges; par conséquent, les estimations du nombre de tiges par plante sont variables.

La hauteur de la tige varie considérablement selon les clones. Dans des conditions de production uniformes, la hauteur des plants peut être divisée en trois catégories générales: (1) haute (> 3 m), (2) intermédiaire (2 à 3 m), et (3) basse (<2 m) (**Pas ' ko, 1973**). La plupart des clones se situent entre 1,5 et 2 m, bien que quelques-uns atteignent > 3 m. Les plages de hauteur typiques parmi les clones sont de 102 à 186 cm (**Swanton, 1986**), de 119 à 164 cm (**Hay et Offer, 1992**). et de 115 à 275 cm (**Kiehn et Chubey, 1993**). La population végétale et les conditions de culture peuvent avoir un effet prononcé sur la hauteur éventuelle d'une plante. Dans des conditions humides dans des endroits protégés du vent, des hauteurs de plantes de 4 m peuvent être atteintes, bien que ces plantes se logent généralement et aient des rendements de tubercules considérablement réduits.

V.2 Les feuilles

Les feuilles sont caulines, initialement opposées mais changeant pour alterner à des distances variables de la base. Parfois, une tige aura trois feuilles par nœud tandis que d'autres tiges sont traditionnelles. Les feuilles sont simples, lancéolées à lancéolées, de 10 à 20 cm de long par 5 à 10 cm de large, acuminées, dentelées, scabres au-dessus et pubescentes au-dessous, base arrondie à largement cunéiforme à atténuer, pétioles de 1 à 6 cm de long (**Pas'ko , 1973**).et ailé à la base. La nervure est palmée avec trois nervures principales distinctes émergeant près de la base et les marges des feuilles sont grossièrement dentées. On pense que les feuilles le long de la partie centrale des tiges principales (c'est-à-dire les nœuds 17 à 24) ont une importance particulière dans le rendement final des tubercules (**Ustimenko et al., 1976**).

V.3 Inflorescence

Les capitules se produisent seuls ou en groupes aux extrémités de la tige et des branches axillaires. Chaque inflorescence est composée de nombreuses petites fleurs à disques tubulaires jaunes au centre, entourées de 10 à 20 fleurs stériles à rayons jaunes, dont les ligules sont souvent considérées comme des pétales (**Pas'ko, 1973**).

V.4 Fruit

Le fruit est un akène et généralement peu se forment (**Russell, 1979; Swanton, 1986; Westley, 1993; Wyse et Wilfahrt, 1982**). Les graines sont × 5 mm de long × 2 mm de large, en forme de coin aplati (obovale à linéaire-obovale) et lisses. Leur couleur externe est

tachetée de noir, gris, beige ou marron et peut avoir des taches noires (Alex et Switzer, 1976; Konvalinková, 2003; USDA, 2006).

V.5 Rhizomes

S'étendant vers l'extérieur et légèrement vers le bas à partir de la tige souterraine se trouvent de minces rhizomes en forme de cordon (tiges souterraines) qui poussent jusqu'à 1,5 m . Les rhizomes sont généralement blancs et forment des tubercules à leur extrémité. Ils subissent régulièrement des ramifications et des rhizomes secondaires et tertiaires se forment (Dambroth et al., 1992).

La ramification a pour résultat que le nombre de tubercules dépasse largement le nombre de rhizomes émergeant de la partie souterraine de la tige. Lorsque la formation de rhizomes est inhibée, le rendement peut être considérablement réduit. Par exemple, des plantes cultivées dans un sol argileux très serré que les rhizomes ne pouvaient pas pénétrer ont formé des tubercules le long de la base de la partie aérienne de la tige. On observe une variation physique considérable des rhizomes (diamètre et longueur) parmi les clones, en particulier entre les clones sauvages et cultivés (Swanton, 1986).

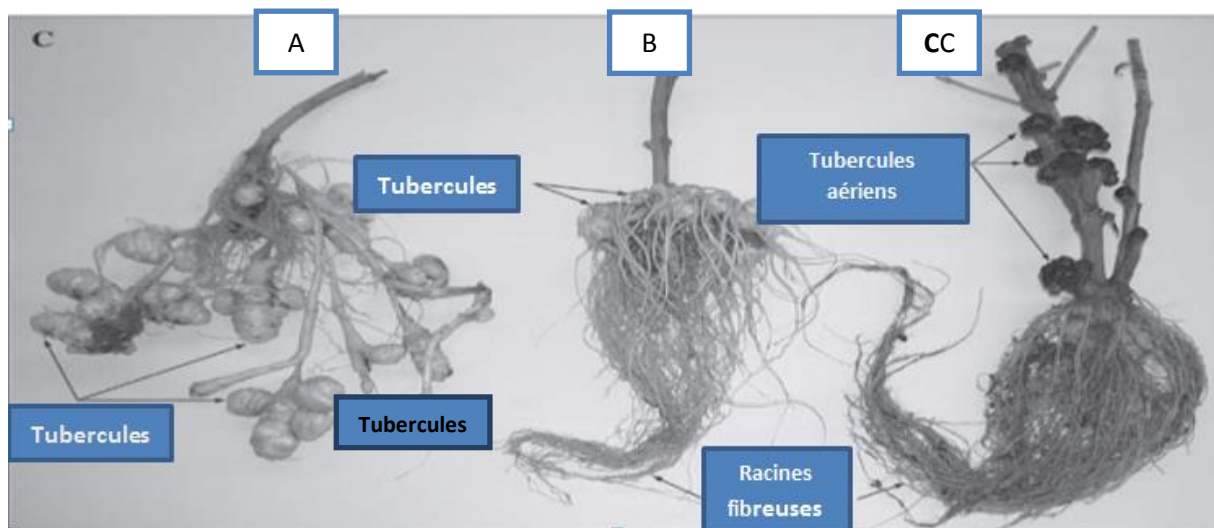


FIGURE 3: (A) Morphologie générale de la tige souterraine, des rhizomes et des tubercules d'une petite plante d'artichaut de Jérusalem. (B) Morphologie externe d'un tubercule. (C) Morphologie souterraine des plantes cultivées dans des milieux d'argile compactée + perlite (Stanley et Stephen, 2008).

VI cultures

Le topinambour est une plante vivace, haute et herbacée, qui atteint jusqu'à 3 m de haut avec une fleur jaune comme un tournesol, pousse dans n'importe quel sol, mais préfère un sol sablonneux léger de bonne fertilité. Il fait mieux dans les climats tempérés, au point de devenir une «mauvaise herbe comestible» dans certains jardins. Dans les régions plus chaudes et plus humides, il peut encore être très productif, mais il est peu probable qu'il persiste dans

le sol d'année en année. Il devra être replanté à partir de tubercules stockés. Dans les zones tropicales, il peut être cultivé avec succès toute l'année par une replantation régulière, mais il est préférable de le planter au début de la saison des pluies (**waters et al., 1981**).

Bien que la plante s'adapte bien à un large éventail de types de sols et de niveaux de pH, la production d'artichaut est favorisée par des sols légèrement alcalins. Les rendements sont médiocres sur les argiles lourdes, surtout s'il y a saturation en eau.

Les rendements en tubercules et en sommet sont limités si l'humidité du sol est inférieure à 30% de la capacité au champ pendant la période de formation des tubercules (début septembre à novembre).

L'artichaut de Jérusalem est une plante qui pousse au printemps et en été. Les cultures plantées entre septembre et novembre donnent généralement les meilleurs rendements. La récolte a généralement lieu entre mars et mai. Les gelées causent de graves dommages aux jeunes plants et la plantation doit être retardée jusqu'à la fin du temps normal pour le dernier gel. La plante nécessite un maximum de 140 jours sans gel pour produire de bonnes récoltes. Cependant, lorsque le feuillage est mort, les gelées peuvent améliorer la saveur des tubercules matures dans le sol. Les sols sableux bien fertilisés, légèrement acides à neutres, sont préférés (**Stanley et Stephen, 2008**).

VII Composition nutritionnelle de Topinambour

Les tubercules d'artichaut de Jérusalem comprennent généralement environ 80% d'eau, 15% de glucides et 1 à 2% de protéines. Les données sur la composition de l'artichaut de Jérusalem sont cependant relativement rares par rapport à d'autres légumes, et des variations importantes ont été enregistrées pour certains paramètres. Les différences de cultivar, de moment de récolte, de conditions de production, de traitement post-récolte et de méthodes de préparation expliquent probablement cette variation. (**Bosscher et Breynaert, 2009**).

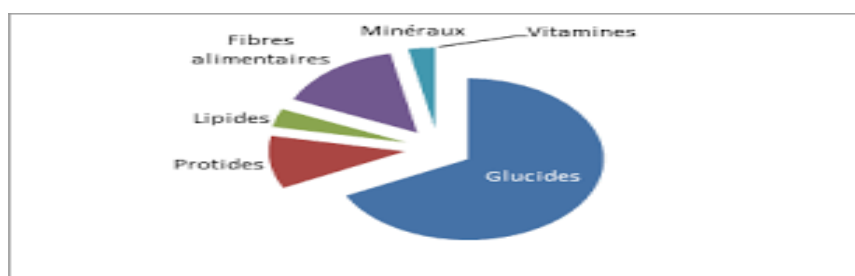


Figure 4: Composition moyenne pour 100 g d'aliments cuits

<http://www.aprifel.com/fiche-nutri-produit-composition-oignon,85.html>

Tableau 1 : les Macro-composants de Jerusalem Artichoke *Helianthus tuberosus* portion 100g
(Ciquel, 2007).

Energie	218 kJ (52 kcal)
gras, total	0.1 g
Glucides	2.9 g
protéines, total	1.8 g
l'alcool	0 g

VII.1 Composants glucidiques

Le principal glucide de stockage de l'artichaut de Jérusalem est l'inuline, sa teneur en varie de 7 à 30% du poids frais (environ 50% du poids sec); une teneur en inuline comprise entre 8 et 21% du poids frais est considérée comme typique (**Van Loo et al., 1995**).

Dans une étude canadienne, la teneur en glucides de deux accessions se situait entre 13,8 et 20,7% du poids total des tubercules frais à la récolte, les niveaux de fructose diminuant et les taux de glucose augmentant aux dates de récolte ultérieures (**Stauffer et al., 1981**).

**Tableau 2 : les Composants glucidiques de Jerusalem Artichoke *Helianthus tuberosus* portion 100g
(Ciquel, 2007)**

acides organiques, total	0.3 g
alcools de sucre	0 g
sucres, total	2.8 g
Fructose	1.4 g
Galactose	< 0.1 g
Glucose	< 0.1 g
Lactose	0 g
Maltose	< 0.1 g
Saccharose	1,2 g
amidon, total	0,1 g
fibres, total	16,4 g
fibre, insoluble dans l'eau	3,0 g
polysaccharides non cellulosiques, hydrosolubles	1,0 g

VII.2 Graisse

Pratiquement pas de matières grasses et ont un pouvoir calorifique relativement faible. Parmi la petite quantité de matières grasses présentes, des traces d'acides gras mono-insaturés et polyinsaturés ont été signalées, mais aucun acide gras saturé (**Whitney et Rolfes, 1999**). Les acides gras polyinsaturés linoléiques (18: 2 cis, cis n-6) et l'acide α -linoléique (18: 3 n-3) ont été enregistrée comme étant présente à 13 mg et 42 mg/100 g de tubercule brut, respectivement (**Ciquel, 2007**). Les tubercules sont une bonne source de fibres alimentaires, en raison de la présence d'inuline.

Tableau 3 : les Graisse dans Jerusalem Artichoke *Helianthus tuberosus* portion 100g (Cieslik, 2011).

acides gras, total	<0,1 g
acides gras, polyinsaturés totaux	<0,1 g
acides gras, cis mono-insaturés totaux	<0,1 g
acides gras, saturés totaux	<0,1 g
acides gras, trans totaux	0 g
acides gras, n-3 polyinsaturés totaux	<0,1 g
acides gras, n-6 polyinsaturés totaux	<0,1 g
acide gras 18: 2 cis, cis n-6 (acide linoléique)	13 mg
acide gras 18: 3 n-3 (acide alpha-linolénique)	42 mg
acide gras 20: 5 n-3 (EPA)	0 mg
acide gras 22: 6 n-3 (DHA)	0 mg
cholestérol (GC)	0,3 mg
stérols, total	5,2 mg

VII.3 Les minéraux

Les tubercules d'artichaut de Jérusalem ont une teneur élevée en minéraux. Les tubercules sont particulièrement riches en fer (0,4 à 3,7 mg/100 g), en calcium (14 à 37mg/100 g) et en potassium (420 à 657 mg/100 g), bien qu'ils aient relativement peu de sodium (1,8 à 4,0 mg/100 g) Les concentrations de fer, par exemple, sont environ trois fois plus élevées que dans les pommes de terre (Cieslik, 2011). Des niveaux relativement élevés de sélénium ont également été observés, jusqu'à 50 µg/100g (Antanaitis et al., 2004; Bärwald, 1999). bien que les niveaux signalés soient généralement inférieurs). Des concentrations élevées de plomb et d'autres métaux lourds (par exemple, le cadmium) sont parfois signalées (Cieslik et Barananowski, 1997; Stolzenburg, 2003).

Les concentrations de métaux lourds augmentent à mesure que les niveaux dans le sol augmentent.

Tableau 4 : les Composants minérale de Jerusalem Artichoke *Helianthus tuberosus* portion 100g
(Ciqual, 2007).

Calcium	23,0 mg
fer, total	0,2 mg
iodure (iode)	0 µg
Potassium	630,0 mg
Magnésium	13,0 mg
Sodium	4.9 mg
Sel	12,5 mg
Phosphore	60,0 mg
sélénium, total	10,0 µg
Zinc	0,2 mg

VII.4 Vitamines

Les tubercules sont une bonne source de vitamines, en particulier les vitamines du complexe de vitamine B, la vitamine C (acide ascorbique) et le β -carotène (Van Loo et al., 1995). Ils ont des niveaux relativement élevés de folates ou d'acide folique (13 à 22 µg/100g), tandis que d'autres vitamines dans le complexe B sont présentes (thiamine, riboflavine, niacine, B6, acide pantothénique, biotine et cobalamine) Concentrations de vitamine C (2 à 6 mg/100 g) sont plus faibles que dans les parties végétales aériennes, mais supérieures aux autres cultures de racines et tubercules, par exemple environ quatre fois plus élevées que dans les pommes de terre (Eihe, 1976). Des caroténoïdes ont également été observés à concentrations relativement élevées (8 à 29 µg/100 g), le β -carotène étant un précurseur de la vitamine A (0,6 à 1,0 mg/100 g). Une corrélation a été notée entre la vitamine C et les niveaux de nitrates dans les tubercules (Cieslik et al., 1999).

En fait, des variations considérables a été signalé pour la teneur en vitamines dans la littérature, car les concentrations en vitamines dépendent fortement du stade de développement, des conditions climatiques, des pratiques agronomiques et d'autres facteurs.

Tableau 5 : La vitamine dans Jerusalem Artichoke *Helianthus tuberosus* portion 100 g (Goetz, 2009).

folate, total	13,0 µg
équivalents de niacine, total	1,5 mg
niacine préformée (acide nicotinique + nicotinamide)	1,3 mg
vitamines pyridoxine (chlorhydrate) 0,11 mg	0,11 mg
Riboflavine	0,05 mg
thiamine (vitamine B1)	0,20 mg
équivalent d'activité de rétinol de vitamine A	0,7 µg
caroténoïdes, total	8,0 µg
vitamine B-12 (cobalamine)	0 µg
vitamine C (acide ascorbique)	4,7 mg
vitamine D	0 µg
vitamine E alpha tocophérol	0,3 mg
vitamine K, totale	0,10 µg

VII.5 protéines

La protéine contenue dans les tubercules d'artichaut de Jérusalem comprend environ 1,6 à 2,4 g/100 g de poids frais. Les niveaux de protéines et d'azote restent relativement constants dans les tubercules au cours du développement (**Kosaric et al., 1984**). La protéine de tubercule contient tous les acides aminés essentiels dans des proportions favorables. Il est riche en lysine et en méthionine, par rapport aux protéines d'autres racines et tubercules, et est considéré comme de haute qualité pour les applications alimentaires et fourragères (**Cieslik, 1998; Rakhimov et al., 2003; Stauffer et al., 1981**).

Tableau 6 : les Composants protéique de Jerusalem Artichoke *Helianthus tuberosus* exprimée en% de matière sèche (Stolzenburg, 2004).

Acide aminé	
Acide Aspartique	0.86
Thréonine	0.20
Serine	0.19
acide Glutamique	0.83
Glycine	0.21
Alanine	0.23
Cystéine	0.06
Valine	0.22
Méthionine	0.06
Isoleucine	0.19
Leucine	0.27
Tyrosine	0.12
Phénylalanine	0.23
Histidine	0.17
Lysine	0.30
Arginine	0.65
Proline	0.30

VIII Topinambour et santé

Riche en fibres et minéraux, ce précieux tubercule fait pourtant partie des légumes longtemps oubliés mais dont on redécouvre aujourd'hui toutes les vertus santé. Originaire d'Amérique du Nord, le topinambour, connu également sous le nom d'artichaut de Jérusalem, est une plante vivace très rustique appartenant à la famille des Asteraceae.

Il renferme des glucides qui favorisent le bon fonctionnement du transit, contribuant ainsi à une bonne santé intestinale. Ces sucres pourraient également jouer un rôle dans la prévention de certains cancers et la lutte contre le diabète. Le topinambour possède plusieurs propriétés potentiellement bénéfiques pour notre santé.

VIII.1 Allié minceur

Avec une faible densité calorique par rapport à la pomme de terre (76 kcal/100g), un index glycémique modéré et un pouvoir satiétogène élevé, le topinambour est un aliment très utile pour un régime minceur (**Branquart et al., 2010**).

VIII.2 Santé intestinale

Le topinambour contient beaucoup d'inuline, une fibre alimentaire soluble, qui appartient à une famille appelée fructanes. Celles-ci sont composées de molécules glucidiques complexes, non digestibles par l'organisme, qui favorisent le bon fonctionnement du transit intestinal en stimulant la motilité de l'intestin. Grâce à leur contenu en inuline, les fructanes du topinambour favoriseraient le développement de bactéries bénéfiques à l'intestin, comme les bifidobactéries (*Lactobacillus/Enterococcus*). A ce titre, les fructanes sont considérés comme un prébiotique participant à l'équilibre de la flore intestinale. Ces fructanes peuvent réduire ainsi la constipation (**Bosscher et Breynaert, 2009**).

VIII.3 Prévention du diabète

Le topinambour, qui s'apparente à la pomme de terre, ne contient pas d'amidon comme substance de réserve mais bien de l'inuline, un glucide spécifique non assimilable. Ces fructanes sont potentiellement utiles chez les diabétiques car ce type de glucides n'influence pas la glycémie. L'inuline pourrait également avoir des effets positifs sur le diabète en réduisant les lipides sanguins. De fait, il a été démontré que la consommation d'inuline permet de diminuer sensiblement les triglycérides sanguins chez des sujets légèrement hypertriglycéridémiques. Aussi, chez des sujets diabétiques, l'ingestion de fructanes permet la réduction du cholestérol total et du mauvais cholestérol (**CABI, 2016**).

VIII.4 Prévention du cancer

Source de fructanes et d'inuline, le topinambour assurerait un rôle protecteur contre le cancer colo-rectal selon plusieurs études scientifiques. De fait, certains fructanes, dont l'inuline et l'oligofructose, ont montré des résultats prometteurs dans la prévention du cancer du côlon et du cancer du sein. Ces composés provoqueraient un changement bénéfique dans la composition de la flore intestinale qui amènerait une protection efficace contre certains pathogènes.

VIII.5 Riche en minéraux et vitamines

Le topinambour constitue une excellente source de vitamines du groupe B, minéraux (potassium, phosphore, magnésium) et oligo-éléments (fer, cuivre, zinc...) (**Meyer et Stasse-Wolthuis , 2009**).

VIII.6 Protection du système nerveux

La vitamine B1 présente dans le topinambour aide à maintenir notre système nerveux en bonne santé ; elle joue notamment un rôle très important dans la transmission de l'influx nerveux (**Kaur et Gupta, 2002**).

VIII.7 Biodisponibilité des minéraux

Des études scientifiques ont démontré que l'inuline et l'oligofructose du topinambour pouvaient augmenter de façon significative l'absorption du calcium et du magnésium au niveau de l'intestin. Ils agissent donc sur le plan de la minéralisation et de la densité osseuse pour une meilleure santé des os. Ce légume est donc précieux pour prévenir l'ostéoporose et le rachitisme (**Bosscher et Breynaert, 2009**).

Chapitre II

Métabolites secondaires

I Définition

Les enzymes à activité antioxydante du cycle ascorbate-glutathion et les petits métabolites (acide ascorbique (ASA), glutathion) sont quasi-ubiquitaires chez les êtres vivants. Cependant les plantes produisent également d'autres métabolites de défense d'importance tels que les caroténoïdes, les isoprénoïdes ainsi que les composés phénoliques (ou phénols) ; nous nous concentrerons sur ces derniers.

Les métabolites secondaires sont des molécules organiques synthétisées par les végétaux à partir de métabolites primaires (acides aminés, hydrates de carbone) par diverses voies (**Makhloufi, 2013**).

Ces composés sont souvent considérés comme n'étant pas essentiels à la vie de la plante (**Levasseur-Garcia et al., 2013**), mais plutôt interviennent dans les relations avec les stress biotiques, abiotiques ou améliorent l'efficacité de reproduction ; Dont ils participent à la protection de l'attaque des pathogènes ou des herbivores, attraction des pollinisateurs (**Guitton, 2010**), comme ils participent à des réponses allélopathiques, ils sont aussi des molécules très utiles pour l'homme, comme colorants, arômes, antibiotiques, herbicides, drogues... etc. (**Merzougui et Tadj, 2015**).

II On distingue classiquement quatre grandes catégories de métabolites secondaires chez les végétaux:

- Les composés phénoliques
- Les saponines
- Les alcaloïdes et composés azotes
- Les composés terpéniques.

II Les composés phénoliques

Les composants phénoliques sont des métabolites secondaires caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec des glucides.

Ils sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieures (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois) et sont impliqués dans de nombreux processus physiologiques comme la croissance cellulaire, la rhizogénèse, la germination des graines et la maturation des fruits (**Boizot et Charpentier, 2006**).

Les principales classes des composants phénoliques sont les acides phénoliques (acide caféique, acide hydroxycinnamique, acide férulique, acide chlorogénique,etc), les flavonoïdes, les tanins et les coumarines (**King et Young, 1999 ; Tapeiro et al., 2002**).

Les composants phénoliques sont des molécules biologiquement actives (**King et Young, 1999**) largement utilisées en thérapeutique comme vasoconstricteurs, anti-inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques, antioxydants et anti-radicalaires, antimicrobiens (**Bahorun, 1996**).

Tableau 7: Les principales classes de composés phénoliques (Macheïx, 1990)

Squelette carboné	Classe	Exemple
C6	Phénols simples	Catéchol
C6-C1	Acides hydroxybenzoïques	p-hydroxybenzoïque
C6-C3	Acides hydroxycinnamiques Coumarines	Acides caféique, férulique Scopolétine, esculétine
C6-C4	Naphtoquinones	Juglone
C6-C2-C6	Stilbènes	Resvératrol
C6-C3-C6	Flavonoïdes ▪ Flavonols ▪ Anthocyanes ▪ Flavanols ▪ Flavanones Isoflavonoïdes	Kaempférol, quercétine Cyanidine, pélargonidine Catéchine, épicatechine Naringénine Daidzéine
(C6-C3) ₂	Lignanes	Pinorésinol
(C6-C3) _n	Lignines	
C6C3C6) _n	Tannins	

II.1 Acides phénoliques

Ce sont des composés organiques possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique. Ils sont représentés par deux sous-classes, les dérivés de l'acide hydroxybenzoïque (C6-C1) (figure 5 a) et les dérivés de l'acide hydroxycinnamique (C6- C3) (figure 5 .b)(**Bruneton.1999; Liu. 2004**).

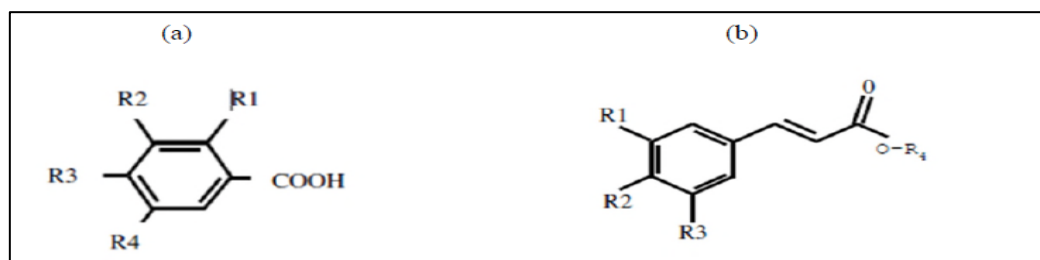


Figure 5 : Structure chimique des acides hydroxybenzoïques (a) et Structure chimique des acides hydroxycinnamiques (b).(Bruneton.1999; Liu. 2004).

II.2 Les flavonoïdes

Le nom flavonoïde proviendrait du terme Latin flavus ; (flavus=jaune) (Malešev et Kuntić 2007). Plus de 4000 variétés de flavonoïdes ont été identifiées chez les plantes (Medić-Šarić et al., 2004). Ils sont généralement produits par cyclisation d'un intermédiaire dérivé de l'acide cinnamique et de trois molécules de malonyl-CoA (Walter et al., 2002).

Les flavonoïdes sont amplement répandus dans le règne végétal (graines, fleurs, fruits, feuilles) (Dacosta, 2003), qu'on divise en plusieurs catégories : Les flavones, les flavonols et les dihydroflavonols, les isoflavonoïdes, les biflavonoïdes, les flavanones, les flavanols, les flavanediols (leucocyanidines), les anthocyanidines, les chalcones et les dihydrochalcones, les auronones (Dacosta, 2003).

La structure de base de ces composés (Figure 6). est le diphényle propane à 15 atomes de carbones (C6-C3-C6) (Bessaoud 2015) ils sont caractérisés par la présence de deux cycles benzoïques (A et B) et d'un hétérocycle oxygéné (C) (El Kabouss et al., 2011; Carvalho et al., 2013).

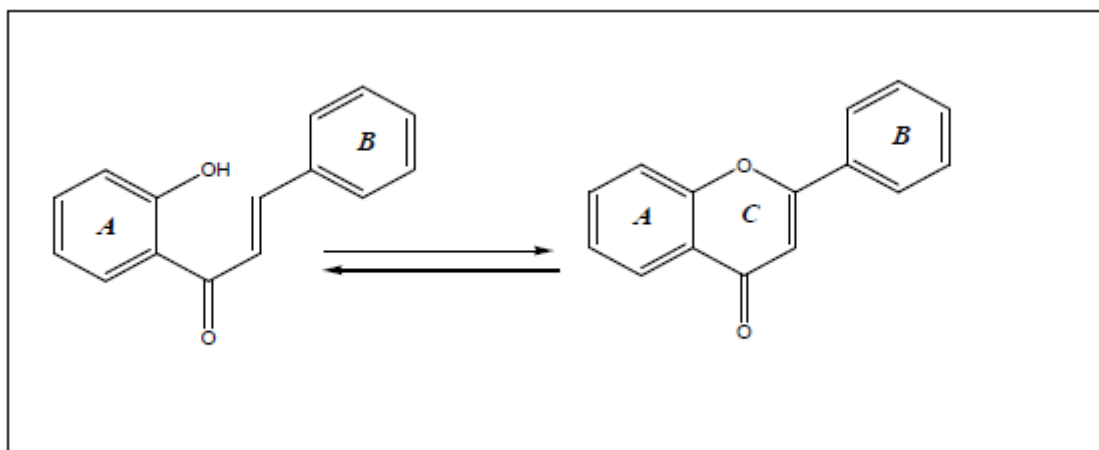


Figure 6: structure chimique des flavonoïdes (Bruneton 1999 ;Morreelet al., 2006).

II.3 Les tanins (proanthocyanidines)

Les tanins sont des métabolites secondaires polyphénoliques (Khanbaba et Ree, 2001), Ayant une masse moléculaire comprise entre 500 et 3000 daltons, les tanins sont caractérisés par une saveur astringente (Belyagoubi-Benhammou. 2012) dépourvus de toxicité et sont utilisés en tant que remède dans certains cas d'empoisonnement (Buchala, 2007).

Il y a deux groupes de tanins différents par leur structure et leur origine biogénétique: les tanins hydrolysables et les tanins condensés. Les premiers sont des esters du D-glucose et de l'acide gallique ou de ses dérivés (figure 7.a), et les seconds sont des polymères constitués d'unités flavane reliées par des liaisons entre les carbones C4 et C8 ou C4 et C6 (figure 7.b) (Rezaire.2012).

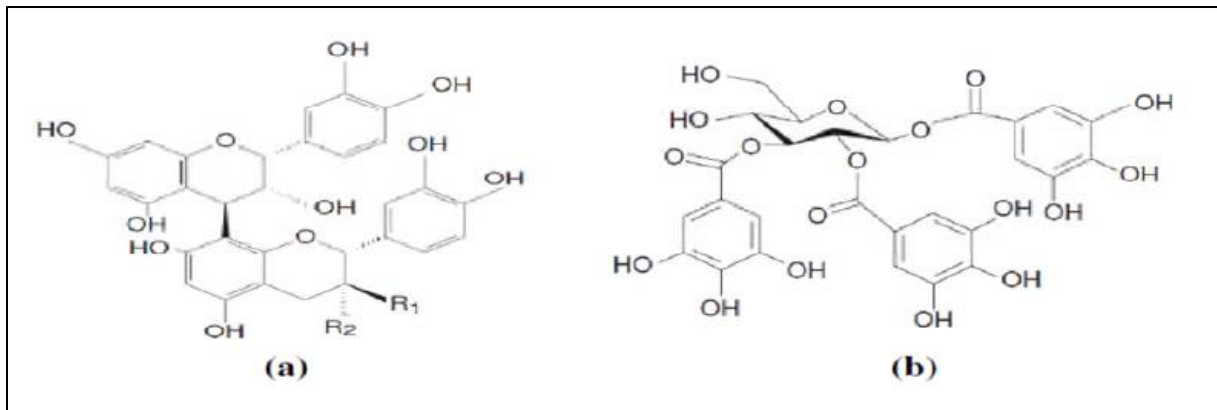


Figure 7 : Structure chimique (a) d'un tannin condensé (proanthocyanidine) et (b) d'un gallotanin (Ribereau-Gayon.1968).

II.4 Les alcaloïdes

Les alcaloïdes figurent parmi les principes actifs les plus importants en pharmacologie et en médecine. L'intérêt qu'on leur porte reposait traditionnellement sur leur action physiologique et psychologique particulièrement violente chez l'homme. Ce sont des composés azotés au goût amer qui ont des propriétés chimiques basiques (alcalines).

Le premier alcaloïde identifié (en 1806) fut la morphine, qui provient du pavot (*Papaver somniferum*). Il est actuellement utilisé en médecine comme analgésique (pour calmer la douleur) et pour contrôler la toux ; cependant, l'utilisation abusive de ce médicament peut conduire à une forte accoutumance. On a maintenant isolé et identifié la structure de près de 10 000 alcaloïdes, comme la cocaïne, la caféine, la nicotine et l'atropine (Belabbassi,2012).

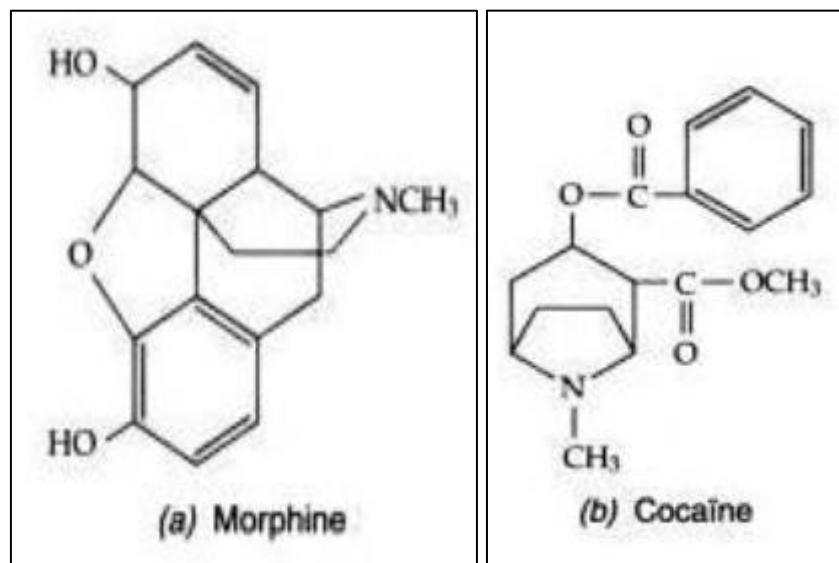


Figure 8 : Structures chimiques de deux alcaloïdes, la morphine (a) et de la cocaïne (b). (Pinheir,2015)

II.5 Les terpénoïdes

Appelés aussi terpènes, ils constituent une vaste groupe de métabolites secondaires, ce sont des hydrocarbures naturels, de structure cyclique ou de chaîne ouverte (**Merzougui et Tadj, 2015**).

Ils répondent dans la plupart de cas à la formule générale (C₅H₈) c'est à-dire leur particularité structurale la plus importante est la présence dans leur squelette d'unité isopréniques à 5 atomes de carbone (**Hernandez Ochoa, 2005**).

Selon le nombre d'unités isopréniques qui les constituent, on distingue : les terpènes ou monoterpènes en C₁₀, les sesquiterpènes en C₁₅, les diterpènes en C₂₀, les triterpènes C₃₀, et les tétraterpènes C₄₀ (**Mezouar 2013**).

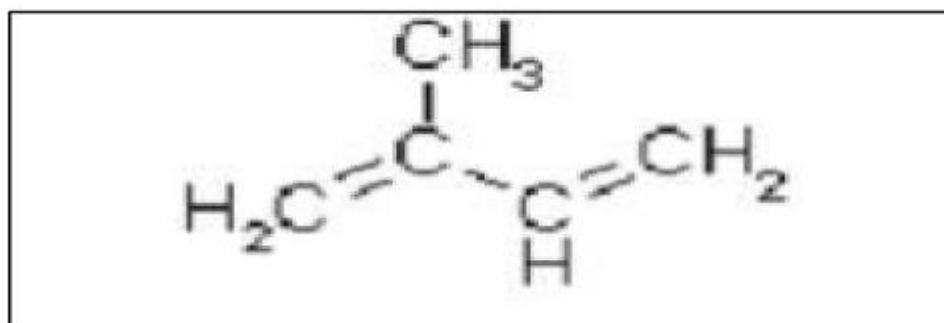


Figure 9: Structure de de la molécule d'isoprène (Mostafa, 2008)

III Biosynthèse des polyphénols

Les polyphénols sont synthétisés par deux voies biosynthétiques:

- Celle de l'acide shikimique (shikimate).
- Celle issue de l'acétate-malonate (**Mahmoudi et al., 2013**).

De plus la diversité structurale des composés polyphénoliques due à cette double origine biosynthétique, est encore accrue par la possibilité d'une participation simultanée des deux voies dans l'élaboration de composés d'origine mixte (**Bernatova et al., 2010**).

III.1 La voie de l'acide shikimique

C'est souvent la voie de biosynthèse des composés aromatiques, elle joue un rôle critique pour contrôler le métabolisme de la voie de phénylpropanoïde (**Kening, 1995**).

L'origine biosynthétique des composés phénoliques des végétaux est proche, tous dérivant de l'acide shikimique (figure 10), cette voie shikimate conduit à la formation des oses aux acides aromatique (phénylalanine et tyrosine) puis par désamination de ces derniers, aux acides cinnamiques et à leur très nombreux dérivés : acide benzoïques, acétophénones, lignines, coumarines (**Bruneton, 1993**).

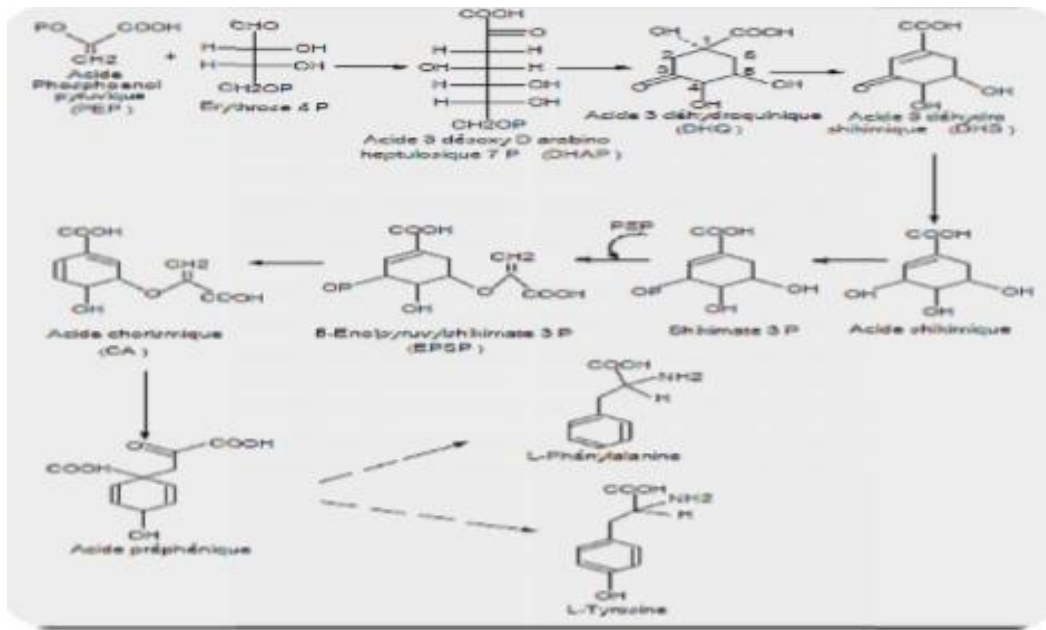


Figure 10 : Biosynthèse des polyphénols par la voie shikimate. [Bruneton, 1999]

III.2 Voie de l'acétate

Plusieurs unités acétates se condensent pour conduire à des dérivés β cétonique qui se cyclisent ensuite (merghem, 2009).

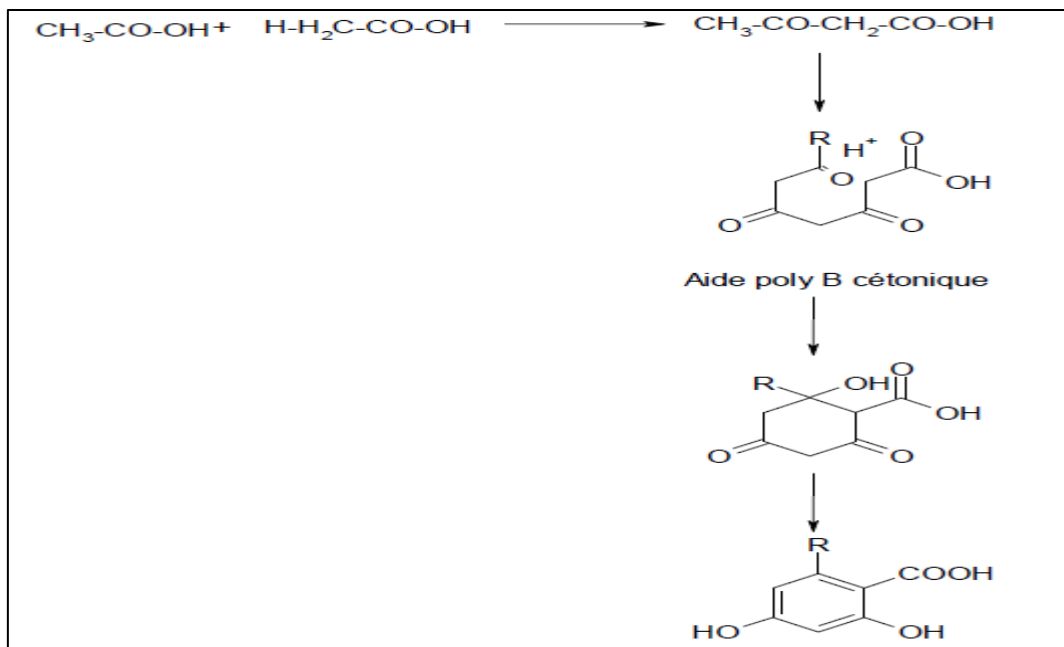


Figure 11: biosynthèse des polyphénols par la voie d'acétate (Bruneton ,1999)

De cette voie résulte

- Les quinones (dérivés 1-8 dihydroxyanthracéniques),
- Naphtodianthrones

- Orcinols, Phloroglucinol

Il ya des substances d'origine mixte entre la voie de l'acide shikimique et la voie de l'acétate. (Bernatova *et al.*, 2010).

IV Propriétés biologiques des composés phénoliques

Chez les plantes, les composés phénoliques sont impliqués dans différents processus comme la germination des graines et la croissance des plantes (Marcheix *et al.*, 2005).

Ces dernières années les recherches sur les composés phénoliques sont accentuées en raison de leurs activités anti-inflammatoires, antibactériennes et antifongiques, antioxydant et même anticancéreuse (Montoro *et al.*, 2005).

IV.1. Activité anti-inflammatoire :

Les propriétés anti-inflammatoires des composés polyphénoliques peuvent être dues à leurs capacités d'inhiber des enzymes impliquées dans les processus inflammatoires (Škerget *et al.*, 2005) et leurs activités antioxydantes.

La matricaire, appelée également la camomille allemande ou camomille commune, est une plante médicinale employée pour ses propriétés antispasmodiques et anti-inflammatoire (Marcheix *et al.*, 2005).

IV.2. Activité antibactérienne :

Les polyphénols notamment les flavonoïdes et les tanins sont reconnus par leur toxicité vis-à-vis des microorganismes (Basliet *et al.*, 2012).

IV.3. Activité anticancéreuse :

Les flavonoïdes et autres phénols peuvent jouer un rôle préventif dans le développement du cancer (Genoux, 2011).

Ils interviennent dans l'étape d'initiation comme piègeurs des mutagènes électrophiles ou en stimulant la réparation de l'ADN muté. Durant les étapes de promotion et de progression, ils agissent comme des agents suppresseurs de tumeurs par différents mécanismes comme l'induction de l'apoptose et l'inhibition de la prolifération cellulaire (Gerber *et al.*, 2002).

IV.4. Activité antioxydante :

L'activité antioxydante des composés phénoliques est due à leur capacité à piéger les radicaux libres, donner l'atome d'hydrogène et électron et chélater les cations métalliques.

La structure des composés phénoliques est l'élément déterminant de leur activité. Pour les acides phénoliques, l'activité antioxydant augmente proportionnellement avec le degré d'hydroxylation et la présence de groupement C=CH-COOH (Balasundram *et al.*, 2006).

Pour les flavonoïdes, la relation structure activité antioxydante est généralement plus compliquée que les acides phénoliques à cause de la complexité de la molécule de flavonoïdes (**Borset *al.*, 1997**).

Tableau 8 : les propriétés biologiques des composés phénolique
 (Bahorun ,1999 ; Leitao, 2011 ; Bylka et *al.*, 2004 ; Chung et Wei, 2001)

Composé phénolique	Propriétés biologiques
Acides phénols (cinnamiques et benzoïques)	- Antibactériens - Antifongiques - Antioxydants
Flavonoïdes	- Antitumorales - Anticarcinogènes - Anti-inflammatoires - Hypotenseurs et diurétiques - Antioxydants -Antibactériens -Antivirales Antiallergique
Proanthocyanidines	- Effets stabilisants sur le collagène - Antioxydants - Antitumorales - Antifongiques et antibactérien - Anti-inflammatoires - Antidiarrhéique -Effet vasoconstricteur
Tanins galliques et catéchiqes	-Antioxydants -L'activité antimicrobienne -Activité anti-cancerogénique

Chapitre III

Stress oxydatif

et

Pouvoir antioxydant

I Stress oxydatif

Le stress oxydatif, appelé aussi stress oxydant, se définit comme étant un déséquilibre profond de la balance entre les systèmes oxydants et les capacités antioxydantes de l'organisme en faveur des premiers, ce qui conduit à des dommages cellulaires irréversibles (**Pincemail et al., 1999**). Ce phénomène est associé à une libération massive des radicaux libres (**Favier 1997**).

Le stress oxydatif est à l'origine de certaines maladies. Il est souvent initié et propagé par une surproduction d'O₂⁻ et de H₂O₂, et par leur conversion en de puissants oxydants dangereux pour les cellules (**Favier 1997**).

Ce stress peut avoir diverses origines : mauvaise alimentation, phénomènes inflammatoires chroniques ou aigus et habitudes de vie inadéquates (tabagisme, consommation excessive d'alcool,...etc.) (**Pincemail et Defraigne 1999**).

II Radicaux libres

Les radicaux libres sont des substances chimiques très réactives comportant un nombre impair d'électrons. Ces derniers peuvent semer le désordre dans la structure des protéines cellulaires, des lipides membranaires et des acides nucléiques. Ces radicaux peuvent éventuellement entraîner la mort cellulaire et des maladies telles que : Les maladies cardiaques, le cancer (**Pincemail et al., 1999**) et la maladie d'Alzheimer.

L'appellation espèces réactives de l'oxygène (ERO) inclut les radicaux libres de l'oxygène (anion superoxyde (O₂⁻), radical hydroxyle (OH[•])) et certains dérivés oxydés non radicalaires tels que le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) (**Badeau 2006**).

Ces espèces sont formées de façon continue dans l'organisme sain, en particulier par fuite d'électrons à partir de la chaîne respiratoire. Elles peuvent également être générées suite à une respiration excessive, un exercice physique ou un stress, ou même à une exposition environnementale à des facteurs pro-oxydants : tabac, alcool, amiante,...etc. (**Aurousseau 2002**).

Tableau 9 : Principaux radicaux libres et comparaison de leur pouvoir oxydant (Kebieche, 2009).

Radical	Formule
Anion superoxyde	O ₂ ⁻
Peroxyde d'hydrogéné	H ₂ O ₂
Hydroxyle	OH.
Peroxyde	ROO.
Hydro peroxydes	ROOH
Alcoyles	RO.
Oxygéné singulet	1/2O ₂
Oxyde nitrique	NO.

II.1 Origine des radicaux libres

La production de ces espèces oxydantes est une conséquence inévitable du métabolisme aérobie. En effet, l'organisme a besoin d'O₂ pour produire de l'énergie au cours des réactions dites de respirations oxydatives. Cependant, une faible partie de l'oxygène échappe à sa réduction en eau, au niveau de la mitochondrie. Elle peut alors être à l'origine de la production de radicaux libres oxygénés (voir tableau 10) (G. Yakhlef, 2010).

Les autres sources de production de radicaux libres sont représentées dans le tableau 2. Elles sont classées en deux catégories (Justine et al., 2005).

- Sources endogènes : les radicaux libres sont des produits des réactions de l'organisme,
- Sources exogènes : les êtres vivants sont exposés quotidiennement à des polluants susceptibles d'être à l'origine de la production de radicaux libres.

Dans certaines situations, cette production augmente fortement, entraînant un stress oxydatif.

Tableau 10 : Principales sources de production des radicaux libres. (Justine et al., 2005)

Sources endogènes	Production des radicaux libres lors des respirations oxydatives (mitochondries). Cellules phagocytaires. Métabolisme de l'acide arachidonique. Système xanthine/xanthine oxydase.
Sources exogènes	Rayonnement électromagnétique. Métaux de transition. Médicament.

III Mécanisme de l'oxydation

La réaction d'oxydation est une réaction de type radicalaire mettant en jeu des espèces très réactives (Judde, 2004). Elle est initiée par la lumière, la chaleur, ou les traces de métaux lourds (Cu^{2+} et Fe^{3+}). Cette réaction est au départ très lente, puis s'accélère de façon exponentielle avec la formation de peroxyde; c'est une réaction en chaîne de radicaux libres. Elle se déroule en trois étapes : initiation, propagation et terminaison (Grait, 2015).

III.1 Phase d'initiation

L'initiation à la réaction d'oxydation correspond à la formation d'un radical libre par l'arrachement d'un atome d'hydrogène d'une chaîne d'acides gras généralement non saturés (Jeantet et al., 2006). La phase d'initiation se caractérise par la formation d'espèces très réactives ROOH et R^\bullet selon les réactions suivantes :

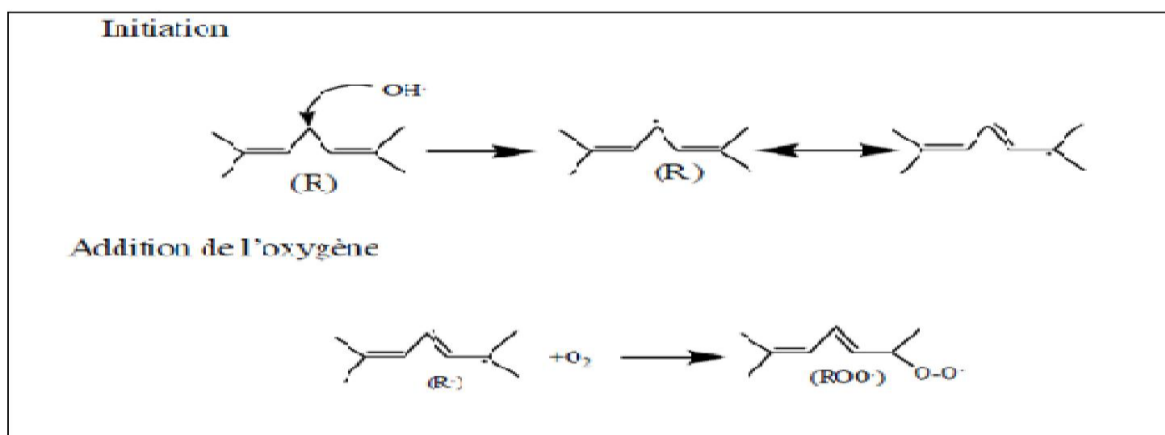


Figure 12: les différentes étapes de la phase d'initiation à l'oxydation. (Milane, 2004)

III.2 Phase de propagation

En présence d'oxygène, il se forme un radical peroxyde (ROO^\bullet) qui déstabilise une deuxième molécule d'acides gras polyinsaturés (AGPI) et conduit à un hydroperoxyde lipidique (ROOH) et à un nouveau radical, assurant ainsi la propagation du processus selon les réactions suivant :



Des traces d'ions métalliques suffisent pour générer une grande quantité de radicaux libres comme le montre les réactions suivantes:

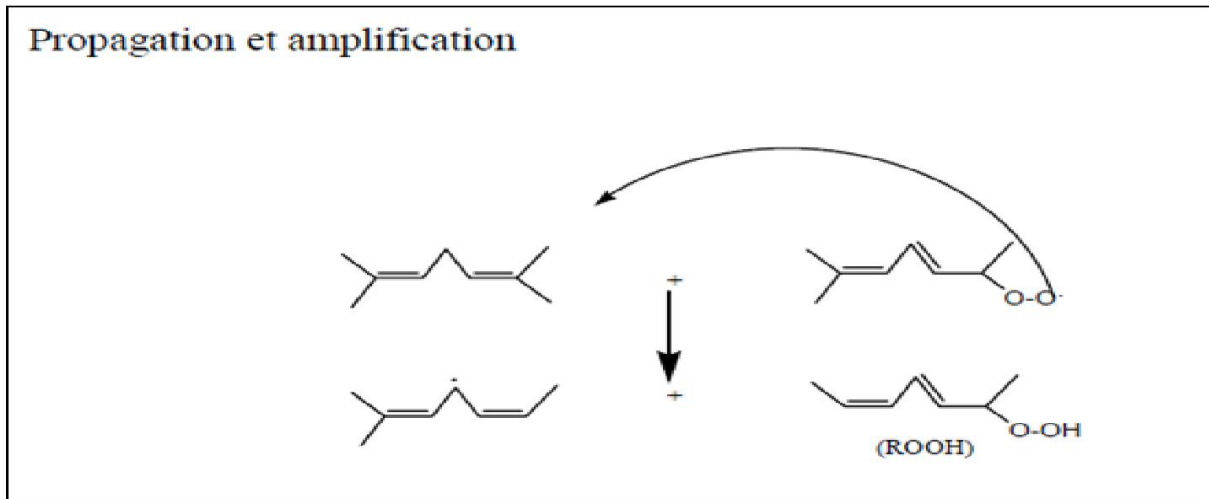
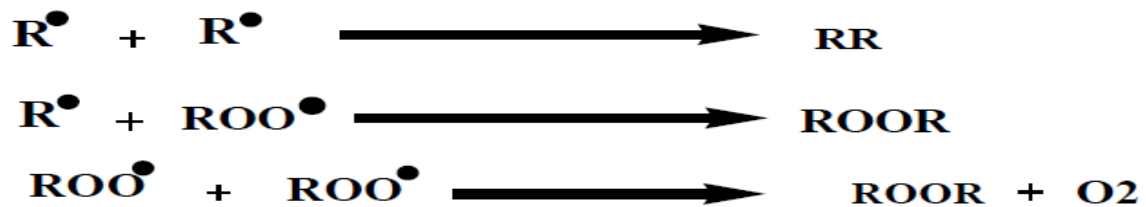


Figure 13 : Phase de propagation (Milane, 2004)

III.3 Phase de terminaison

La chaîne de propagation peut s'arrêter par la formation de polymères ou au contact avec un autre radical. De nouvelles espèces moléculaires anarchiques apparaîtront (réactions ci-après), et n'auront plus de fonctions biologiques (Milane, 2004).



IV Rôles pathologique des espèces actives de l'oxygène

Lorsque les moyens de défense sont "débordés", les radicaux libres oxygénés en excès vont agir au niveau de trois grandes cibles cellulaires: les membranes, les protéines et les acides nucléiques (Jadot, 1994).

IV.1 Les membranes

Une action caractéristique des RDL est la lipoperoxydation (LIPOX). C'est un phénomène permanent que l'on retrouve dans une grande variété de tissus, et qui résulte de l'attaque des acides gras polyinsaturés (AGPI) par les RDL. La LIPOX provoque une diminution de la fluidité et une augmentation de la perméabilité membranaire, livrant ainsi le passage à des substances qui normalement ne passent pas la membrane. La LIPOX est aussi

responsable de l'inactivation d'enzymes membranaires structurales. L'oxydation des AGPI conduit à la formation de composés peroxydiques et aldéhydiques dont la malondialdéhyde (MDA) (**Thiebault et Sprumont, 1997**).

IV.2 Les protéines

Les protéines les plus sensibles aux attaques radicalaires sont surtout celles qui comportent une fonction thiol (SH). Comme les protéines de transport qui deviennent inactivées suite à leur oxydation. Les protéines peuvent alors soit subir des réticulations par formation notamment de ponts bi-tyrosine détectables par leur fluorescence, soit subir des coupures en cas d'agression forte, soit des modifications de certains acides aminés en cas d'agressions modérées. Les protéines modifiées par oxydation perdent leurs propriétés biologiques (enzyme, anti-enzyme, transporteurs, récepteurs...) et deviennent beaucoup plus sensibles à l'action des protéases et notamment du protéasome (**Kebieche, 2009**).

IV.3 Les acides nucléiques

Les dommages oxydatifs concernent non seulement les bases nucléotidiques mais aussi les groupements phosphodiester ainsi que les oses. Tous les acides nucléiques sont concernés (ARN, ADN nucléaire et mitochondrial). ADN mitochondrial est plus vulnérable que l'ADN nucléaire puisque la mitochondrie est le principal organe cellulaire producteur de radicaux oxygénés. La guanine est l'une des bases les plus oxydables: les produits de transformation sont des formes hydroxylées (8-OH-G), ou partiellement ouvertes (**Afect, 2011**).

IV.4 Oxydation des glucides

Le glucose peut s'oxyder en présence des ions métalliques conduisant à la libération des cétoaldéhydes, H₂O₂ et OH. qui peuvent entraîner la coupure des protéines ou leur glycation par attachement du cétoaldéhyde. Ce phénomène de glycosoxydation est très important chez les diabétiques et contribue à la fragilité de leurs parois vasculaires et de leur rétine (**Favier, 2003**).

V Implications pathologiques du stress oxydatif

Le stress oxydatif est impliqué dans de très nombreuses pathologies (figure 2) comme facteur déclenchant ou associé à des complications (**Favier, 2003**). Il peut être associé à l'athérosclérose, l'asthme, l'arthrite, la cataractogénèse, l'hyperoxie, l'hépatite, l'attaque cardiaque, les vasospasmes, les traumatismes, les accidents vasculaires cérébraux, les pigments d'âge, les dermatites, les dommages de la rétine, les parodontites et les cancers (**Cohen et al., 2000; Packer et Weber, 2001**). Néanmoins, la plupart des maladies induites

par le stress oxydatif apparaissent avec l'âge car le vieillissement diminue les défenses antioxydantes et augmente la production mitochondriale des radicaux (**Favier, 2003**).

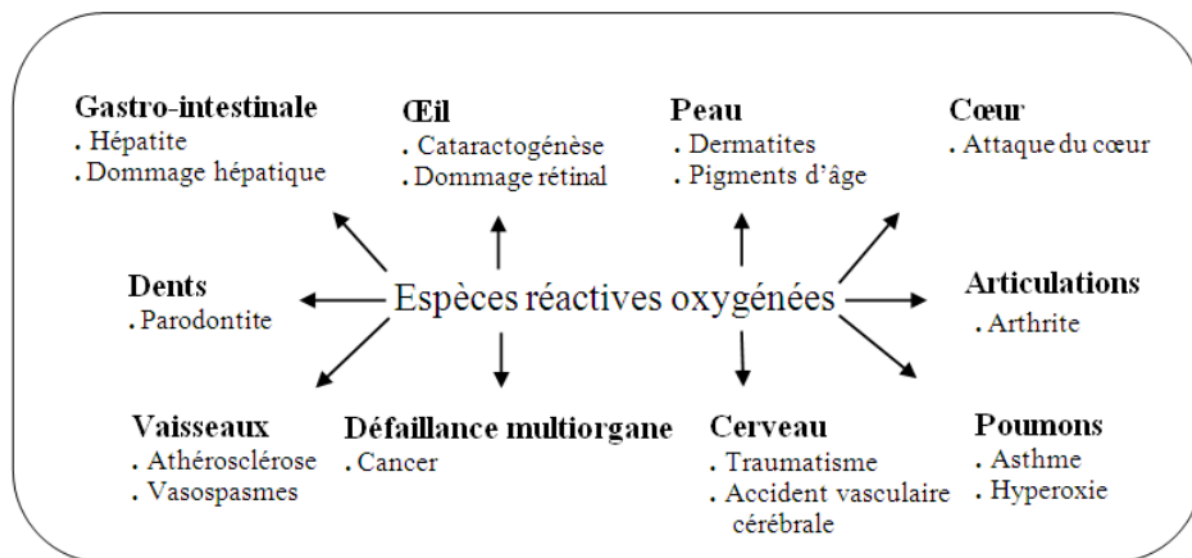


Figure 14 : Les pathologies associées aux espèces réactives oxygénées (Lee et al., 2004)

VI Les antioxydants

Pour contourner les dommages causés par les ERO, la cellule fait appel à des systèmes de défense appelés antioxydants (figure 3). Un antioxydant est défini comme toute substance ayant la capacité de retarder, prévenir ou réparer un dommage oxydatif d'une molécule cible (**Halliwell et Gutteridge, 2007**). Ainsi, les antioxydants servent à contrôler le niveau des espèces réactives pour minimiser le dommage oxydatif (**Tang et Halliwell, 2010**).

VI.1 Antioxydants enzymatiques

L'organisme se défend contre les radicaux en synthétisant des enzymes qui les neutralisent. Les principales enzymes antioxydantes sont la superoxydedismutase, la glutathion peroxydase et la catalase (**Vincent et al., 2004**).

VI.1.1 Les Superoxydedismutase (SOD) :

Les superoxydedismutases (SODs) sont une classe d'enzymes apparentées qui catalysent la dégradation de l'anion superoxyde en O₂ et H₂O₂. Les cellules humaines possèdent une enzyme SOD mitochondriale ayant le manganèse dans son site actif (MnSOD) ainsi qu'une enzyme SOD cytosolique et une SOD extracellulaire ayant le cuivre et le zinc (Cu-ZnSOD) comme coenzymes (**Favier, 2003**). Due à sa relative stabilité, le H₂O₂ produit par les SODs est régulé enzymatiquement par les catalases et les peroxydases (**Blokhina et al., 2003**). Les catalases sont des enzymes localisées dans les peroxysomes et catalysent la conversion du H₂O₂ en H₂O et O₂. Tandis que les glutathion peroxydases éliminent le H₂O₂ par son utilisation dans l'oxydation du glutathion réduit (GSH) en glutathion oxydé (GSSG)

et requièrent le sélénium dans leur site actif pour cette activité (Aruoma, 1999). La glutathion 23 réductase, qui est une enzyme contenant le FAD, génère GSH à partir de GSSG via le NADPH comme source de pouvoir réducteur (Aruoma, 1999).

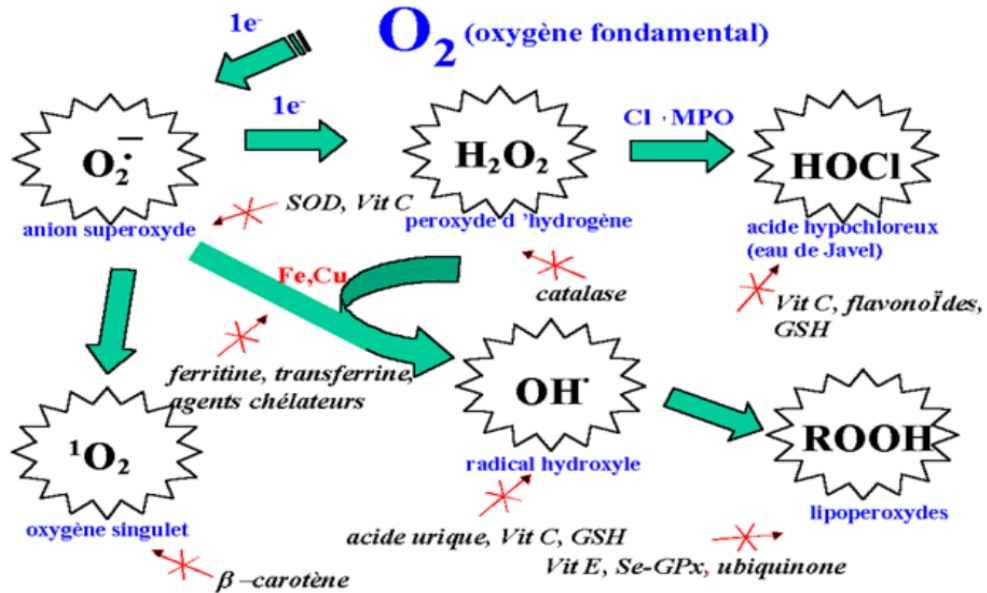
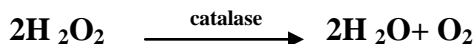


Figure 15: Espèces réactives oxygénées et systèmes de protection permettant de limiter leur effet toxique. GSH: glutathion, Cl-: anion chlorure, MPO: myéloperoxydase, SOD: superoxydedismutase, Se-GPx: glutathion peroxydase séléno-dépendante (Pincemail et al., 1999)

VI.1.2 Les Catalases

Cette enzyme est localisée essentiellement dans les peroxysomes elle permet de convertir deux molécule de H_2O_2 en $2\text{H}_2\text{O}$ et O_2 (Belyagoubi, 2011).



Une molécule de Catalase peut convertir Six million molécules d'hydrogène peroxyde en l'eau et oxygène chaque minute (Alain, 2011).

VI.1.3 Glutathion peroxydase (GPx) :

La GPx fait partie d'un système complet qui joue un rôle central dans le mécanisme d'élimination du H_2O_2 . La GPx est l'enzyme clef du système antioxydant et nécessite la présence de glutathion réduit (GSH) comme donneur d'électron. Le glutathion dissulfite (GSSG) ainsi produit est à nouveau réduit par la glutathion réductase (GR) qui utilise le NADPH comme donneur d'électron (Figure) (Agarwal et Prabakaran, 2005).

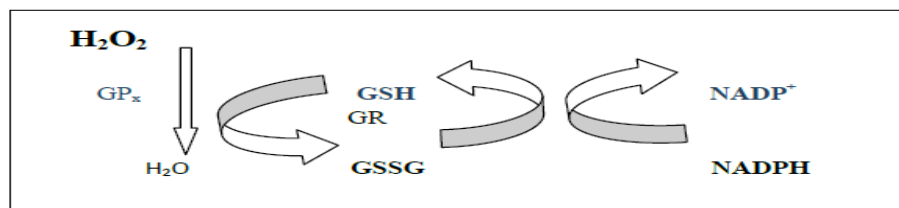


Figure 16 : Elimination du H_2O_2 par les réactions enzymatiques combinées de la GPx et de la GR
(Servais, 2004)

VI.2 Antioxydants non enzymatique

Ce système fait appel à des molécules non enzymatiques telles que les vitamines antioxydante (vitamine C et vitamine E), les caroténoïdes et les composés phénoliques. Contrairement aux enzymes antioxydants, ces composés ne sont pas synthétisés par l'organisme et doivent être apportés par l'alimentation (Gardès-Albert *et al.*, 2003).

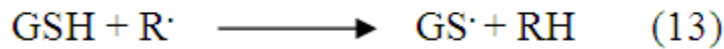
VI.2.1 L'acide ascorbique

L'ascorbate (vitamine C) est un très bon capteur de radicaux libres oxygénés aussi bien hautement réactifs tels que les radicaux OH. que très peu réactifs tels que les radicaux O_2^- . Sa capacité de donation d'électrons dans une large gamme de réactions enzymatiques et non enzymatiques le qualifie de meilleur agent de détoxification des radicaux oxygénés dans la phase aqueuse (Blokhina *et al.*, 2003). En réagissant avec ces divers radicaux, l'ascorbate (AscH-) est oxydé en radical ascorbyle (Asc·-) qui est relativement inerte vis-à-vis des molécules biologiques. De plus, l'ascorbate est muni d'une propriété importante: la réparation de deux autres antioxydants, le glutathion (GSH) et l' α -tocophérol (α -TH) à partir de leurs formes radicalaires (réactions 14 et 15). L'ascorbate est recyclé, tout au moins en partie, par dismutation du radical ascorbyle (Gardès-Albert *et al.*, 2003).



VI.2.2 Le glutathion

Le glutathion est un tripeptide dont la fonction thiol lui confère un rôle d'antioxydant, voire, de réducteur (donneur d'électron ou d'atome H), qu'il exerce vis-à-vis de nombreuses espèces oxydées, et en particulier vis-à-vis de l'eau oxygénée et des radicaux hydroxyles tel que montré dans la réaction 12 (Gardès-Albert *et al.*, 2003). Toutefois, le rôle protecteur de GSH semble provenir de sa capacité à réagir avec les radicaux (réaction 13). Dans ce cas, un phénomène de "réparation" des radicaux $\text{R}\cdot$ en produits réduits RH se produit (Lal, 1994).



VI.2.3 Les oligoéléments

Les oligoéléments ou les éléments-trace (zinc, sélénium, cuivre, manganèse) constituent des cofacteurs nécessaires aux activités des enzymes antioxydantes (figure 17). D'autres constituants de l'alimentation, comme les vitamines du groupe B, le chrome ou le magnésium agissent comme des antioxydants indirects via la régulation de l'homocystéinémie (vitamines du groupe B), l'amélioration de la sensibilité à l'insuline (chrome) ou la lutte contre l'inflammation (magnésium).

La synthèse du glutathion, un des antioxydants le plus important de l'organisme, dépend fortement de l'apport nutritionnel en acides aminés tels que la méthionine (**Roussel, 2009**).

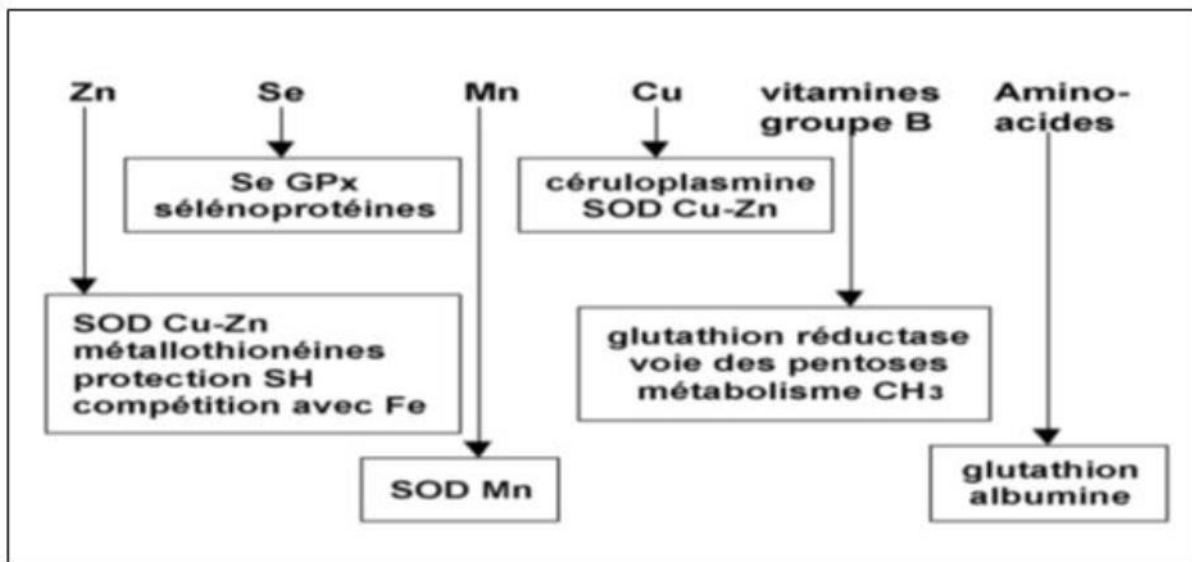


Figure 17 : Oligoéléments nécessaires aux activités des enzymes antioxydantes (Roussel, 2009).

VI.2.4 Vitamine E

La vitamine E (α -tocophérol) est le principal antioxydant. Elle neutralise les radicaux libres ensuite stoppe la chaîne de réactions de peroxydation des lipides. Cette vitamine devient à son tour un radical moins réactif, qui pourra être régénéré par l'acide ascorbique (**Bationo et al., 2015**).

VI.2.5 Caroténoïdes

Les caroténoïdes font partie des micronutriments qui participent aux défenses de l'organisme contre les espèces oxygénées. Ce sont essentiellement des piègeurs de l'oxygène singulet (O⁻) (**Colin 2008**).

VI.2.6 Tannins

Les tannins sont révélés très efficaces pour réduire les ions métalliques et empêcher la peroxydation des lipides dans les microsomes et les mitochondries du foie. Ils sont également dotés d'une activité scavenger du radical DPPH° et de l'anion superoxyde (Okuda, 2005).

VI.2.7 Flavonoïdes :

Les flavonoïdes préviennent l'oxydation des lipides et l'athérosclérose.



Ils agissent principalement comme piègeurs de radicaux libres tels que le DPPH°, le superoxyde et le peroxydite, ou encore comme chélateurs de métaux (Nijveldt et al., 2001).

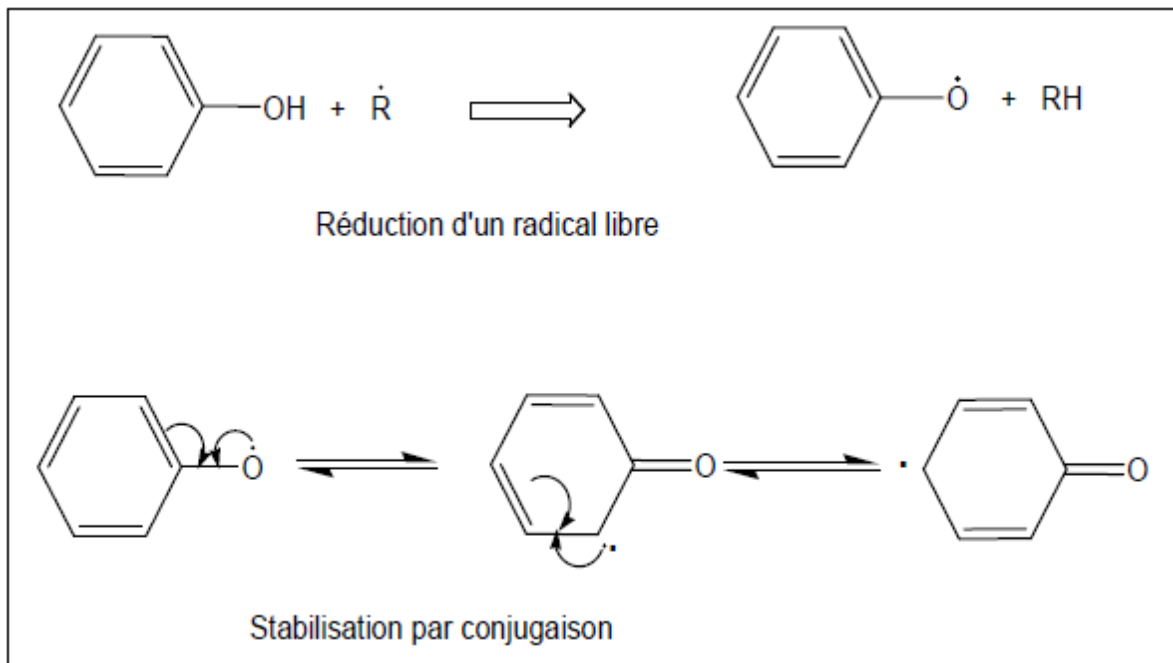


Figure 18: Propriété réductrice des polyphénols (Rolland 2004 ; Rowland et al., 2017)

PARTE PRATIQUE



Chapitre I

MATERIEL

ET

METHODES



I Matériel végétal

Dans notre étude, les tubercules de topinambour sont nettoyés et conservés au froid jusqu'à utilisation. Les tubercules ont été obtenus au niveau du marché de la wilaya de sidi bel Abbés (souk el fellah). il s'agit de la variété << patate >> *helianthus tuberosus*, un topinambour gros, blanc, généralement lisse et uni. le tubercule est un rhizome souterrain tubérisé, il a un aspect en forme de poire plus ou moins contourné. on observe à sa surface la trace de feuilles non développées et de bourgeons axillaires.

Notre expérimentation a été réalisée au niveau de laboratoire de "biochimie appliquée" affilié au département de biologie, faculté des sciences de la nature et de la vie, université Djilali Liabes De Sidi Bel Abbes (ITMA).



Figure 19 : les tubercules de topinambour

II Analyses physico-chimiques

II.1 Détermination de la teneur en eau :

II.1.1 Principe

La teneur en humidité des aliments est traditionnellement mesurée à l'aide d'un four de séchage dans lequel un échantillon est chauffé dans des conditions précises et la perte de poids est utilisée pour calculer la teneur en eau de l'échantillon.

II.1.2 Le matériels

- Balance analytique
- Capsule métallique
- Etuve isotherme

- Dessiccateur à plaque métallique
- Pince métallique
- spatule

II.1.3 Méthode :

Dans un souci de représentativité, la préparation doit se faire sur un échantillon de topinambour d'au moins 3,5 kg. La méthode consiste à râper ou à couper en cubes de 1 cm de côté maximum, au moins 3,5 kg de pommes de terre et à bien mélanger l'ensemble de façon à obtenir un échantillon homogène. A partir de celui-ci, deux prises d'essai d'environ 200 g sont faites et pesées avec leur contenant. L'ensemble est mis à l'étuve, à une température stabilisée de 105°C +/- 5 °C, pour une durée de 48 h +/- 1 h. Les prises d'essai sont sorties de l'étuve puis refroidies avant d'être, rapidement, de nouveau pesées.

Calcul

$$H\% = \frac{m1-m2}{m1-m0} \times 100$$

m0 : Le poids de la capsule vide.

m1 : Le poids de la capsule contenant l'échantillon.

m2 : Le poids de la capsule contenant l'échantillon après séchage.

Les résultats sont sous forme de moyenne suivie de l'écart-type (M±ET)

II.2 Détermination du taux de cendre

II.2.1 Principe

Les cendres totales ont été obtenues par incinération dans un four à moufle à 550°C pendant 5h. Le taux des cendres totales (TCT) est exprimé en pourcentage par rapport à la matière sèche (MS) (AOAC 1998).

II.2.2 Matériels

- Capsule à incinération
- Four à moufle électrique,
- Dessiccateur
- Balance analytique
- Etuve

II.2.3 Méthode

- Chauffer les nacelles pendant 10 minutes dans le four.
- Laisse refroidir à la température ambiante dans un dessiccateur et les peser.
- Peser des cubes de 10 gramme de l'échantillon et déposer dans les nacelles

- mis au four à une température de 550°C pendant 05 heures puis au dessiccateur pendant 15 min. Une série de pesées sont réalisées jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

Le taux de cendre, en fraction massique par rapport à la matière humide exprimée en pourcentage est donné par l'équation (1)

Calcule :

$$\text{Taux de cendre (\%)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100$$

m0: Le poids de la nacelle vide.

m1: Le poids de la nacelle contenant l'échantillon (10g de tubercule).

m2: Le poids de la nacelle après d'incinération.

II.3 Préparation de l'extrait aqueux (Extraction hydrique)

II.3.1 Matériels

- Flacons l'abri de la lumière.
- Balance analytique.
- Evaporateur rotatif.
- Ultrasons.
- Mortier et pilon.
- Plaque chauffante.
- Réfrigérateur.
- Filtre Büchner.

II.3.2 Mode opératoire

Tubercules du topinambour ont été nettoyés, épluchés, pesés et coupés en petits cubes, puis divisés en deux groupes A et B.

Les cubes de groupe B va subir un traitement thermique :

- Chauffer l'eau distillée dans un bécher de 100 ml à l'aide d'une plaque chauffante à Température de 70 c°.
- introduire les cubes B dans le bécher et laisser subir le traitement pendant 10min après refroidissement refaire la pesé.

Les cubes A et B sont broyés séparément à l'aide d'un mortier et un pilon à Température ambiante.

Déposer les échantillons broyés dans des flacons à l'abri de la lumière et ajouter 40 ml d'eau distillée.

Les mélanges sont mis sous ultrasons pendant 1 heure 30 min à température ambiante ensuite déposés au réfrigérateur à 4°C pendant 24 heures. Les extraits obtenus sont filtrés sous vide utilisant un Büchner. Chasser par distillation la majeure partie de l'eau à l'aide de l'évaporateur rotatif à 60°C. Les extraits doivent être conservés à une température de 4°C jusqu'à utilisation (**Goodon, 1997**). Les extraits obtenus sont les suivants :

- A extrait aqueux avant traitement thermique. (groupe A)
- B extrait aqueux après traitement thermique. (groupe B)



Figure 20 : préparation de l'extrait aqueux après traitement thermique (B)

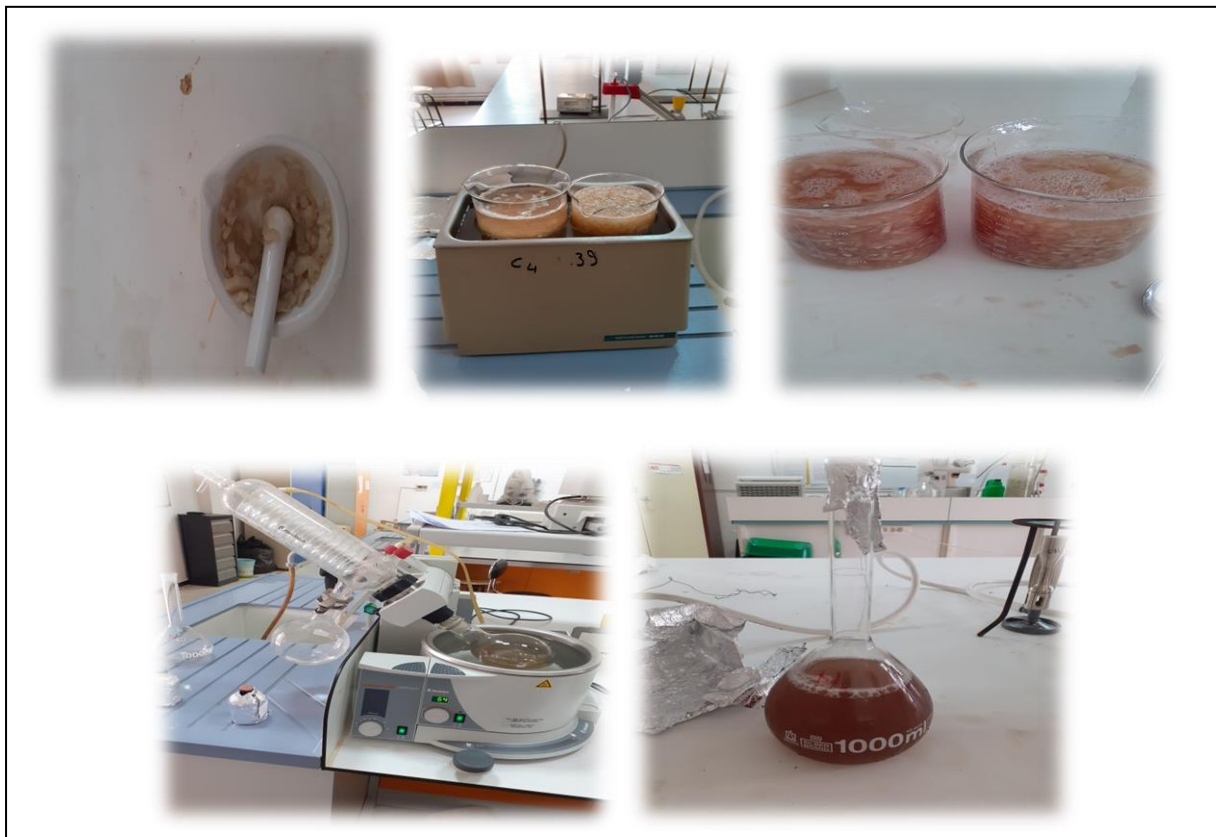


Figure 21 : préparation de l'extrait aqueux avant traitement thermique (A)

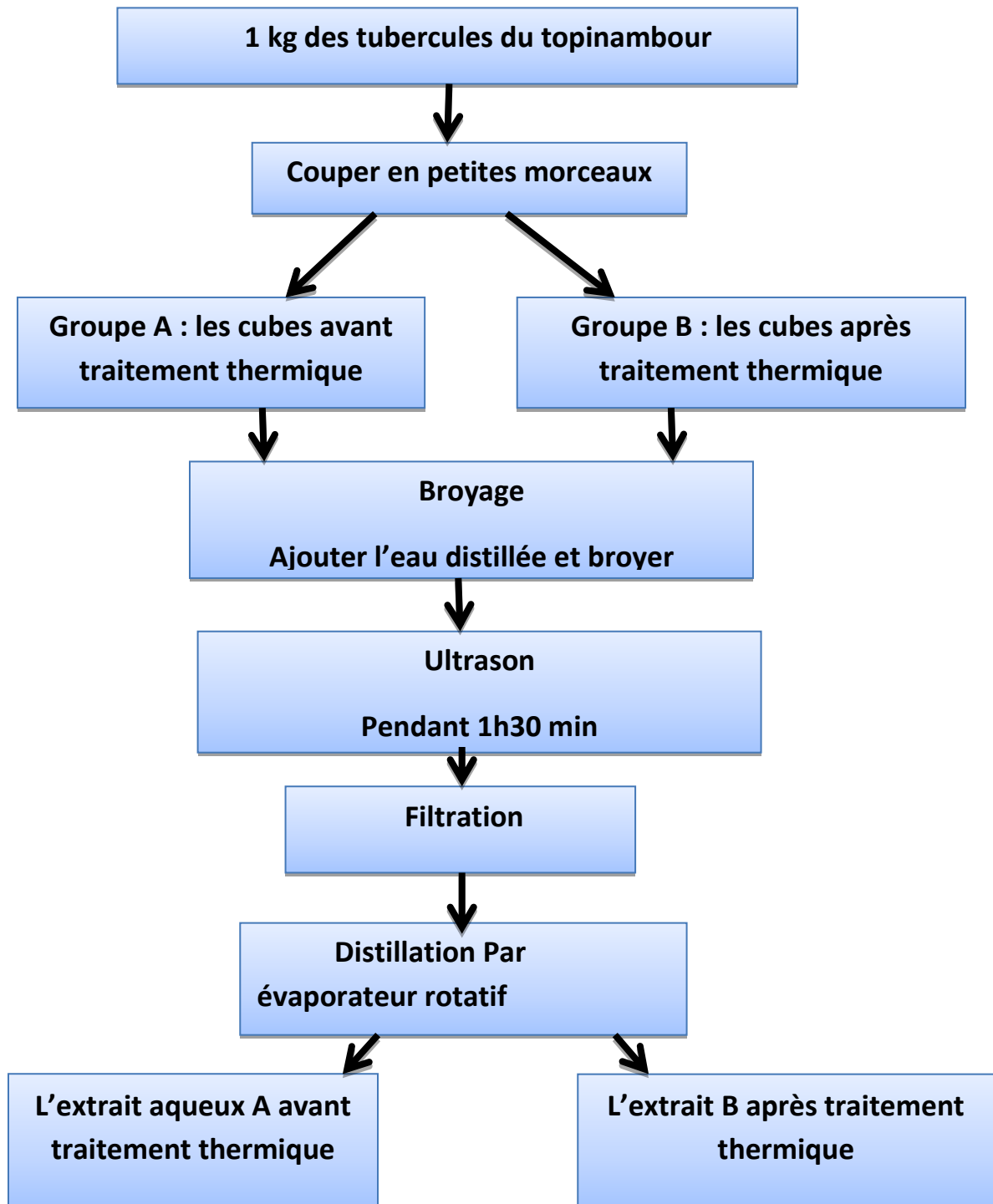


Figure 22: Protocole de Préparation de l'extrait aqueux avant et après traitement thermique

II.4 Dosage des composés phénoliques

Dans le but d'évaluer quantitativement le contenu en composés phénoliques des extraits de *Helianthus tuberosus* en phénols totaux et en flavonoïdes et en tanins.

II.4.1 Dosages des phénols totaux

L'estimation quantitative des polyphénols est réalisée à l'aide du réactif Folin-Ciocalteu (**Ribéreau-Gayon, 1968**).

II.4.1.1 Principe

Le réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PMo₁₂O₄₀). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (**Ribéreau-Gayon, 1968**). Cette coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle aux taux de composés phénoliques présents dans le milieu donne un maximum d'absorption à 765nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux.



Figure 23: Principe de la réduction du réactif de Folin-Ciocalteu (Fkih, 2007)

II.4.1.2 Protocole expérimentale

Le contenu en phénols totaux des extraits a été déterminé en utilisant le protocole de (**Yap et al., 2009**) avec quelque modification. Une courbe d'étalonnage a été réalisée dans les mêmes conditions en utilisant l'acide gallique comme standard afin de déterminer les concentrations en phénol totaux des extraits exprimées en mg équivalent acide gallique/g D'extrait.

Matériel :

- Les extraits aqueux de topinambour
- L'eau distillée
- Tubes à essais
- Micropipettes
- Réactif :Folin-Ciocalteu
- Solution : Solution du carbonate (poudre dans l'eau de robinet et mélanger bien (16 g =100 ml l'eau)

Préparation de la gamme d'étalonnage

- Peser 50 mg d'acide gallique et les dissoudre dans 25 ml d'éthanol à 70%, soit une solution avec une concentration de 2 mg/ml.
- Diluer la solution mère comme suit :
 - Prélever 5 ml de la solution mère puis ajouter 5 ml d'eau distillée et l'on obtient la dilution (S/2).
 - Prélever 5 ml de la solution (S/2) puis ajouter 5 ml d'eau distillée et l'on obtient la dilution (S/4).
 - Refaire la même procédure jusqu'à la dilution S/256 (tableau 11).

Tableau 11 : Dilutions de l'acide gallique (Ribereau, 1968)

Dilution	S	S2	S4	S8	S16	S32	S64	S128	S256
Acide gallique (mg/ml)	2	1	0.5	0.25	0.125	0.0625	0.0312	0.0156	0.0078

Représentation de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique

- Prélever 0.5 ml de chaque dilution d'acide gallique dans les tubes à essais ;
- Ajouter 5 ml d'eau distillée dans chaque tube ;
- Ajouter 0.5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu ;
- Après 3 min, ajouter 0.5 ml de carbonate de sodium Na_2CO_3 à 10% ;
- Laisser incuber pendant une heure à température ambiante et à l'abri de la lumière ;
- Mesurer l'absorbance à 760 nm.

Le blanc est présenté par 5 ml d'eau distillée additionnée à 0.5 ml de Folin-Ciocalteu et 0.5 ml de carbonate de sodium (10%).

Le blanc ; est présenté par 5 ml d'eau distillée additionnée à 0.5 ml de Folin-Ciocalteu et 0.5 ml de carbonate de sodium (10%).

Mode opératoire

- Déposer 0.1 ml d'extrait (A et B) dans les tubes à essai
- Ajouter 5 ml d'eau distillée dans chaque tube
- Ajouter 0.5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu
- Après 3 min, ajouter 0.5 ml de carbonate de sodium Na_2CO_3 à 10%
- Laisser incuber pendant une heure à température ambiante et à l'abri de la lumière

Représentation de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique

- Prélever 0.1 ml de chaque dilution d'acide gallique dans les tubes à essais.
- Ajouter 0.5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu
- Ajouter 5 ml d'eau distillée dans chaque tube.
- Après 3 min, ajouter 0.5 ml de carbonate de sodium Na_2CO_3 à 10% ;
- Laisser incuber pendant 30 minutes à température ambiante et à l'abri de la lumière
- Mesurer l'absorbance à 760 nm.

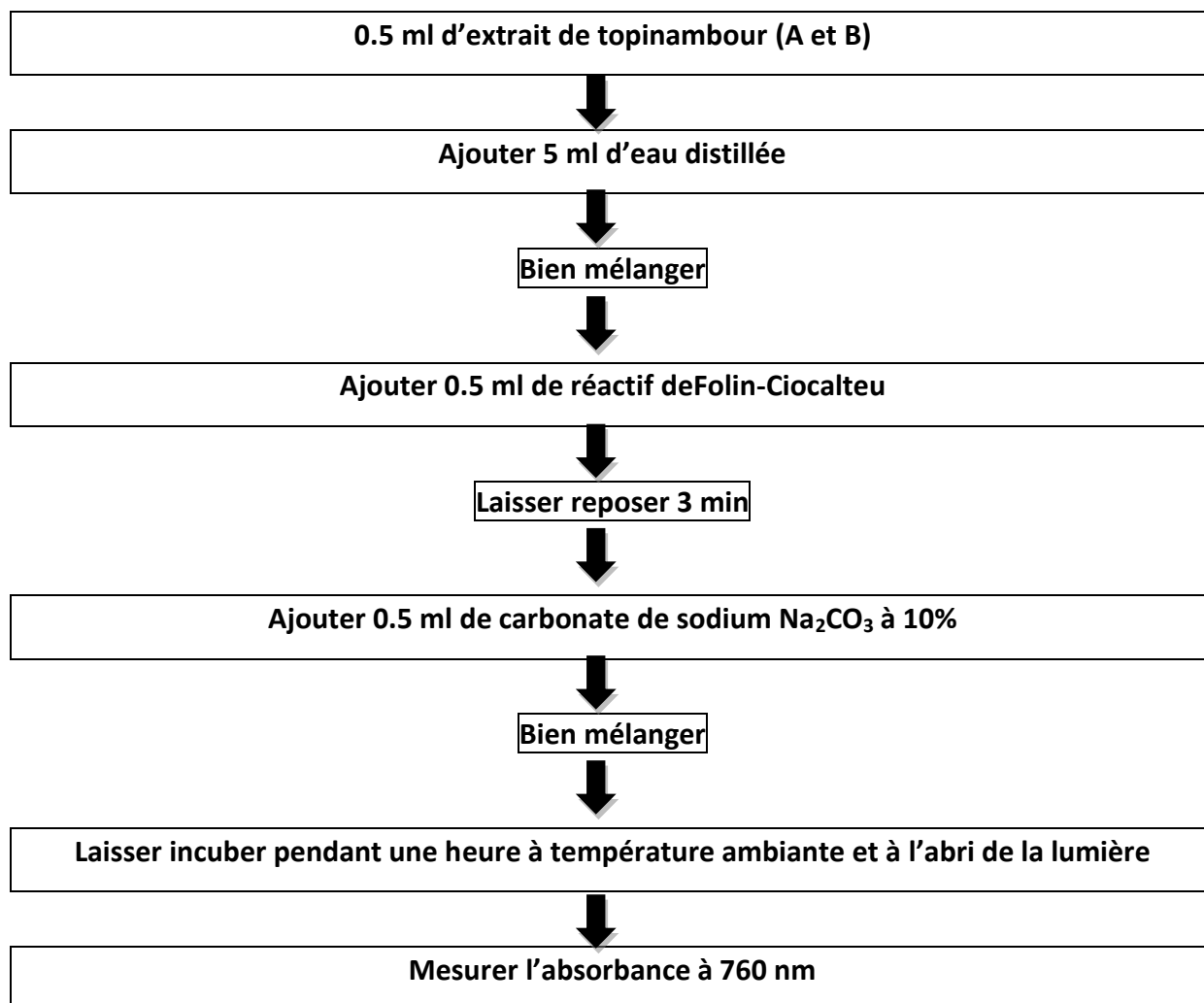


Figure 24: Diagramme représentant le dosage des polyphénols totaux (Kamazawa et al., 2002)

II.4.2 Dosages des flavonoïdes

II.4.2.1 Principe :

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux

atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (**Ribereau-Gayon, 1968**).

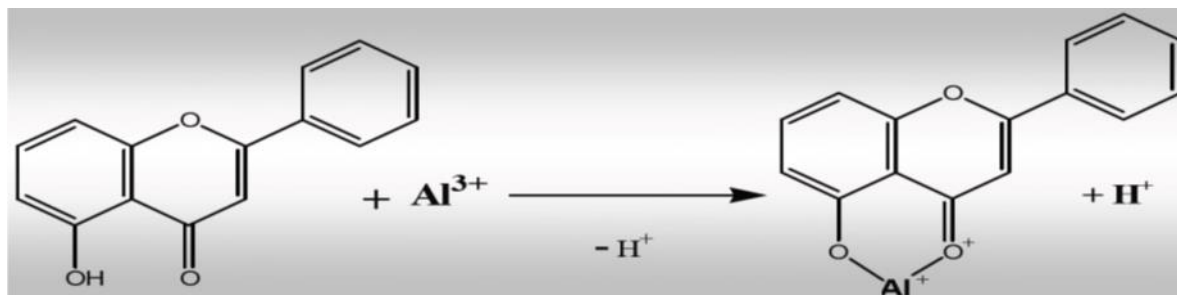


Figure 25: Mécanisme de réaction du chlorure d'aluminium avec les flavonoïdes (Ribereau-Gayon, 1968)

Appareillages utilisés

- Tubes à essai.
- Spectrophotomètre visible.
- Balance analytique.

Préparation de la gamme d'étalonnage

La préparation de la gamme de concentrations de quercétine figure dans le tableau 12.

Tableau 12 : Les dilutions de Quercétine (KAMAZAWA, S, et al.2002)

Dilutions	S	S2	S4	S8	S16	S32	S64
Quercétine (mg/ml)	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	0.0125	0.00625

II.4.2.2 Protocole expérimentale

- déposer 1.5 ml d'extrait (A et B) dans tube essai.
- Ajouter 1,5 ml de solution de chlorure d'aluminium (AlCl_3) à 2%.
- Incuber pendant 30 min après avoir bien mélangé.
- La lecture est faite à 430 nm.

La concentration des flavonoïdes dans les extraits est calculée à partir de la gamme d'étalonnage établie avec la quercétine (2-14 $\mu\text{g/ml}$) et exprimée en microgramme d'équivalents de quercétine par milligramme d'extrait.

Le dosage des flavonoïdes dans les extraits aqueux de topinambour avant et après cuisson est représenté par le diagramme de la figure 27.

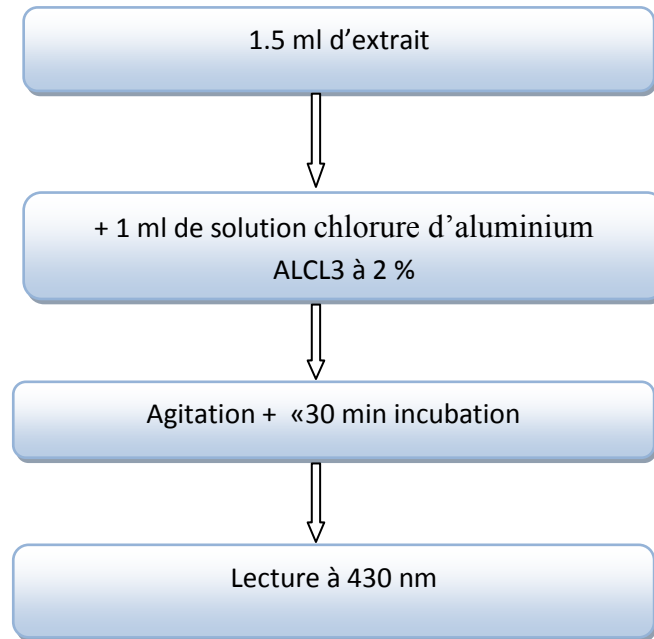


Figure 26 : Dosage des flavonoïdes totaux par la méthode de (Baharun et al., 1996)

II.4.3 Détermination de la teneur en acide ascorbique

II.4.3.1 Principe

La quantification de la vitamine C (acide ascorbique) est réalisée par la méthode du *2,6-Dichlorophénol indophénol*(DCPIP) décrite par **Klein et Rerry, 1982** modifiée par **Yue-Horng et al., 2008**.

Appareillage utilisé

- Centrifugeuse
- Tubes à essai
- Spectrophotomètre visible
- Balance analytique

Préparation de la gamme d'étalonnage

La courbe d'étalonnage est réalisée en utilisant l'acide ascorbique comme standard avec une gamme de concentration allant de 0 à 500 μg et dans les mêmes conditions opératoires que les échantillons.

II.4.3.2 Mode opératoire

- 0.5 g des échantillons A et B (les échantillons A et B sont obtenus comme indiqué avant) sont découpés en petits morceaux et extraite avec 10 ml d'acide oxalique à 10% ;

- L'extrait est centrifugé à 3000 tours/min pendant 15 min ;
- On mélange 1.25 ml de surnageant avec 2.25 ml de DIP a 0,5 ml, bien mélangé pendant 15 secondes, puis l'absorbance est mesuré à 515 nm.

Le blanc est présenté par 1.25 ml d'eau distillée additionnée et 2.25 ml de DIP 0.2mM. Les résultats obtenus de la teneur en acide ascorbique sont exprimées en $\mu\text{g/g}$ de topinambour.

II.5 Evaluation de l'activité antioxydant des extraits au radical DPPH

II.5.1 Principe

Le DPPH (2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl) est un radical libre, stable ou accepteur d'hydrogène de couleur violet intense (Cavaret et al., 2009). Ce radical perd sa coloration native quand il se lie avec des substances antioxydantes (AH), qui lui transfèrent des électrons ou des protons. La forme réduite du DPPH confère à la solution une couleur jaune (Kim et al., 2003). Le virage vers cette coloration et l'intensité de la décoloration découle de la nature, de la concentration et de la puissance des principes actifs présents (Kroyer, 2003 ; Es Safi et al., 2007).

La réaction peut se résumer de la façon suivant

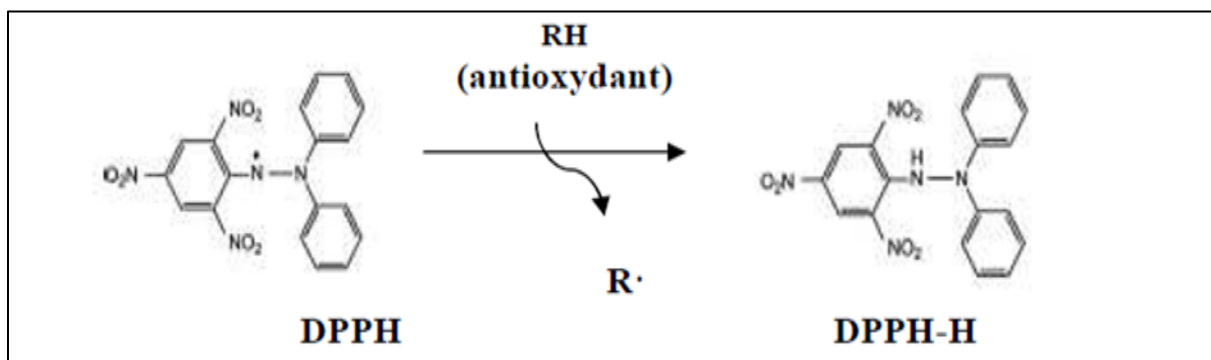
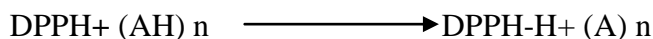


Figure 27: Réaction de réduction de DPPH \cdot par l'antioxydant (MOON et SHIBAMOTO, 2009).

II.5.2 Matériels

- Tubes à essais
- Spectrophotomètre visible.
- Balance analytique
- Une solution de DPPH

Préparation des échantillons

A partir de chaque extrait (A et B), Préparer 4 concentrations comme suit :

- Concentration 2 mg/ml \rightarrow 1 ml d'extrait pur ;

- Concentration 1 mg/ml → 0.5 ml d'extrait pur ;
- Concentration 0.5 mg/ml → 0.25 ml d'extrait pur + 0.25 ml de méthanol pur;
- Concentration 0.25 mg/ml → 0.125 ml d'extrait pure + 0.375 ml de méthanol pur.

II.5.3 Protocole expérimentale ;

- Prendre 50 µL de l'extrait A et B à différentes concentrations
- Ajouter 3 ml de la solution DPPH.
- Incubation pendant 60 minutes
- La lecture à 517 nm

L'acide ascorbique est utilisé comme standard à différentes concentrations et l'activité anti radicalaire d'extrait a été estimée en pourcentage d'inhibition selon la formule suivante :

$$\%d'inhibition\ du\ DPPH = \frac{Ac - Ae}{Ac} \times 100$$

Ac : Absorbance du contrôle.

Ae : Absorbance de l'échantillon.

Chapitre II

RESULTATS

ET

DISCUSSION



I Détermination de la teneur en eau

Le taux de l'humidité représente la quantité d'eau contenue dans la matière végétale. Les résultats de cette analyse sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Taux d'humidité des tubercules de topinambour

m_0 (g)	m_1 (g)	m_2 (g)	Taux d'humidité (%)	Ecart type
15	25	18,20	68	0,3

m_0 : Le poids de la capsule vide.

m_1 : Le poids de la capsule contenant l'échantillon (10g de tubercule).

m_2 : Le poids de la capsule contenant l'échantillon après séchage.

Les résultats sont sous forme de moyenne suivie de l'écart-type ($M \pm ET$)

Selon (**Souci et al., 2000**) l'eau constitue en moyenne 79 % du total des constituants chez le topinambour, ceci se rapproche des résultats obtenus pour notre échantillon qui ont révélé un taux d'humidité $68 \pm 0,3\%$. Cela signifie qu'approximativement plus de la moitié du poids du tubercule frais est constituée d'eau. Les conditions de stockage ainsi que les conditions climatiques peuvent influencer cette proportion.

II Détermination du taux de cendre

La teneur en cendre nous renseigne sur les diverses substances minérales présentes dans un échantillon de topinambour, et par déduction le taux de matière organique présent dans le même échantillon. Les résultats obtenus figurent dans le tableau n° 14.

Tableau 14 : Taux de cendre des tubercules de topinambour

	m_0 (g)	m_1 (g)	m_2 (g)	*Taux de cendres (%)
Tubercule de topinambour	162,86	172,86	163	$1,4 \pm 0,1$

m_0 : Le poids de la nacelle vide.

m_1 : Le poids de la nacelle contenant l'échantillon (10g de tubercule).

m_2 : Le poids de la nacelle contenant le cendre.

* $M \pm ET$

Selon les résultats du tableau les échantillons de topinambour montrent un taux de cendre de $1,4 \pm 0,1\%$. Cela montre qu'effectivement le topinambour est très bien pourvu en éléments minéraux (potassium, fer, calcium, phosphore etc.). Le taux de cendre obtenu est en

concordance avec celui de (Radulovic et al, 2014) qui est de 1,7%. En outre, on note que le taux de cendre des tubercules de topinambour varie selon les variétés.

III Tests phytochimiques

III.1 Dosage des composés phénoliques

Le taux des polyphénols totaux dans nos extraits a été calculé à partir d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y = ax + b$) établie avec des concentrations précises d'acides gallique Comme standard de référence, dans les mêmes conditions que l'échantillon. Les polyphénols totaux ont été déterminés par la méthode de Folin-Ciocalteu.

L'acide gallique a été utilisé comme standard. L'absorbance a été lue dans une longueur d'onde de 760 nm. Les résultats obtenus sont représentés dans une courbe d'étalonnage suivant

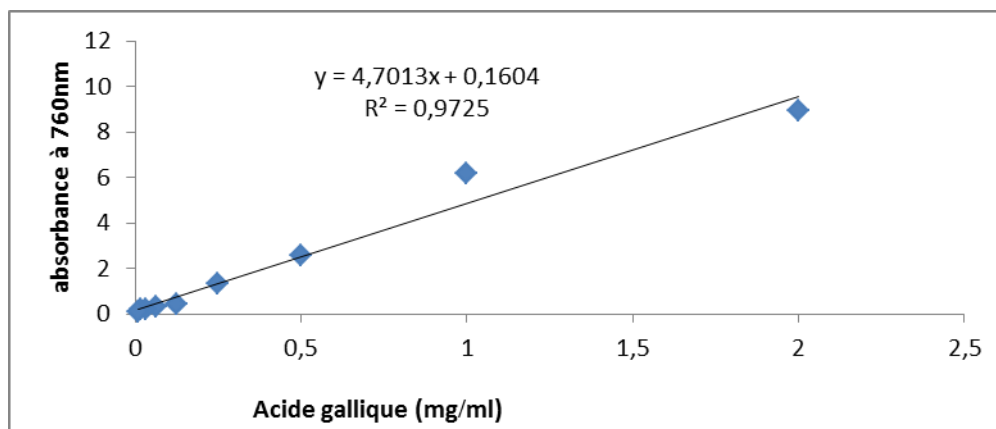


Figure 28: Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols

Les valeurs des concentrations correspondantes sont exprimées en mg équivalent d'acide gallique par 1g de topinambour brut (mg EAG /g M brute). À partir de la courbe d'étalonnage, la teneur en polyphénols totaux avant et après traitement thermique est représentée dans le tableau 30

Tableau 15 : Teneur en polyphénols des tubercules de topinambour

Les extraits	Quantité de polyphénols en EAG mg/g de topinambour	
	Avant traitement thermique	Après traitement thermique
Aqueux	A : 6,585±0.005%	B : 13,115±0.010%

La teneur en polyphénols totaux dans les extraits bruts (A et B) est 6,585±0.005% et 13,115±0.010% EAG mg/g de topinambour.

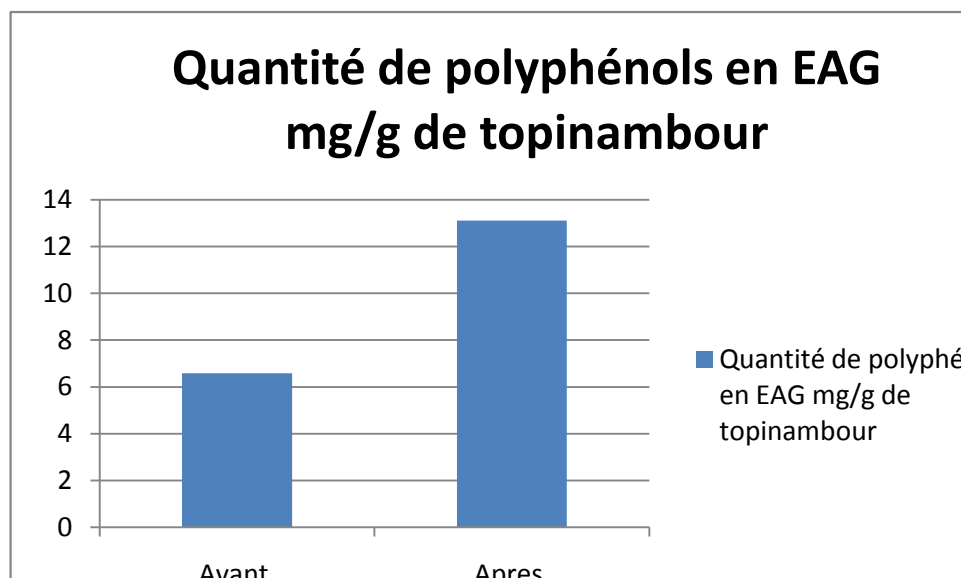


Figure 29 : Quantité de polyphénols en EAG mg/g de topinambour

Le choix du dosage des polyphénols réside dans le fait que la majorité des propriétés antioxydantes des tubercules leur sont attribués.

Nos résultats montrent que la teneur en polyphénols totaux est plus élevée pour l'extrait Après traitement thermique, On peut donc déduire que l'activité antioxydante du topinambour dépend de son contenu en polyphénols totaux.

Ceci peut être lié aux conditions climatiques (la température élevée, exposition solaire, sécheresse, salinité), qui stimulent la biosynthèse des métabolites secondaires tels que les polyphénols (**Fadili et al., 2017**).

La teneur phénolique d'une plante dépend aussi d'un certain nombre de facteurs tels que, les conditions climatiques, le moment de la récolte, le solvant d'extraction, les conditions de stockage (**Fadili et al., 2015**).

III.2 Dosage des flavonoïdes

Les flavonoïdes totaux ont été déterminés par la méthode d'AlCl₃. Le quercétine a été utilisé comme standard. La courbe d'étalonnage est obtenue avec la Quercétine à différentes concentrations, les mesures de densité optique sont réalisées à 430 nm.

Les résultats obtenus sont représentés dans une courbe d'étalonnage. La gamme d'étalonnage a donné un coefficient R² de 0,9666 qui confirme la validité et la justesse du dosage. La figure suivante exhibe une relation linéaire ($y = 5,7429x + 0,3806$) entre la concentration en flavonoïde équivalent et la densité optique du chromatophore qui absorbe à 430nm.

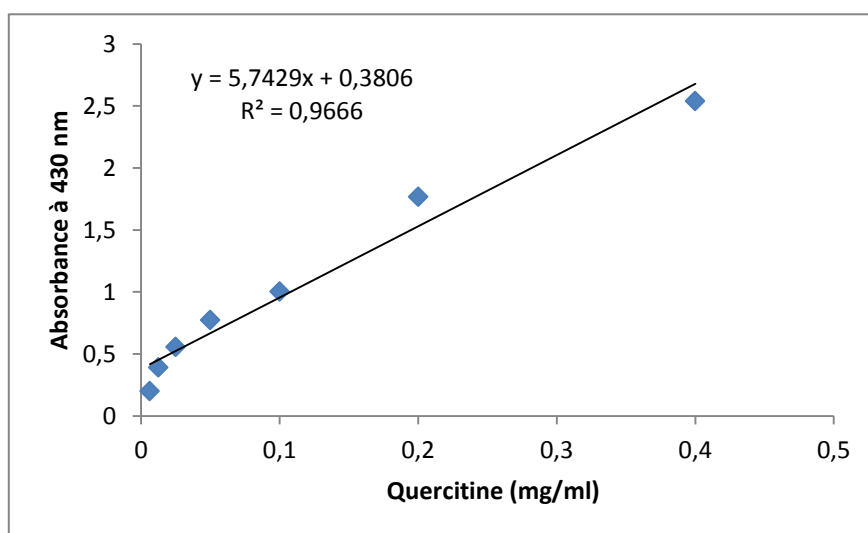


Figure 30 : gamme d'étalonnage exprimée en quercétine.

La teneur en flavonoïdes diffère d'un extrait à l'autre selon le traitement. Elle est exprimée en mg d'équivalent Quercétine par 1g de topinambour brut (mg EQ /g topinambour brut).

À partir de la courbe d'étalonnage, les concentrations en flavonoïdes sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Teneur en flavonoïdes des tubercules de topinambour.

Les extraits	Quantité de flavonoïde en EQ mg/g de topinambour	
	Avant traitement thermique	Après traitement thermique
Aqueux	A : 26,282±0.018	B : 14,616±0.009

Au vu du tableau 16, on note que la teneur en flavonoïdes totaux varie d'un extrait à l'autre et varie de $26,282 \pm 0.018$ à $14,616 \pm 0.009$ EQ mg/g de topinambour.

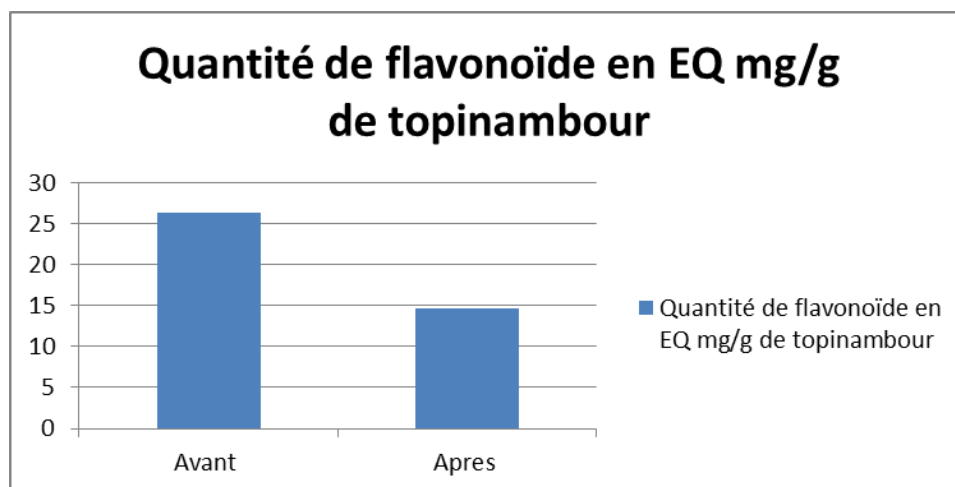


Figure 31: Quantité de flavonoïde en Eq mg/g de topinambour

Suivant les résultats on peut déduire que le traitement thermique (70°C) entraîne une diminution de la teneur en flavonoïdes de l'extrait de topinambour.

III.3 Détermination de la teneur en acide ascorbique

La courbe d'étalonnage est réalisée en utilisant l'acide ascorbique (Figure 32), la teneur en acide ascorbique (vitamine C) du topinambour est exprimée en $\mu\text{g/g}$ de substrat brut analysé (tableau 17).

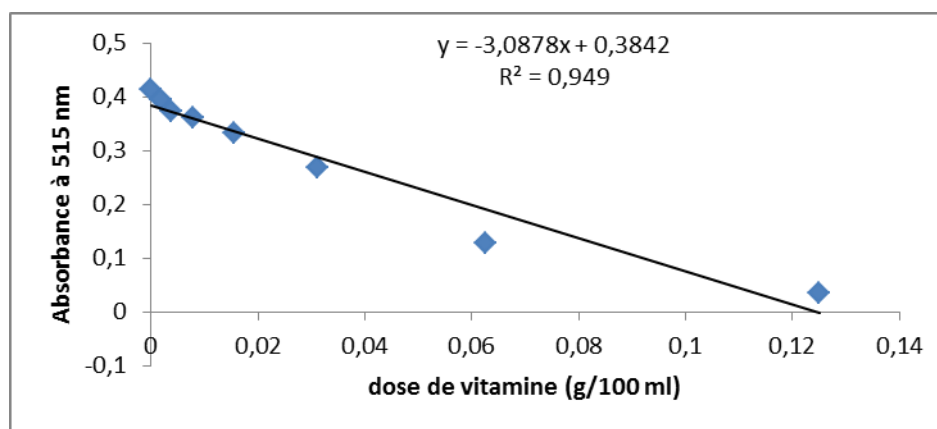


Figure 32 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique

Tableau 17 : Teneur de l'acide ascorbique des tubercules de topinambour

Vitamine C du topinambour ($\mu\text{g/g}$)	
Avant traitement thermique	Après traitement thermique
$21,886 \pm 0.044$	$17,028 \pm 0.013$

Selon les résultats illustres dans le tableau 17 nous constatons que les échantillons de topinambour ont montré une teneur en acide ascorbique variant de $21,886 \pm 0.044$ à $17,028 \pm 0.013$ $\mu\text{g/g}$ de topinambour brut. Les analyses statistiques ont révélées un $P < 5\%$, donc une différence significative.

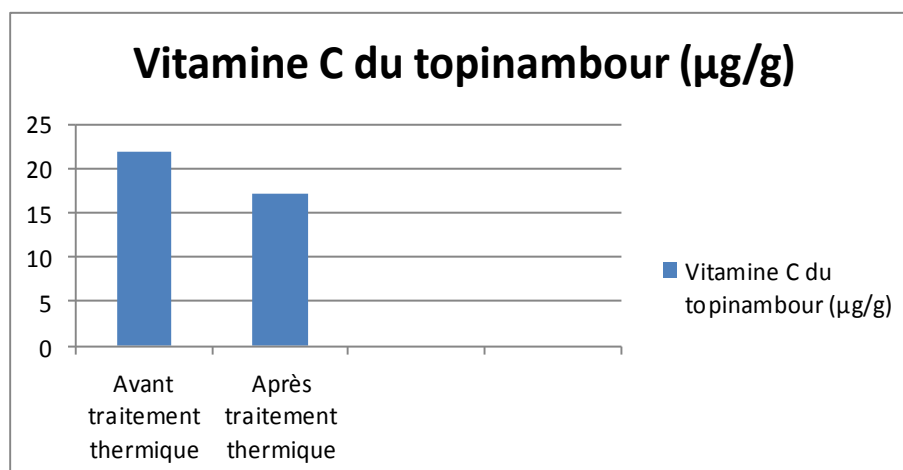


Figure 33 : la teneur de vitamine C des tubercules de topinambour

On remarque que la teneur diminue pour les extraits des tubercules ayant subies un traitement thermique parce que la vitamine C est très sensible à la chaleur. D'après d'autres études antérieures, le topinambour à un taux de vitamine C de 4 mg et d'environ 2 mg après cuisson. (**Katalinic et al., 2006**).

Le topinambour ne constitue donc pas un légume particulièrement intéressant en ce qui concerne l'apport en acide ascorbique.

IV Évaluation de l'activité antioxydant par piégeage du radical libre DPPH

L'activité anti-radicalaire des extraits vis-à-vis du radical DPPH est évaluée spectrophotométriquement à 517 nm en suivant la réduction de ce radical qui s'accompagne d'un passage de la couleur violette à la couleur jaune (**Besbes Hlila et al., 2017**).

Ce test consiste à mettre le radical DPPH en présence de molécules dites antioxydantes afin de mesurer leur capacité à réduire ce radical. La forme réduite n'absorbe plus à 517 nm, ce qui se traduit par une diminution de l'absorbance à cette longueur d'onde.

Les résultats sont souvent rapportés par rapport à un antioxydant de référence, comme l'acide ascorbique. Le pouvoir anti radicalaire des extraits de topinambour à différentes concentrations est présenté dans le tableau 18.

Tableau 18: Valeurs du pouvoir antioxydant des extraits de topinambour avec différentes concentrations

Les extraits		Inhibition (%)	
		Avant traitement thermique	Après traitement thermique
Concentrations des extraits aqueux	2 mg/ml	A : 99,502±0.098	B : 99,540±0.060
	1 mg/ml	A : 97,129±0.178	B : 98,392±0.088
	0,5 mg/ml	A : 96,555±0.055	B : 95,024±0.019
	0,25 mg/ml	A : 93,494±0.022	B : 87,409±0.012

Les résultats figurant dans le tableau en-dessus, illustrent les pourcentages de l'activité anti radicalaire des extraits de topinambour vis-à-vis du radical libre DPPH. La valeur de l'activité anti radicalaire augmente avec l'augmentation de la concentration des extraits.

Cela permet de mettre en évidence une diminution significative de la concentration du radical DPPH en raison de la capacité de piégeage des extraits les radicaux libres.

La figure 34 permet de comparer les résultats du pouvoir anti radicalaire des extraits de topinambour à différentes concentrations à celui de la vitamine C.

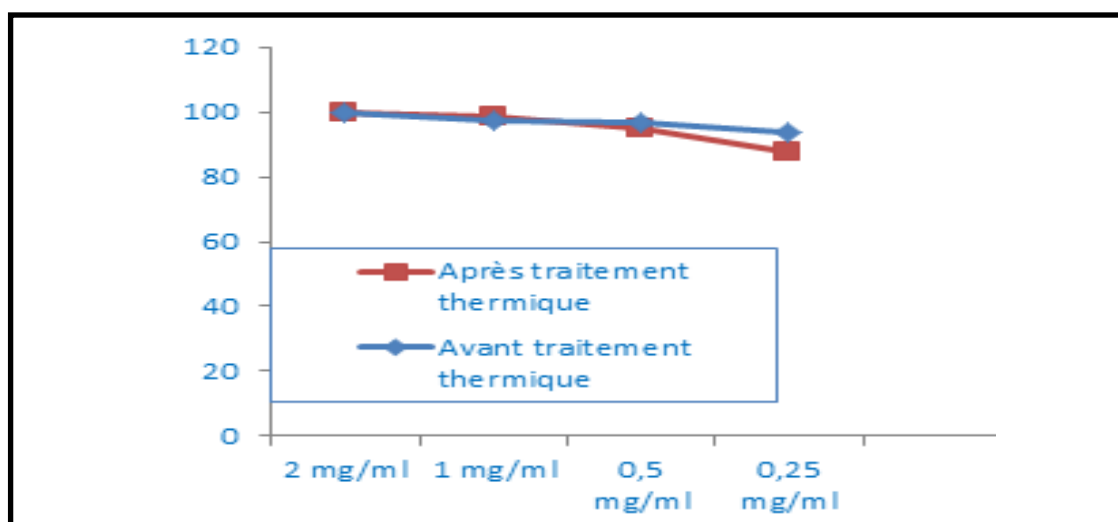


Figure 34 : Pouvoir anti radicalaire des extraits de topinambour

Lors de cette étude, le pouvoir anti radicalaire des extraits bruts (A et B) varie entre 99,540 et 87,409mg/ml (tableau 18).

Afin d'établir une comparaison entre les extraits on a déterminé les EC50 figure 36 et tableau 18 ; on peut déduire que les extraits avec la concentration de 0,25 mg/ml présentent un pouvoir anti radicalaire estimé à 93,494±0.022 et 87,409±0.012mg/ml suivi par les extraits avec la concentration de 0,5 mg/ml.

D'après les résultats obtenus, nous pouvons affirmer que le topinambour est un promoteur de source naturelle d'antioxydants. Cette activité est liée en grande partie à la composition des extraits et leur richesse en composés phénoliques et en flavonoïdes.

CONCLUSION



Conclusion générale

En guise de conclusion de ce travail on peut déduire que nos conceptions sur les tubercules sont trempeuses et que la réalité des choses doit être reprise d'une manière professionnelle pour acquérir des données valorisables sur le patrimoine végétal nutritionnel algérienne. À notre surprise, il s'est avéré que le topinambour présente plusieurs vertus nutritionnelles et thérapeutiques.

Cette étude nous a permis d'évaluer la teneur en composés phénoliques, ainsi qu'une mise en évidence de la présence d'autres métabolites secondaires et une évaluation de l'activité antioxydante d'extrait de topinambour avant et après un traitement thermique.

Les différents dosages réalisés sur le topinambour avant et après traitement thermique ont révélé la présence de nombreuses fractions de composés phénoliques, tel que les polyphénolstotaux, flavonoïdes et la vitamine C.

Les différents résultats obtenus par l'évaluation de l'activité antioxydant confirment les propriétés puissantes que possèdent les tubercules de topinambour crus et après traitement thermique à piéger les radicaux libre. de par sa composition nutritionnelle, ces légumes contiennent de l'inuline, un sucre qui n'influence pas la glycémie des personnes diabétiques. C'est donc un excellent légume de substitution pour ceux qui doivent vivre avec cette maladie.

Cette étude montre que le topinambour peut être considéré comme une source d'antioxydants naturels pour l'utilisation médicale. Et pour obtenir une vue précise sur l'activité antioxydants de la plante, une étude *in vivo* est souhaitable pour vérifier l'efficacité de ces composés dans l'organisme et démontrer la possibilité et le mode de son utilisation thérapeutique.

Références bibliographique

A

- Agarwal A, Prabakaran S (2005) Mechanism, measurement, and prevention of oxidative stress in male reproductive physiology, Infertility, and Sexual Function 77 :114-130
- Arousseau B (2002) Les radicaux libres dans l'organisme des animaux d'élevage:conséquences sur la reproduction, la physiologie et la qualité de leurs produits, Productions Animales, 15 : 67-82.

B

- Badeau M (2006) Effets d'un antioxydant, le tempol, sur les actions métaboliques et vasculaires de l'insuline chez le rat insulino-résistant avec un surplus de poids, le stress oxydatif et les effets hémodynamiques régionaux, Université Laval, 17 :90-120
- Bahorun T, Gressier B, Trotin, Brunet C, Dinet T, Lucks M, vasseur J, Gazin M, Cazin G, Pinkas M (1999) Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceuticals preparations *Arzeimittleforschung*, 46 (11) : 1086-1089.
- Bahorun T, Gressier B, Trotin F, Brunet C, Dine T, Luyckx M, Vasseur J, Cazin M, et Pinkas M (1996) Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from haw torn fresh plant organs and pharmaceutical preparations, *ArzneimForsch, Drug Research*, 46(11) : 1086-1089.
- Balasundram N, Sundram K, and Samman S (2006) Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products, Antioxidant activity, occurrence, and potential uses, *Food Chemistry*, 99(1) : 191-203.
- Basli A, Chibane M, Madani K, Oukil N (2012) Activité antibactérienne des polyphénols extraits d'une plante médicinale de la flore d'Algérie, *Origanum glandulosum Desf* *Phytothérapie*, 10(1) :2-9.
- Bationo F, Savadogo A, Kabore D, Ouattara L, Ouedraogo H, Savadogo B Et Traore A (2015) Storage influence on beta-carotene and alpha-tocophe(contents of solar-dried *Spirulina platensis* (*Spirulina*), *African Journal of Food Science*, 9(12) :546-554.

- *Belabbassi O (2012) Etude de l'effet de la polyploïdisation sur la teneur en hyoscyamine des chevelus racinaires de Datura stramonium L 9(12) : 15-20 .*
- *Belyagoubi , Benhammou , (2012) Activité antioxydante des extraits des composés phénoliques de dix plantes médicinales de l'Ouest et du Sud-OuestAlgérien, Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen pp 12 .*
- *Benkrief R (1990) Inventaire ethnobotanique des plantes médicinales de l'Est algérien: étude chimique de Hammada articulata Moquin Iljin ssp , scoparia Pomel. Etude chimique de 3 plantes néo-calédonniennes à monoterpénoïdes Paris 5*
- *BenMoussa M , COMPOSES PHENOLIQUES 5(1) :20-28.*
- *Berger M (2006) Manipulations nutritionnelles du stress oxydant : état des connaissances , Nutrition Clinique et Métabolisme Biochimie. Ed Presse polytechnique et universitaire romande 20 (1) :48-53.*
- *Bernatova I , Kopincova J , Puzserova A (2010) Chronic stress deteriorated nitric oxide production in Wistar rats exposed to a low dose of L-NAME." Act Nerv Super Rediviva 52(3) :200-205 .*
- *Besbes Hlila M , Ben Saad A , ben jannet H , Aouni M , Mastouri M , Selmi B (2017) Etude chimique et biologique des extraits de la plante halophyte Halocnemeum strobilaceum (pall) bieb , Journal of Bioresources Valorization 2 (1) : 42-48.*
- *BESSAOUD S (2015) Evaluation de quelques paramètres de la balance oxydants/antioxydants chez des rats diabétiques recevant de la quercétine pp : 50.*
- *Boizot N, Charpentier J-P (2006) Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre fruitier, Le cahier des techniques de l'INRA ,p : 79 – 82 .*
- *Bors, W, Michel C , Stettmaier K (1997) Antioxidant effects of flavonoidsn Biofactors 6(4) : 399-402 .*
- *Bosscher D, Breynaert A (2009) Food-based strategies to modulate the composition of the intestinal microbiota and their associated health effects. J Physiol Pharmacol 60 (6) :5-11.*
- *Branquart E , Vanderhoeven S , Van Landuyt W , Van Rossum F , Verloove F (2010) Harmonia database , Helianthus tuberosus, Harmonia version(1-2) En ligne sur le site du Belgian Forum on Invasive Species, <http://ias.biodiversity.be/species> , consulter le 14 février 2020.*

- Bruneton J (1999) *Pharmacognosic, phytochimie, plantes médicinales*, 3ème Ed. tec & doc, Paris, pp : 575.
- Bruneton, J (1999) *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales*, 3ème Ed Médicales Internationales-Tec et Doc. Paris : 370-401 .
- Bylka W , Mathawska I et Pilewski (2004) *Natural flavonoidas antimicrobialagents. Journalofthe American Nutraceutical Association 7(2) :24-26.*

C

- CABI, (2016) *Helianthus tuberosus. Invasive Species Compendium. Wallingford, UK : CAB International. www.cabi.org/isc. (Topinambour (Helianthus tuberosus.pdf) .consulter le 14 février 2020.*
- Carvalho O , Botelho C , Ferreira C , Ferreira H , Santos M , Diaz M , Oliveira T ,Soares-Martins J , Almeida M , Júnior S (2013) *In vitro inhibition of canine distemper virus by flavonoids and phenolic acids, implications of structural differences for antiviral design, Research in veterinary science, 95(2) : 717-724.*
- Cavar S , Maksimovic M , Vidic D , Paric A (2009) *Chemical composition and antioxidant and antimicrobial activity of essential oil of Aetemisia annua L. From Bosnia industrial Crops and Products p(37) :479-485.*
- Chung K-t , Wei C-I (2001) ,*Are tannins a doublé edged sword in biology and health? Trends in Food Science and Technology (9) : 168-175 .*
- COLIN J-P (2008), *Sénescence et stratégie d'allocation des caroténoïdes chez le diamant mandarin, Taeniopygia guttata p:160 -200.*

D

- DACOSTA Y (2001) *.probiotiques et prébiotiques en alimentation humaine , lavoisier ,Ed , paris p 200.*
- Dacosta Y (2003). *Les phytonutriments bioactifs. Yves Dacosta (Ed).Paris p :317 .*
- Decloitre F (1993) *Impact des facteurs alimentaires sur les mécanismes de la cancérogénèse: bases d'une prévention des cancers par l'alimentation. Cahiers de Nutrition et de diététique 28(2) : 85-95.*
- Djeridane A , Yousfi M , Nadjemi B , Boutassouna D , Stocker P ,Vidal N (2006) *,Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. Food Chemistry 97 (4) : 654-660 .*

E

- El Kabouss A , Charrouf Z , Oumzil H , Faid M , Lamnaouer D , Miyata Y, and Miyahara, K. (2011) *Caractérisation des flavonoïdes des feuilles d'Arganier (Argania spinosa (L.) Skeels, Sapotaceae) et étude de leur activité antimicrobienne.*"Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 21(3) :157-162.

F

- Fadili K , Amalich S , Ndedianhoua S., Bouachrine M , Mahjoubi M., El Hilali F., Zair T (2015) *Teneurs en polyphénols et évaluation de l'activité antioxydante des extraits de deux espèces du Haut Atlas du Maroc: Rosmarinus officinalis et Thymus satureioides.* International Journal of Innovation and Scientific Research. 17(1) : 24-33.
- Fadili K , Zerkani H., Amalich S., Zair T (2017) *Etude phytochimique et évaluation de l'activité antioxydante des feuilles et des fruits du Capparis spinosa l.*American Journal of Innovative Research and Applied Sciences. 5 (2): 108- 118 .
- Favier A (1997) *Le stress oxydant: intérêt de sa mise en évidence en biologie médicale et problèmes posés par le choix d'un marqueur* , Presented at Annales de biologie clinique 6 (3) : 33-40.
- Favier A (2003) *le stress oxydant ,intérêt conceptuel et experimental _dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique,*l'Actualité chimique 11 :108-115 .
- FKIH S , (2007) *Etude de l'effet de l'irradiation ionisante sur certains polyphenols alimentaires et résidus pesticides* 11 :140-230.

G.

- Gardès-Albert M., Bonnefont-Rousselot D , Abedinzadeh Z., and Jore, D (2003) *Espèces réactives de l'oxygène , L'actualité chimique* p :91.
- Genoux E(2011), *Dérivés de flavonoïdes et de vérapamil comme ligands des transporteurs MRP1 et ABCG2: de la conception à l'activité anticancéreuse,* Université de Grenoble 6(1) :26.
- Gerber M , Boutron-Ruault, M.-C , Hercberg S., Riboli E , Scalbert A., and Siess, M.-H (2002) *Actualités en cancérologie: fruits, légumes et cancers. Une synthèse duréseau Nacre ,Bulletin du cancer* 89(3) : 293-312.

- *GRAIT,S. (2015), Etude du pouvoir antioxydant d'une plante médicinale (Urginea maritimaL) p :233.*
- *Gitton,Y (2010),Diversité des composés terpéniques volatils au sein du genre Lavandula:aspects évolutifs et physiologiques, Université Jean Monnet-Saint-Etienne p :100.*

H

- *Hernandez Ochoa, LR (2005), Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combiné «solvant/actif» d'origine végétale, Institut National Polytechnique deToulouse , p :200.*
- *Hertog MG (1996), Epidemiological evidence on potential health properties of flavonoids. Proceeding of the nutrition society. 55 (1B) :385-397*http://univ.ency-education.com/uploads/1/3/1/0/13102001/pharmacoqnosie3an05-ph_speciale-composes_phenoliques.pdf consulté le 17avril2020.
- *HubertA.J(2006).Caractérisation biochimique et propriétés biologiques desmicronutriments du germe de soja.Etude des voies de sa valorisation en nutrition etsanté humaine .Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique deToulouse,école doctorale des Sciences Ecologique,vétérinaires,Agronomique etBioingénieries,sécialité :qualité et sécurité des aliments p :174*

J

- *Jeanet, R., Croguennec, T., Schuck, P., and Brulé, G. (2006). "Science des aliments." Lavoisier, Paris , 2ed :100 -150.*
- *Judde A (2004) Prévention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique: mécanismes, conséquences, moyens de mesure, quels antioxydants pour quelles applications?" Oléagineux, Corps Gras, Lipides, 11(6) : 414-418.*
- *Justine, Odile, Carole PASTRE (2005) intérêt de la supplementation en antioxydants dans l'alimentation des carnivores domestiques p : 200.*

K

- *Kaur N, Gupta AK. (2002) Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. J Biosci Décembre;27(7):703-14. <https://www.magazine-avantages.fr/quelles-sont-les-vertus-sante-du-topinambour,186610.asp> . Consulter le 15 mars 2020.*

- Khanbaba K ., Ree T R. 2001_ *Tannins:Classification and Defenition. Journal of Royal Society of Chemistry, 18 :641-649*
- Kim, D.O., Chun, O.K., Kim, Y.J., Moon, H.Y., Lee, C.Y (2003) *Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, p :6509–6515.*
- Krishnaiah D, Sarbatly R et Nithyanandam R (2011) *A review of the antioxidant potentiel of medicinal plant species, Food biopro proces, 89 :217-233*
- Kroyer G.T (2003) *Redclover extrct as antioxidant active and functional food ingredient innovative. Food Science and Emerging Technologies, 5 p : 101-105.*

L

- Larousse Andrew, C., (2001) *Larousse encyclopédie des plantes médicinales (identification, préparations et soins). 2eme Edition .VUEF. Paris : 335*
- Leitao C.,(2011) *Etude de composés à intérêts technologique et fonctionnel dans la bière. Thèse de doctorat. Institut pluridisciplinaire Hubert Curien, Université de Strasbourg , p :113.*
- Levasseur-Garcia, C., Kleiber, D., and Surel, O (2013) *"Utilisation de la spectroscopie infrarouge comme élément d'aide à la décision pour la gestion du risque fongique et mycotoxique." Cahiers Agricultures, 22(3) (1) :216-227.*
- Liu R.H., (2004) *Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. Journal of nutrition 134 : 3479-3485*

M

- Macheïx J-J ., Fleuriet A ., Billot J. *Fruit phenolics (livre). CRC Press, Boca Raton (1990) P :378.*
- Mahmoudi, S., Khali, M., and Mahmoudi, N. (2013) *Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (Cynara scolymus L.)." Nature & Technology p : 9-35.*
- MAKHLOUFI, A. (2013). *Etude des activités antimicrobienne et antioxydante de deux plantes médicinales poussant à l'état spontané dans la région de bechar (Matricaria pubescens (Desf.) et Rosmarinus officinalis L) et leur impact sur la conservation des dattes et du beurre cru p :50 -90.*

- Malešev, D., and Kuntić, V. (2007) "Investigation of metal-flavonoid chelates and the determination of flavonoids via metal-flavonoid complexing reactions." *Journal of the Serbian chemical society* 72(10) :921-939.
- Marcheix, J., Fleuriet, A., and Jay-Allemand, C. (2005). "Les composés phénoliques des végétaux" p :60-80.
- Marfak, A (2003) *Les flavonoïdes : radiolaire se gamma des flavonoïdes , Étude de leur réactivité avec les radicaux issu des alcools , formation des pépides. Thèse de doctorat. Université de Limoges* p :90-150.
- Max, W et Robert, A., 2003. *Plantes thérapeutiques. Tradition, pratique officinale, science et thérapeutique. Ed.2. Paris. Pp : XXXIX :200 -230.*
- Medić-Šarić M., Jasprica, I., Mornar, A., Smolčić-Bubalo, A., and Golja, P. (2004) , *Quantitative analysis of flavonoids and phenolic acids in propolis by two-dimensional thin layer chromatography.*" *JPC-Journal of Planar Chromatography-Modern TLC*, 17(100) :459-463.
- Merzougui, I., and Tadj, H. (2015). *Etude de l'effet antibactérien et antioxydant d'Ammodendron verticillata De la région de Tlemcen* p :120-200
- Meyer D, Stasse-Wolthuis M. (2009) *The bifidogenic effect of inulin and oligofructose and its consequences for gut health. Eur J Clin Nutr* 8p :263-1277.
<https://www.lanutrition.fr/tout-savoir-sur-le-topinambour> .consulter le 14 février 2020.
- MEZOUAR D. (2013) *Recherche d'activités biologiques de Berberis vulgaris* p :50.
- Milane, H. (2004). *La quercétine et ses dérivés: molécules à caractère pro-oxydant ou capteurs de radicaux libres; études et applications thérapeutiques, Université Louis Pasteur (Strasbourg)* p :100 -260.
- Montoro P., Braca A., Pizza C., and De Tommasi, N. (2005) ,*Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids isolated from different plant species.*" *Food Chemistry*, 92(2) : 349-355.
- MOON J.K. & SHIBAMATO T. (2009). *Antioxidant assays for plant and food compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (5) :1655-1666.

- Morreel K, Goeminne G, Storme V, Sterck L, Ralph J, Coppieters W, Breyne P, Steenackers M, Georges M, Messens E, Boerjan W (2006) *Genetical metabolomics of flavonoid biosynthesis in Populus: a case study*, *Plant J*, 47 : 224-375.

N

- Nijveldt, R. J., Van Nood, E., Van Hoorn, D. E., Boelens, P. G., Van Norren, K., and Van Leeuwen, P. A. (2001) "Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications." *The American journal of clinical nutrition*, 74(4) :418-425).
- Nkhil, Z. (2009) *Polyphénols de l'alimentation : Extraction, Interactions avec les ions du Fer et du cuivre, oxydation et pouvoir antioxydant. Université D'avignon et des Pays de Vaucluse Ecole Doctorale 306 –Spsa, Montpellier (Marrakech) p :310 .*

O

- Okuda, T. (2005). "Systematics and health effects of chemically distinct tannins in medicinal plants." *Phytochemistry*, 66(17) : 2012-2031.
- Oyaizu, M. (1986). *Studies on products of browning reaction prepared from glucoseamine*, *Japanese Journal of Nutrition*, 44 :307-315.

P

- Pincemail J, Meurisse M, Limet R et Defraigne J O (1999). *L'évaluation du stress oxydatif d'un individu: une réalité pour le médecin. Vaisseaux, Coeur, Poumons p :200-250.*
- Pincemail, J., and Defraigne, J (1999)., *Les antioxydants un vaste réseau de défenses pour lutter contre les effets toxiques de l'oxygène.* Presented at Symposium «antioxydants et alimentation», Institut Danone, Bruxelles. P :50_80.
- Pincemail, J., Meurisse, M., Limet, R., and Defraigne, J. (1999). "Espèces oxygénées activées, antioxydants et cancer *Medi-Sphere*, 97(:29-33.
- Pinheiro, R. P. (2015). "Caracterização química e efeitos farmacológicos de produtos derivados de *Palicourea rigida* Kunth (Rubiaceae) p :90 .

R

- Rezaire, A., 2012. *Activité anti-oxydante, et caractérisation phénolique du fruit de palmier amazonien Oenocarpus bataua (patawa). Thèse de doctorat. École doctorale*
- Ribéreau-Gayon P. (1968). *Les composés phénoliques des végétaux.* Edition Dunod, Paris ,pp (254) :100-200.

- Ribéreau-Gayon, P., 1968. *Les tannins, les composés phénoliques des végétaux*. Paris. Ed Dunod : 173-201.
- Rock, E., (2003) *Stress oxydant, Micronutriments et santé*. INRA-CRNH, Unité des maladies métaboliques et micronutriments. Université d'été de Nutrition. Pp :37-42.
- Rolland, Y. (2004). "Antioxydants naturels végétaux." *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*,11(6) :(419-424.
- Roussel A M (2009). *Qui manque d'antioxydants, et comment le savoir ? Cahiers de nutrition et de diététique*, pp: 7 .
- Russell, 1979; Swanton, 1986; Westley, 1993; Wyse et Wilfahrt, 1982 *pluridisciplinaire : Santé, Environnement et Sociétés dans les Amériques*. Université des Antilles et de la Guyane. P :186 .

S

- Servais, S. (2004). *Altérations mitochondriales et stress oxydant pulmonaire en réponse à l'ozone: effets de l'âge et d'une supplémentation en oméga-3*, Université Claude Bernard-Lyon I :200 -210.
- Škerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hraš, A. R., Simonič, M., and Knez, Ž. (2005). "Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities." *Food Chemistry*, 89(2) : 191-198.
- Somda, Z.C., McLaurin, W.J., and Kays, S.J (1999) *Jerusalem artichoke growth, development, and field storage. II. Carbon and nutrient element allocation and redistribution*, *J. Plant Nutr*, 22 :1315–1334.
- Stanley J. Kays ., Stephen F.(2008) *Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke Helianthus tuberosus L* :11-66 . consulter le 14 février 2020.
- Stauffer, M.D., Chubey, B.B., and Dorrell, D.G., (1981) *Growth, yield and compositional characteristics of Jerusalem artichoke as they relate to biomass production*, in *Fuels from Biomass and Wastes*, Klass, D.L. and Emert, G.H., Eds., Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, pp : 79–97 p 120.
- Stolzenburg, K., (1997) *Rohproteingehalt und Aminosäuremuster von Topinambur*, LAP Forchheim, Germany,
<http://www.landwirtschaft-bw.info> (mean figure from 27 cultivars and clones) p :200

V

- Van Loo, J., Coussement, P., De Leenheer, L., Hoebregs, H., and Smits, G., (1995) On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the Western diet, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*, 35 : 525–552.
- Verykokidou-Vitsaropoulou, E and Vajias, C. (1986), "Methylated flavones from *Teucrium polium*." *Planta medica*, 52(05) :401-402.
- Vincent, A. M., Russell, J. W., Low, P., and Feldman, E. L. (2004). "Oxidative stress in the pathogenesis of diabetic neuropathy." *Endocrine reviews*, 25(4) : 612-628.

W

- Walter S Judd ., Christopher S Campbell .,Elizabeth A Kellogg ., Peter Stevens.(2002) Ed: De Boeck p :87 .
- WATERS, D., DAVIS, D., RIEHLE, J. & WEINS, M (1981) Jerusalem artichokes trials; Department of Horticulture: University of Minnesota p :200-300.
- Whitney, E.N. and Rolfes, S.R., (1999) *Understanding Nutrition*, West/Wadsworth, Belmont, CA, ed 8th p 200 -250.

Y

- Yap,CF. ,HO ,CW.,Aida,WM.,Chan,SW.,Lee,CY.andLeong, YS.(2009).Optimization of extraction condition of total phenolic compounds from star fruit(*Averrhoa carambola* L)residues .*Sains Malaysiana*,38(4) :511-520.

Z

- Zeghad, N., (2008) *Etude du contenu polyphénolique de deux plantes médicinales d'intérêt économique (Thymus vulgaris, Rosmarinus officinalis) et évaluation de leur activité antibactérienne .Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister (Ecole doctorale) Option : Biotechnologie végétale p :100 -150.*
- <https://www.biendecheznous.be/legumes/legumes-de-chez-nous/topinambour> .consulter le 14 février 2020 .
- https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/101055/tab/taxo . consulter le 18 février 2020
- <https://www.aujardin.info/fiches/comment-recolter-conserver-cuisiner-topinambours.php> Consulter le 20 mars 2020.
- <http://www.aprifel.com/fiche-nutri-produit-composition-oignon,85.html> .consulter le 18 mars 2020 .